



Foto: Verónica Ciganda

# EMISIONES DE ÓXIDO NITROSO DE LOS PARCHES DE ORINA BOVINA: cuantificación y alternativas de mitigación

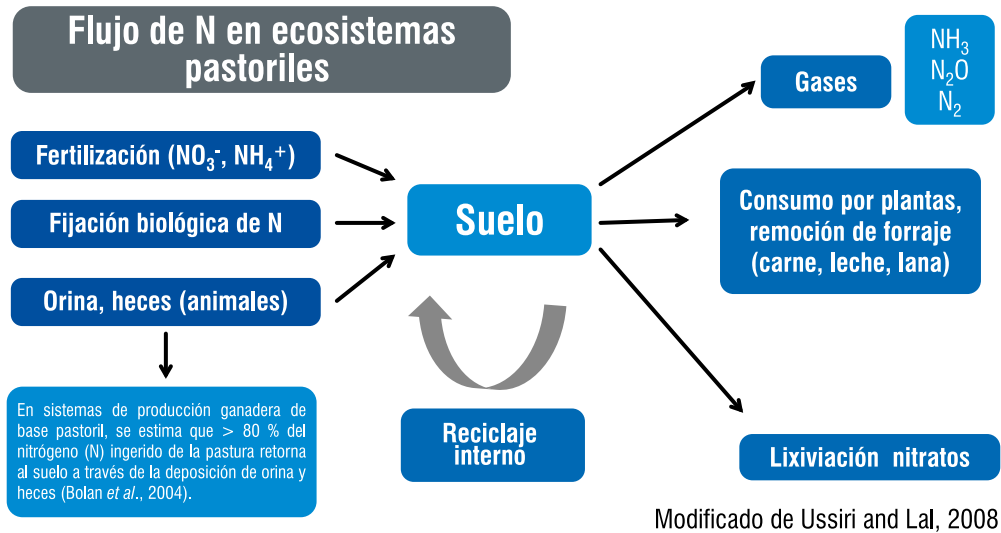
Ing. Agr. MSc. Pablo Torres  
Lic. Biol. Dra. Ma. Teresa Federici  
Bach. Julieta Mariotta  
Ing. Agr. PhD. Verónica S. Ciganda

Área de Recursos Naturales, Producción y Ambiente

Este artículo presenta resultados de un trabajo que busca comprender qué sucede con el nitrógeno que llega al suelo en cada micción de orina bovina, cuantificar las emisiones de óxido nitroso provenientes de esa orina en nuestras condiciones de suelo y ambiente, y evaluar el efecto potencial de un inhibidor como la DCD sobre los procesos del nitrógeno y las emisiones.

El óxido nitroso ( $N_2O$ ) es uno de los gases de efecto invernadero (GEI) con mayor poder de calentamiento. En Uruguay, las actividades agropecuarias contribuyen con más del 90 % de las emisiones totales de  $N_2O$ , y se estima que en promedio el 80 % del nitrógeno (N) ingerido de la pastura retorna al suelo a través de la deposición de orina y heces, mientras que el restante 20 % es retenido y utilizado por el animal. En un período corto de tiempo, el N de la orina es más susceptible

