



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

**Producto 14.3. Nota técnica. Emisiones acumuladas de óxido nitroso en pastizales con inclusión de leguminosas en Argentina.**

**Gabriela Perez, Romaniuk Romina, Costantini Alejandro**

**2024**



Ministry for Primary Industries  
Manatū Ahu Matua





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 **Gabriela Perez, Romaniuk Romina, Costantini Alejandro**

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>Abstract / Resumen y palabras clave .....</b>	<b>4</b>
<b>Antecedentes .....</b>	<b>6</b>
<b>Objetivos .....</b>	<b>7</b>
<b>Metodología .....</b>	<b>7</b>
<b>Resultados .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Discusión.....</b>	<b>11</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>12</b>
<b>Referencias Bibliográficas .....</b>	<b>13</b>
<b>Instituciones participantes.....</b>	<b>17</b>



## Abstract

The Salado River Basin is an area with significant cattle density and hydro-halomorphic soils subject to periodic flooding that affect the emission of nitrous oxide (N<sub>2</sub>O), a potent greenhouse gas. In this context, the promotion of *Lotus tenuis* is recognized as a practice capable of enhancing pasture quality through the inclusion of legumes. This study aimed to quantify and analyze the N<sub>2</sub>O emissions produced in a hydro-hallomorphic pasture soil used for livestock grazing, both with and without the promotion of *Lotus tenuis*. Specific objectives included: quantifying and evaluating N<sub>2</sub>O emissions for naturalized pasture soils with and without *Lotus tenuis* promotion and assessing the relationship between N<sub>2</sub>O emissions and certain conditioning factors, particularly following the addition of animal excreta. To achieve this, seasonal N<sub>2</sub>O samplings were conducted in soils with and without *Lotus tenuis* promotion. The results indicate that the promotion of *Lotus tenuis* is associated with an increase in N<sub>2</sub>O emissions in spring, but a decrease in autumn and summer, suggesting a complex effect. Additionally, a regression tree analysis classified soil emissions into four groups distinguished by environmental variables acting as regulatory factors: (i) the type of excreta (primary factor), (ii) soil temperature (secondary factor), (iii) EPSA (%) (tertiary factor), (iv) the presence of legumes, and (v) soil nitrate content as the last factor. The findings demonstrate that accumulated N<sub>2</sub>O emissions significantly vary depending on the season and applied treatments. Regarding emission mitigation, although *Lotus* is known for its nutrient use efficiency, pasture quality improvement, and nitrogen fixation, its role in N<sub>2</sub>O mitigation appears to be influenced by seasonal factors.

Key words: GHG gases, livestock, legume, nitrous oxide



## Resumen

La Cuenca del Salado es una zona con una significativa densidad de ganado bovino y suelos hidro-halomórficos sujetos a anegamientos periódicos que afectan la emisión de óxido nitroso ( $N_2O$ ), un potente gas de efecto invernadero. En este contexto, la promoción de *Lotus tenuis* se posiciona como una práctica capaz de mejorar la calidad de los pastizales a través de la inclusión de leguminosas. El objetivo de este trabajo fue cuantificar y analizar las emisiones de  $N_2O$  producidas en un suelo hidro-halomórfico de pastizal dedicado a la ganadería con pastoreo directo con y sin promoción de *Lotus tenuis*. Los objetivos específicos abarcaron: Cuantificar y evaluar las emisiones de  $N_2O$  para suelos de pastizal naturalizado con y sin promoción de *Lotus tenuis* y, por otro lado, evaluar la relación entre las emisiones de  $N_2O$  y algunos de sus factores condicionantes, ante el agregado de excretas animales. Se realizaron a tal fin muestreos estacionales de  $N_2O$  en suelos con y sin promoción de *Lotus tenuis*. Los resultados indican que la promoción de *Lotus tenuis* está asociada con un incremento en las emisiones de  $N_2O$  en primavera, pero a una disminución en otoño y verano lo que sugiere que el efecto es complejo. Por otro lado, un árbol de regresión permitió clasificar las emisiones del suelo en cuatro grupos separados por las variables ambientales como factores reguladores, a saber: (i) el tipo de excreta (factor principal), (ii) temperatura del suelo (factor secundario), (iii) el EPSA (%) (factor terciario), (iv) la presencia de leguminosas y (v) el contenido de nitratos del suelo en último lugar. Los resultados de este estudio demuestran que las emisiones acumuladas de  $N_2O$  varían significativamente en función de las estaciones y los tratamientos aplicados. Con respecto a la mitigación de la emisión, aunque *Lotus* es conocido por su eficiencia en el uso de nutrientes, mejora de la calidad de la pastura y la fijación de nitrógeno, su rol en la mitigación de  $N_2O$  parece estar condicionado por factores estacionales.

Palabras Clave: gases de efecto invernadero, óxido nitroso, leguminosas, ganadería



## Antecedentes

En Argentina, durante los últimos 30 años, el aumento de la presión agrícola ha llevado a un desplazamiento de la ganadería a ambientes marginales, con limitantes al crecimiento de la vegetación (Paruelo et al., 2006). Aunque el ganado vacuno se encuentra distribuido en todo el país, la Región Pampeana es el área ganadera por excelencia, con mayor densidad de ganado bovino (Rearte, 2010; SENASA, 2017). Particularmente la provincia de Buenos Aires aporta el 35% de las cabezas de ganado bovino del país, que cuenta con un total de 17.284.318 cabezas. El 48% de las existencias ganaderas de la provincia, se encuentra en la región de la Cuenca del Salado, la zona de cría más importante del país (MA, 2015). La fisonomía de la vegetación dominante en esta región es de pastizal herbáceo modificado de altura media y alta, sin endemismos importantes. La región abarca una extensa llanura dominada por la presencia de suelos hidrohalmórficos (INTA, 1992). La escasa pendiente no ha permitido el desarrollo de una red de drenaje importante, por esa razón, la evapotranspiración es la principal salida de agua del sistema (García et al., 2018). Así, los excesos hídricos suelen ocasionar anegamientos periódicos en áreas deprimidas (Sala et al., 1981a).

En la región se lleva a cabo una práctica conocida como promoción de *Lotus tenuis*, destinada a mejorar la receptividad y calidad de los pastizales (Nieva et al., 2016; Nieva et al., 2018). *Lotus tenuis* es una leguminosa con alta capacidad de resiembra natural y adaptación a suelos con problemas de halo-hidromorfismo (Marinoni et al., 2017). La práctica de promoción se basa en favorecer el crecimiento de esta especie a fin del invierno, mejorando su capacidad de competencia respecto de otras herbáceas, de modo que pueda crecer y desarrollarse. Se cree que uno de los efectos de la presencia de especies leguminosas en los pastizales podría ser un incremento la disponibilidad de nitrógeno, a través de la fijación biológica, causando que las emisiones de  $N_2O$  sean mayores (Rochette y Janzen, 2005).

El óxido nitroso ( $N_2O$ ) es uno de los principales gases de efecto invernadero. Es una de las moléculas más reactivas del ciclo de nitrógeno (N), su tiempo promedio de permanencia en la atmósfera es de aproximadamente 120 años y una molécula de  $N_2O$  tiene un potencial de calentamiento 265 veces mayor que el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) (IPCC, 2014). El 70% del  $N_2O$  se produce de forma natural en los suelos como producto secundario de los procesos microbianos de nitrificación y desnitrificación. La ocurrencia de anegamientos frecuentes en la Cuenca del Salado ocasiona la disminución en la difusión de oxígeno dentro de los agregados y el consecuente aumento de los sitios anaeróbicos (Russow et al., 2009), favoreciendo el proceso de desnitrificación, profundizando las emisiones de  $N_2O$  en estos suelos.