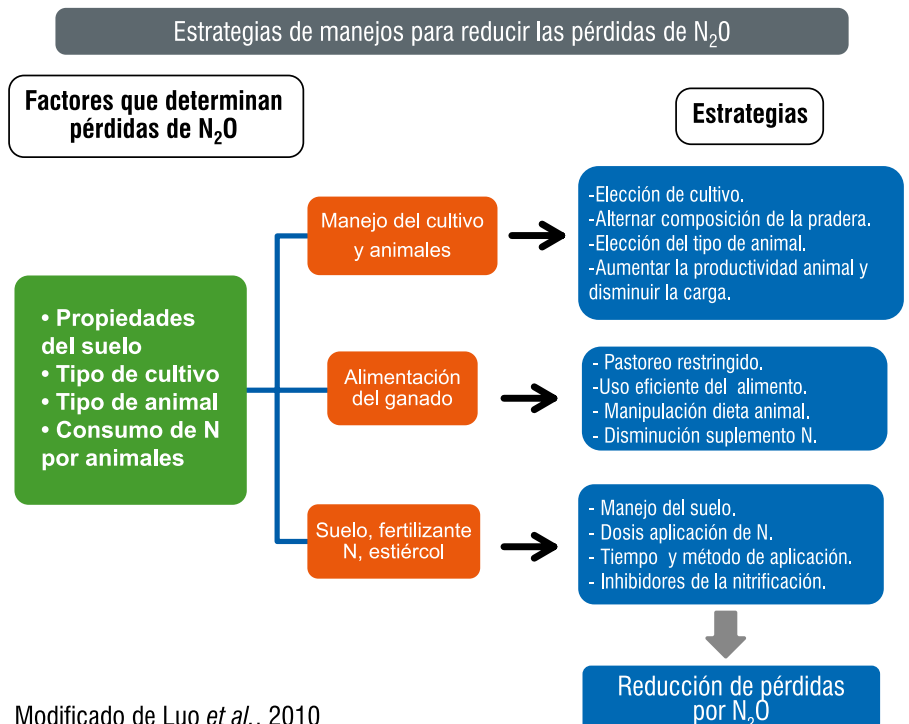
a pérdidas respecto al N fecal, debido a que la mayor parte del N de la orina está en forma de urea, sumado a la elevada concentración de N en los parches de orina (entre 350 y 1200 kg N/ha), la que excedería la demanda de N de las plantas en el área depositada. Por lo tanto, el N de la orina en el suelo puede ser una fuente importante de  $N_2O$ , a través de los procesos microbianos de nitrificación (i.e. transformación del  $NH_4^+$  a  $NO_3^-$ ) y de desnitrificación (conversión de  $NO_3^-$  en gas  $N_2$  o



**Figura 1** - Esquema del flujo de N en los ecosistemas pastoriles.

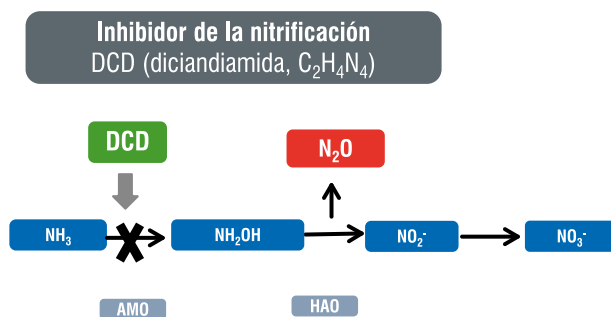
$\text{N}_2\text{O}$ ), siendo la desnitrificación el proceso dominante en la emisión de  $\text{N}_2\text{O}$  desde suelos bajo praderas (Figura 1). Ambos procesos tienen reguladores en común, como la presión parcial de  $\text{O}_2$  y el contenido de agua del suelo. En suelos bien aireados (espacio poroso lleno de agua  $< 60\%$ ), la nitrificación es la fuente preferencial de flujos de  $\text{N}_2\text{O}$ , mientras que en suelos con un alto contenido de agua (espacio poroso lleno de agua  $> 60-90\%$ ) la producción de  $\text{N}_2\text{O}$  es conducida principalmente por la desnitrificación anaeróbica. Además, la dieta de los animales en pastoreo puede tener un impacto sobre las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$ , debido a su efecto sobre el contenido de N y la composición de la orina (Figura 1).

La investigación nacional e internacional ha explorado y reportado diferentes alternativas para disminuir o minimizar las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  (Figura 2), ya sea a través del manejo del cultivo/pastura (e.g., inclusión de plantago), del manejo del pastoreo animal (e.g. evitar áreas concentradas de deposición) y del tipo de suplementación (e.g. evitar exceso de proteína), así como a través de prácticas relacionadas al manejo de suelos y fertilizantes nitrogenados. La incorporación de leguminosas con taninos (Alecrim *et al.*, 2024) y el suministro de taninos como aditivos (Santander *et al.*, 2024), han sido evaluados a nivel nacional por su efecto en la partición del N entre la orina y heces.



**Figura 2** - Estrategias para reducir las pérdidas de óxido nitroso.

- Cristalino blanco
  - Altamente soluble
  - 65 % N (Di *et al.*, 2016).
- Inhibe temporalmente la nitrificación desactivando la enzima amonio monooxigenasa (AMO) (Di *et al.* 2010)



El efecto inhibitorio del DCD depende de la temperatura, el contenido de agua, materia orgánica y el pH del suelo.

Puede reducir las emisiones hasta en un 90 % (De Klein y Eckard, 2008), en promedio reduce en 57 % las emisiones de N<sub>2</sub>O (Di y Cameron, 2016).

La tasa de degradación de DCD es dependiente de la temperatura del suelo

- vida media de 3 a 4 meses a 10 °C.
- vida media de 20 días a 25 °C .