Algunos autores han observado que las principales variables que controlan las emisiones de  $N_2O$ , son la temperatura y la humedad del suelo (Trumbore et al., 1996; Butterbach-Bahl et al., 2013). En la Pampa Ondulada, se ha demostrado que cuando la temperatura superficial del suelo es mayor a 14 °C y el espacio poroso saturado con agua es mayor a 60-70%, las emisiones de  $N_2O$  se incrementan significativamente (Álvarez et al., 2012; Cosentino et al., 2011). Otras variables de



importancia como condicionantes de la emisión de  $N_2O$  son la disponibilidad de nitratos y la presencia de una fuente de carbono lábil en el suelo que funcionan como sustrato y fuente de energía, respectivamente, en el proceso de desnitrificación (Saggar et al., 2012).

A pesar de la importancia que representa contar con valores propios de emisiones y conocer más acerca de los factores que las regulan, son pocos los trabajos que hay en la literatura mundial para sistemas ganaderos en suelos hidro-halomórficos. La importancia que ha tomado esta región desde el punto de vista de la producción pecuaria y la excelente alternativa que presenta la incorporación de *Lotus tenuis* a la oferta forrajera, en cantidad y calidad, ameritan el estudio de su efecto sobre las emisiones de  $N_2O$ .

## Objetivos

### Objetivo general

El objetivo de este trabajo fue cuantificar y analizar las emisiones de  $N_2O$  producidas en un suelo hidro-halomórfico de pastizal dedicado a la ganadería con pastoreo directo con y sin promoción de *Lotus tenuis*.

### Objetivos específicos

1. Cuantificar y evaluar las emisiones de  $N_2O$  para suelos de pastizal naturalizado con y sin promoción de *Lotus tenuis*.
2. Evaluar la relación entre las emisiones de  $N_2O$  y algunos de sus factores condicionantes, ante el agregado de excretas animales.

## Metodología

Ensayo a campo: determinación de emisión edáfica de  $N_2O$  desde orina y heces en pastizales con y sin promoción de *Lotus tenuis*. Este experimento se encuentra enmarcado dentro de la actividad 2.4 Emisiones de GEI del proyecto.

### Sitio de estudio



El estudio se llevó a cabo en la Chacra experimental Manantiales (Latitud 35° 30' S. Longitud 58° 30' O), ubicada en el partido de Chascomús, provincia de Buenos Aires, a 19 km al sur de la ciudad homónima y 20 km al norte del Río Salado. Se analizaron dos sitios, a saber:

Sin promoción de *Lotus*: el sitio de estudio presenta un pastizal naturalizado con predominancia de gramíneas de los géneros *Festuca* y *Agropiro*, con mínima presencia de leguminosas. Se trata de un bajo utilizado para la alimentación de ganado de cría durante todo el año con mayor producción en la estación primaveral. El suelo predominante ha sido clasificado a nivel de Gran Grupo como Natracuol típico.

Con promoción de *Lotus*: Estos sitios presentan un pastizal modificado en el que se realiza todos los años una práctica agronómica conocida como promoción de *Lotus tenuis*, basada en la aplicación de herbicidas selectivos (Acosta et al., 2015) para favorecer la presencia de esta especie, al mejorar su condición de competencia respecto de las gramíneas. Se utiliza para cubrir la escasez estival de forraje, aunque son pastoreadas en mayor o menor medida durante todo el año (INTA Chascomús, comunicación personal). El suelo ha sido clasificado también como Natracuol típico.

Se implementó un arreglo bifactorial con diseño de parcelas divididas con medidas repetidas en el tiempo. Los factores fueron “Manejo del pastizal” con dos niveles: Con promoción de Lotus (CPL) y Sin promoción de Lotus (SPL) y “Excretas” con tres niveles: Control, Heces y Orina. Se contó con tres repeticiones (parcela principal) por cada nivel del factor “Manejo del Pastizal” y dentro de cada parcela se realizaron tres subparcelas donde se aleatorizaron los niveles del factor “Excretas”. La variable respuesta fue la emisión de  $N_2O$  ( $\mu gN-N_2O.m^{-2}.h^{-1}$ ). Se realizaron cuatro muestreos con una duración de al menos 40 días en cada estación de un año corrido.

### **Preparación de los tratamientos previo a cada temporada de muestreo**

Previo al inicio del muestreo de gases dentro de la cámara, se realizaron extracciones de orina y heces de vaquillonas que habían estado previamente, durante no menos de 15 días, pastoreando los recursos forrajeros correspondientes a cada tratamiento de “Manejo de pastizal”.

El día 0, se realizaron la aplicación de excretas en las áreas donde fueron colocadas las cámaras, simulando un evento de deposición. Las aplicaciones fueron de heces, orina o ninguna excreta, según correspondía. En el caso de la orina se aplicaron 800 ml de orina de vaquillona de recría (valor aproximado correspondiente al volumen de un evento medio diario de orina) y en el caso de las heces 1,5 kg (peso estimado de una torta promedio).



## Muestreo de gases

Se llevaron a cabo 4 muestreos para determinación de N<sub>2</sub>O (uno en cada estación del año), de aproximadamente seis semanas de duración: los primeros 10 días en forma diaria, luego día por medio hasta la tercera semana, y luego se disminuyó la frecuencia hasta la semana 6, a menos que condiciones de alta temperatura y humedad del suelo (que favorecían las emisiones de N<sub>2</sub>O) ameritaran mantener alta frecuencia de muestreo. Para la toma de muestras de gases, se utilizó el método de la cámara estática cerrada descrita por Alves et al. (2012). Según esta metodología, cada cámara se componía por una base de hierro y una cubierta de PVC conectada al exterior por una válvula de dos vías. La base de hierro (43 cm x 29,5 cm) debía ser enterrada en el suelo a 5 cm de profundidad, como mínimo 24 horas antes del primer muestreo de gas.

La toma de las muestras de gas se realizó entre las 9 y 11 hs. Se considera que esta franja horaria representa el momento del día en el que se emite el flujo medio diario de N<sub>2</sub>O (Alves et al., 2012). La concentración de N<sub>2</sub>O en cada vial fue determinada mediante el análisis en cromatógrafo de gases en el laboratorio de EMBRAPA Agrobiología (Brasil).

Para determinar si hay emisión de GEI y cuál es su tasa, se calculó el flujo de emisión de acuerdo con:

$$f = \frac{\Delta C}{\Delta t} \times \frac{V}{A} \times \frac{m}{V_m}$$

Donde  $\Delta C/\Delta t$  es el cambio en la concentración del gas correspondiente dentro la cámara durante el tiempo de incubación  $\Delta t$ , V es el volumen de la cámara, A es el área de suelo cubierta por la cámara, m es el peso molecular del N<sub>2</sub>O y  $V_m$  es el volumen molar del gas correspondiente. El flujo de gas se calcula como el incremento en la concentración durante el período de incubación.

El cálculo de las emisiones acumuladas se realizó midiendo el área bajo la curva de le emisión de N-N<sub>2</sub>O (ug.m<sup>2</sup>.día<sup>-1</sup>) utilizando la regla del trapecoide en el software estadístico Sigmaplot.

## Determinación de variables condicionantes de la emisión de N<sub>2</sub>O

Con el fin de estudiar algunas causas que pueden influenciar las emisiones de GEI, se realizaron muestreos semanales de suelo para determinar contenido de N-NO<sub>3</sub> por nitración del ácido salicílico (Cataldo et al., 1975), humedad actual del suelo (por secado en estufa hasta peso constante) y densidad aparente por método del cilindro (Blake, 1986) para el cálculo del porcentaje de espacio poroso saturado con agua (EPSA). El campo cuenta con una Estación meteorológica automática instalada que registra los principales datos meteorológicos cada 10 minutos, los que pueden ser tomados directamente desde internet (siga2.inta.gob.ar).

# Resultados

## Emisiones de N-N<sub>2</sub>O acumuladas

Los resultados obtenidos en el estudio indican variaciones significativas en las emisiones acumuladas de N<sub>2</sub>O entre los tratamientos (Fig.1).