**Figura 3** - Modo de acción del inhibidor de la nitrificación DCD y sus características.

La aplicación de biochar en las áreas de deposición de orina para ralentizar la conversión de amonio a nitrato, se ha planteado también en forma exploratoria. Otras alternativas promueven la utilización de especies vegetales con efecto inhibitorio de la nitrificación (por ej. Brachiarias), así como la aplicación al suelo de inhibidores sintéticos de la nitrificación (IN), como por ejemplo la diciandiamida (DCD) (Figura 3). En el caso de la DCD, algunos reportes indican que su presencia en altas concentraciones en productos alimenticios puede ser tóxica (Lin *et al.*, 2015).

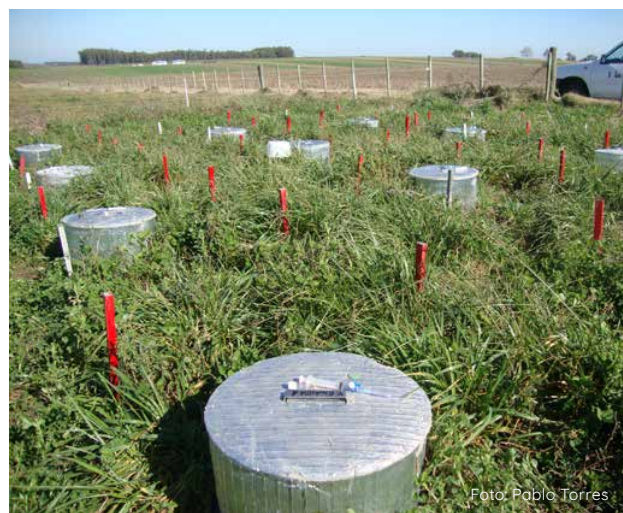
Si bien en Uruguay las emisiones de N<sub>2</sub>O provenientes de las deposiciones de orina bovina son muy relevantes en la matriz de nuestros inventarios nacionales, hasta ahora son escasos los estudios que han cuantificado y evaluado estrategias para su mitigación.

En INIA hemos llevado adelante un trabajo que busca comprender qué sucede con el N que llega al suelo en cada micción de orina bovina, cuantificar las emisiones de N<sub>2</sub>O provenientes de esa orina en nuestras condiciones de suelo y ambiente, y evaluar el efecto potencial de un inhibidor como la DCD sobre los procesos del N y las emisiones.

### ¿CÓMO SE HA LLEVADO ADELANTE ESTE ESTUDIO?

El trabajo se realizó en la estación experimental de INIA La Estanzuela, Colonia, Uruguay (34° 20' 23.72" S – 57° 41' 39.48" O), sobre un suelo Brunosol éutrico bajo una cobertura vegetal mezcla de festuca (*Festuca arundinacea* Pers.) y alfalfa (*Medicago sativa* L.). El

diseño experimental fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos, buscando simular la llegada al suelo del N de la orina bovina, consistieron en: Control (sin aplicación de orina), aplicación de orina (Orina), y aplicación de orina con el agregado del inhibidor de la nitrificación diciandiamida (Orina+DCD), a una dosis de 10 kg/ha (Figura 4). La orina se colectó de vacas hembras de raza carnífera que estuvieron pastando, por al menos 10 días, la misma pastura en la que luego se instaló el experimento (Figura 4).



**Figura 4** - Ensayo experimental instalado sobre pastura mezcla de festuca (*Festuca arundinacea* Pers.) y alfalfa (*Medicago sativa* L.) con cámaras estáticas de flujo cerrado.



**Cuadro 1** - Características químicas del suelo al inicio del experimento.

| Parámetro                  |      |
|----------------------------|------|
| pH (H <sub>2</sub> O)      | 5,8  |
| N (%)                      | 0,2  |
| C.Org (%)                  | 2,7  |
| N-NO <sub>3</sub> (µg N/g) | 8,0  |
| N-NH <sub>4</sub> (µg N/g) | 14,9 |
| Bray I (µg P/g)            | 38,9 |

La metodología utilizada para las mediciones de N<sub>2</sub>O fue de cámaras estáticas de flujo cerrado, de 40 cm de diámetro (i.e. área= 0,1256 m<sup>2</sup>), con base y tapa de acero inoxidable, con la base insertada a 10 cm de profundidad. Las cámaras asignadas a los tratamientos con orina recibieron 1 L de orina, lo que correspondió a un agregado de 350 kg N/ha. El período experimental se extendió por un año, con una frecuencia de muestreos de elevada intensidad durante las primeras 12 semanas para llegar al fin del período con una frecuencia mensual. En cada día de medición, se obtuvieron muestras de gases de cada cámara a los 0, 20 y 40 minutos luego de tapar la cámara, se analizó su concentración de N<sub>2</sub>O por cromatografía gaseosa, y se calcularon los flujos de emisión de N<sub>2</sub>O diarios y el acumulado anual.