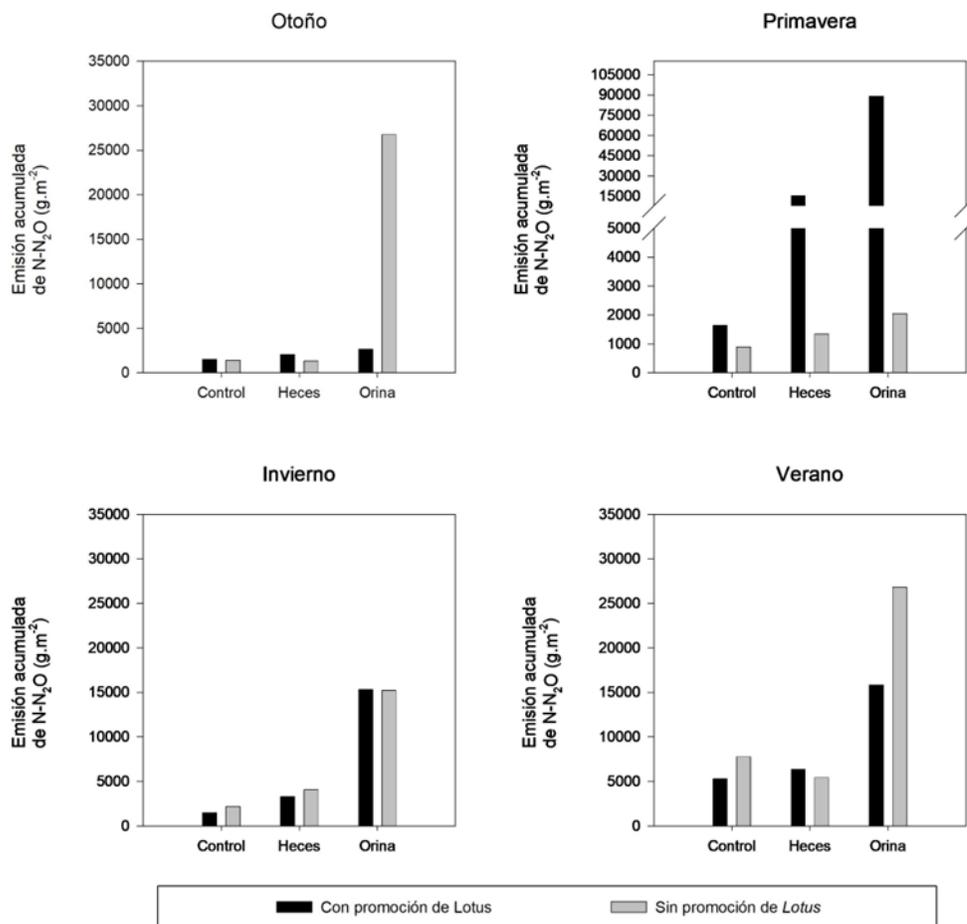


Figura 1. Emisión acumulada de N-N<sub>2</sub>O durante el tiempo de duración de cada ensayo estacional para tratamientos de control sin excretas, suelo con aplicación de heces y suelo con aplicación de orina en tratamientos con y sin promoción de *Lotus*



En otoño, las emisiones para sistemas con promoción de *Lotus* no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos con excretas. Por otro lado, en el pastizal sin promoción de *Lotus* se observa un marcado incremento de las emisiones acumuladas de N-N<sub>2</sub>O para el tratamiento con orina.

En primavera, los tratamientos con orina mostraron un incremento de las emisiones acumuladas de N-N<sub>2</sub>O, superando sustancialmente a los tratamientos de heces y control en ambos casos. En sistemas con promoción de *Lotus*, los suelos con agregado de orina tuvieron una emisión particularmente alta en esta estación.

Por otro lado, durante el invierno, las emisiones acumuladas de N<sub>2</sub>O en todas las parcelas fueron moderadas, con los tratamientos de orina mostrando mayores emisiones en comparación con el control y las heces, tanto para *Lotus* como para el pastizal. La estación de verano presentó un patrón similar al de la primavera, con las parcelas de orina registrando las emisiones acumuladas mucho más altas, destacando mayores emisiones en suelos sin promoción de *Lotus*.

### **Jerarquización de las variables que regulan la emisión en suelos hidrohalmórficos.**

Siendo las tasas de emisión de N<sub>2</sub>O muy variables (de -30 a 1000  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ) y altamente dependientes de las variables ambientales, un árbol de regresión permitió clasificar las emisiones del suelo en cuatro grupos separados por las variables ambientales como factores reguladores, a saber: (i) el tipo de excreta (factor principal), (ii) temperatura del suelo (factor secundario), (iii) el EPSA (%) (factor terciario), (iv) la presencia de leguminosas y (v) el contenido de nitratos del suelo en último lugar. Las emisiones de N<sub>2</sub>O fueron “bajas” siempre que el tipo de excreta fueron las heces; “moderadas” siendo el tipo de excreta la orina, la temperatura del suelo menor a 16 °C o mayor a 16°C y con un EPSA menor a 78%; “altas” con tipo de excreta orina, temperaturas de suelo mayores a 16°C, EPSA mayor a 78% y sin inclusión de leguminosas o con inclusión de leguminosas más contenido de nitratos menores a 85 ppm; y “muy altas”, con todas las variables en los mismos niveles de las emisiones “altas”, pero con contenidos de nitrato en el suelo mayores a 85 ppm.

## **Discusión**

Los datos recogidos apuntan a que la promoción de *Lotus*, en la región de la Cuenca del Salado, puede tener un efecto en las emisiones de N<sub>2</sub>O, y esto puede observarse particularmente en las estaciones de primavera, otoño y verano. Así, por un lado, la emisión de N<sub>2</sub>O se incrementa muy marcadamente en la época primaveral coincidiendo con momentos donde las temperaturas son



mayores, pero no tan altas como las del verano, donde la humedad del suelo disminuye por la alta demanda atmosférica, particularmente en el caso de *Lotus* es cuando se encuentra con mayor tasa de crecimiento y el momento donde da la mayor fijación biológica lo que dejaría nitrógeno mineral disponibles. Esta combinación de factores explicaría el incremento en las emisiones de primavera en estos casos concordando con, Alfaro et al (2022). Sin embargo, en otoño y verano las emisiones para el tratamiento con *Lotus* son menores, al no darse esa combinación de variables.

La elevada concentración de nitrógeno rápidamente disponible en los tratamientos de orina proporcionó más sustrato para la nitrificación y posterior desnitrificación, al igual que en Perez et al (2020), van der Werden et al (2022) y Barczyk et al (2023). Las emisiones reducidas en invierno y otoño sugieren un efecto estacional claro, donde las bajas temperaturas pueden haber limitado la actividad microbiana, lo que sugiere que las emisiones de  $N_2O$  locales son estacionalmente dependientes y no deben ser evaluadas como valores constantes a lo largo del año.

Por otro lado, la separación de variables a través del árbol de regresión postula a la temperatura la variable de suelo más importante, luego el EPSA (variable que representa la humedad del suelo), luego a la presencia de leguminosas y finalmente al contenido de nitratos como variables reguladoras del proceso de emisión de  $N_2O$ . Si bien el orden de jerarquía de las variables podría presentarse similar a los trabajos de Cosentino et al. (2013) y Alvarez et al. (2012), los valores de corte donde se dividen las variables son diferentes, siendo por ejemplo la EPSA una variable que en estos suelos se destaca por ser mucho más alta que en suelos no halomórficos, tienen un valor de corte mucho más alto que en los modelos de árbol de regresión de Cosentino y Alvarez cuyos sistemas no tienen este componente de halohidromorfismo y alta humedad en el suelo.

Esta agrupación resultó de gran utilidad como modelo explicativo de la emisión de  $N_2O$ , permitiendo identificar aquellas variables de mayor relevancia en la regulación de las emisiones en suelos hidrohalomórficos dedicados a la ganadería en Argentina.

## Conclusiones

Los resultados de este estudio demuestran que las emisiones acumuladas de  $N_2O$  varían significativamente en función de las estaciones y los tratamientos aplicados. Las parcelas tratadas con orina y promoción de *Lotus* experimentaron emisiones más altas de  $N_2O$  en comparación con los tratamientos de control y heces, especialmente en las estaciones de primavera y verano.