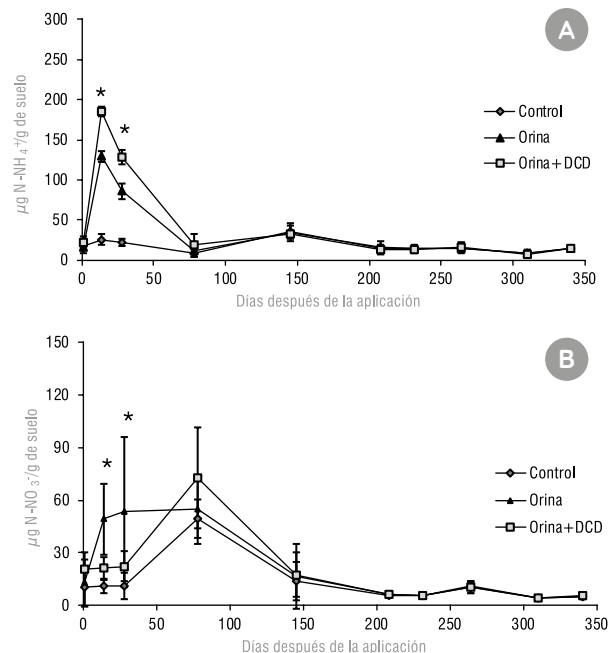
Las características iniciales del suelo se presentan en el Cuadro 1. Durante todo el período experimental se muestreó el suelo a 0-7,5 cm de profundidad en parcelas contiguas con el mismo tratamiento para la determinación de pH, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. La temperatura y la humedad del suelo (% H) se midieron continuamente mediante sensores colocados en los primeros 10 cm del suelo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### ¿Que sucedió en el suelo luego del agregado de la orina bovina?

La aplicación al suelo de orina bovina (350 kg N/ha), tanto sola como con DCD, incrementó significativamente la concentración de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en el suelo respecto al tratamiento control, con un pico a los 14 días (Figura 5-A). La rápida hidrólisis de la urea presente en la orina contribuyó al aumento de la concentración de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en el suelo, y luego de 78 días los niveles retornaron a la línea base.

En referencia a los cambios ocurridos con el N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> del suelo, la aplicación de orina sola incrementó rápidamente la concentración, pasando de un nivel inicial de 13,1 a 49,2 µg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/g en el día 14 (Figura 5-B).



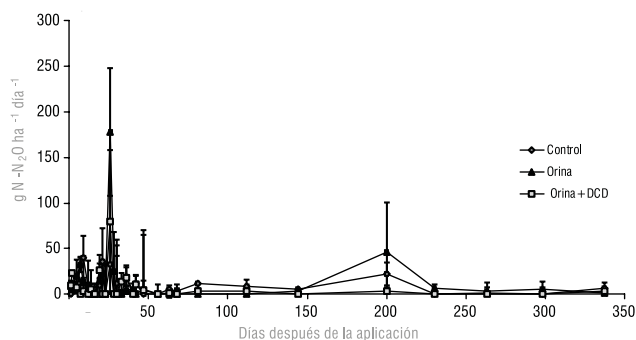
**Figura 5** - Evolución del contenido del N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (A) y del N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (B) del suelo luego de la aplicación de Orina y Orina+DCD. La aplicación de N de la orina fue equivalente a una dosis de 350 kg N/ha. El DCD fue agregado en dosis de 10 kg/ha, siguiendo las recomendaciones comerciales.

Por el contrario, la aplicación de Orina+DCD, mantuvo la concentración de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en valores similares al tratamiento control durante los primeros 28 días, y alcanzó su mayor concentración a los 78 días, que coincidiría con condiciones de humedad y temperatura favorables para la ocurrencia del proceso microbiano de nitrificación. En el día 145 luego de la aplicación de orina, la concentración de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> volvió a los niveles iniciales del suelo.

Estos resultados muestran que el N de la orina bovina generó en el corto plazo incrementos importantes del contenido de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> del suelo, pero que luego del día 78 y 145, respectivamente, se volvió a las condiciones iniciales. Además, fue posible observar que la adición a la orina del inhibidor de nitrificación DCD retardó la conversión de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> a NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, manteniendo las concentraciones de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> bajas durante casi la totalidad del primer mes luego de la aplicación.