Con respecto a la mitigación de la emisión, aunque *Lotus* es conocido por su eficiencia en el uso de nutrientes, mejora de la calidad de la pastura y la fijación de nitrógeno, su rol en la mitigación de N<sub>2</sub>O parece estar condicionado por factores estacionales.

## Referencias Bibliográficas

Alfaro, M., Hube, S., Salazar, F., Beltrán, I., Rodríguez, M., Ramírez, L., & Saggar, S. (2022). Soil greenhouse gas emissions in different pastures implemented as a management strategy for climate change. *Agronomy*, 12(5), 1097.

Álvarez, C., Costantini, A., Álvarez, C.R., Alves, B.J., Jantalia, C.P., Martellotto, E.E., & Urquiaga, S. (2012). Soil nitrous oxide emissions under different management practices in the semiarid region of the Argentinian Pampas. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 94, 209-220.

Alves, B.J.R., Smith, K.A., Flores, R.A., Cardoso, A.S., Oliveira, W.R.D., Jantalia, C.P., Urquiaga, S., & Boddey, R.M. (2012). Selection of the most suitable sampling time for static chambers for the estimation of daily mean N<sub>2</sub>O flux from soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 46, 129–135.

Barczyk, L., Kuntu-Blankson, K., Calanca, P., Six, J., & Ammann, C. (2023). N<sub>2</sub>O emission factors for cattle urine: effect of patch characteristics and environmental drivers. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 127(2), 173-189.

Blake, G.R., & Hartge, K.H. (1986). Bulk density. En: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 1—Physical and Mineralogical Methods* (2nd ed., pp. 363-382). *Agronomy Monograph 9*. American Society of Agronomy—Soil Science Society of America.

Butterbach-Bahl, K., Baggs, E.M., Dannenmann, M., Kiese, R., & Zechmeister-Boltenstern, S. (2013). Nitrous oxide emissions from soils: how well do we understand the processes and their controls?. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368, 1-13.

Cataldo, D.A., Maroon, M., Schrader, L.E., & Youngs, V.L. (1975). Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 6, 71-80.

Cosentino, V.R.N., Figueiro Aureggi, S.A., & Taboada, M.A. (2013). Hierarchy of factors driving N<sub>2</sub>O



emissions in non-tilled soils under different crops. *European Journal of Soil Science*, 64, 550-557.

García, P.E., Menéndez, A.N., Podestá, G., Bert, F., Arora, P., & Jobbágy, E. (2018). Land use as possible strategy for managing water table depth in flat basins with shallow groundwater. *International Journal of River Basin Management*, 16, 79-92.

Godfray, H. C. J., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Nisbett, N., ... & Whiteley, R. (2010). The future of the global food system. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 2769-2777.

INTA. (1992). CARTA DE SUELOS DE LA REPÚBLICA ARGENTINA. Hoja 3557 - 31 – General Belgrano. Recuperado de: [http://anterior.inta.gov.ar/suelos/cartas/3557/G\\_Belgrano/3557-31-1.htm](http://anterior.inta.gov.ar/suelos/cartas/3557/G_Belgrano/3557-31-1.htm)

IPCC. (2014). Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the intergovernmental panel on Climate Change. IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland.

MA. Ministerio de Agroindustria. (2015). Caracterización de la Producción Bovina: Buenos Aires, Corrientes, Chaco, Formosa, La Pampa, Misiones. Disponible en: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_caracterizacion\\_de\\_la\\_produccion\\_bovina.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_caracterizacion_de_la_produccion_bovina.pdf)

Marinoni, L., Zabala, J. M., Patiño, J., & Pensiero, J.F. (2017). Efecto de la temperatura y salinidad en la germinación y crecimiento inicial de un material naturalizado de *Lotus tenuis* Waldst. y Kit. *Fave. Sección Ciencias Agrarias*, 16, 47-59.

Nieva, A.S., Bailleres, M.A., Llamas, M.E., Taboada, M.A., Ruiz, O.A., & Menéndez, A. (2018). Promotion of *Lotus tenuis* in the Flooding Pampa (Argentina) increases the soil fungal diversity. *Fungal Ecology*, 33, 80-91.

Nieva, A.S., Bailleres, M.A., Corriale, M.J., Llamas, M.E., Menéndez, A.B., & Ruiz, O. A. (2016). Herbicide-mediated promotion of *Lotus tenuis* (Waldst. y Kit. ex Wild.) did not influence soil bacterial communities, in soils of the Flooding Pampa, Argentina. *Applied Soil Ecology*, 98, 83-91.

Paruelo, J.M., Guerschman, J.P., Piñeiro, G., Jobbágy, E.G., Verón, S.R., Baldi, G., & Baeza, S. (2006). Cambios en el uso de la tierra en Argentina y Uruguay: marcos conceptuales para su análisis.



Agrociencia, 10, 47-61.

Perez, M. G., Romaniuk, R. I., Cosentino, V. R. N., Busto, M., González, F. A., Taboada, M. A., & Costantini, A. O. (2020). Winter soil N<sub>2</sub>O emissions from a meat production system under direct grazing of Argentine Pampa. *Animal Production Science*, 61(2), 156-162.

Rearte, D. (2010). Situación actual y perspectiva de la producción de carne vacuna. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires (Argentina). Estación Experimental Agropecuaria Balcarce, Buenos Aires (Argentina). Programa Nacional Carnes. Disponible en <http://inta.gob.ar/documentos/situacion-actual-y-prospectiva-de-la-produccion-de-carne-vacuna>.

Rochette, P., & Janzen, H. (2005). Towards a revised coefficient for estimating N<sub>2</sub>O emissions from legumes. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 73, 171–179.

Russow, R., Stange, C.F., & Neue, H.U. (2009). Role of nitrite and nitric oxide in the processes of nitrification and denitrification in soil: Results from <sup>15</sup>N tracer experiments. *Soil Biology and Biochemistry*, 41, 785–795.

Saggar, S., Jha, N., Deslippe, J., Bolan, N.S., Luo, J., Giltrap, D.L., Kim, D., Zaman, M., & Tillman, R.W. (2012). Denitrification and N<sub>2</sub>O:N<sub>2</sub> production in temperate grasslands: Processes, measurements, modelling and mitigating negative impacts. *Science of the Total Environment*, 465, 173-195.

Sala, O.E., Soriano, A., & Perelman, S. (1981a). Relaciones hídricas de algunos componentes de un pastizal de la Depresión del Salado. *Revista Facultad de Agronomía*, 2, 1-10.

SENASA. Servicio Nacional de Seguridad y Sanidad Agroalimentaria. (2017). Distribución de existencias bovinas por categoría y departamento. Disponible en: [http://www.senasa.gob.ar/sites/default/files/ARBOL\\_SENASA/INFORMACION/INFORMES%20Y%20ESTADISTICAS/Informes%20y%20estadisticas%20Animal/BOVINOS/2.1\\_distribucion\\_de\\_existencias\\_bovinas\\_por\\_categoria\\_2017.xlsx](http://www.senasa.gob.ar/sites/default/files/ARBOL_SENASA/INFORMACION/INFORMES%20Y%20ESTADISTICAS/Informes%20y%20estadisticas%20Animal/BOVINOS/2.1_distribucion_de_existencias_bovinas_por_categoria_2017.xlsx)

Trumbore, S.E., Chadwick, O.A., & Amundson, R. (1996). Rapid exchange between soil carbon and atmospheric carbon dioxide driven by temperature change. *Science*, 272, 393-396.

Van der Weerden, T. J., Rutherford, A. J., de Klein, C. A., Ganasamurthy, S., & Morales, S. E. (2022). Elevating soil pH does not reduce N<sub>2</sub>O emissions from urine deposited onto pastoral soils. *New*



Zealand Journal of Agricultural Research, 65(6), 484-506.

## Instituciones participantes



Secretaría Técnica Administrativa



Con el apoyo de:



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

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