### ¿Qué sucedió con las emisiones de N<sub>2</sub>O?

Los flujos de emisión de N<sub>2</sub>O mostraron cambios significativos tras la aplicación de orina y de Orina+DCD, respecto al control. La aplicación de orina sola generó un pico de emisión el día 26, con 177,9 g N-N<sub>2</sub>O/ha/día, mientras que con el agregado de DCD las emisiones se redujeron en un 55,3 %, mostrando el mismo día un pico de 79,5 g N-N<sub>2</sub>O/ha/día.



**Figura 6** - Evolución de las emisiones de N-N<sub>2</sub>O luego de aplicada la orina bovina.

La capacidad del DCD para reducir las emisiones de N<sub>2</sub>O fue menor a lo observado en otros estudios, en los que se reportaron reducciones de hasta un 90 % (De Klein y Eckard, 2008), siendo la temperatura y la humedad del suelo factores clave para lograr su efectividad (Figura 6). Es interesante resaltar que el día 26 también se midieron concentraciones de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en suelo significativamente diferentes y superiores entre los tratamientos con orina respecto al control, siendo mayor la concentración en los suelos que recibieron la orina sin inhibidor. Además, el mismo día se registró un evento de precipitación >22,5 mm. Las emisiones medidas durante el resto del período experimental fueron muy bajas y no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos.

Las emisiones de N<sub>2</sub>O acumuladas anuales fueron mayores para el tratamiento de aplicación de orina sola; sin embargo, estas pérdidas fueron inferiores al 0,1 % del N que se agregó con la orina. Estos resultados estarían indicando que el N que ingresó al suelo con la orina fue mayoritariamente utilizado por la pastura presente y en crecimiento en el área de aplicación, y que pueden haber ocurrido pérdidas de N en otras formas gaseosas (e.g. NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>) y no gaseosas (e.g. pérdidas de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> por lixiviación).

## CONSIDERACIONES FINALES Y PERSPECTIVAS

La aplicación de orina y Orina+DCD generó cambios significativos en el contenido de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> del

En este experimento, el N que ingresó al suelo con la orina habría sido mayoritariamente utilizado por la pastura presente y en crecimiento en el área de aplicación.

Se requiere profundizar en la cuantificación de las pérdidas de N como N<sub>2</sub>O en diferentes situaciones de suelo y coberturas vegetales.

suelo hasta los 78 y 145 días, respectivamente. Luego de estos tiempos los niveles de ambas formas de N volvieron a los niveles base del suelo. La aplicación de orina, con y sin el inhibidor de la nitrificación, aumentó el flujo de N<sub>2</sub>O desde el suelo, pero el uso del inhibidor permitió disminuir las emisiones en un 55,3 %.

Las emisiones acumuladas anuales no superaron el 0,1 % del N aplicado, lo que se podría considerar, para las condiciones del experimento, como un indicador de la baja contribución de los parches de orina a las emisiones de gases efecto invernadero.

El N de parches de orina en una cobertura vegetal en crecimiento había sido principalmente absorbido por las raíces de las plantas y/o perdido como gas sin efecto invernadero o por otras vías de pérdida como la lixiviación. El proceso de intensificación sostenible de la producción ganadera nacional requiere profundizar en la cuantificación de las pérdidas de N como N<sub>2</sub>O en diferentes situaciones de suelo y coberturas vegetales, así como desarrollar y evaluar alternativas de mitigación de fácil adopción y efectividad.

## REFERENCIAS

- Alecrim FB, Devincenzi T, Reyno R, Mederos A, Simón Zinno C, Mariotta J, Lattanzi FA, Nóbrega GN, Santander D, Gere JI, et al. Addition of Tannin-Containing Legumes to Native Grasslands: Effects on Enteric Methane Emissions, Nitrogen Losses and Animal Performance of Beef Cattle. *Sustainability*. 2024; 16(20):9135. <https://doi.org/10.3390/su16209135>
- Santander D, Clariget J, Banchemo G, Alecrim F, Simon Zinno C, Mariotta J, Gere J, Ciganda VS. Beef Steers and Enteric Methane: Reducing Emissions by Managing Forage Diet Fiber Content. *Animals*. 2023; 13(7):1177. <https://doi.org/10.3390/ani13071177>
- De Klein CAM, Eckard RJ. 2008. Targeted technologies for nitrous oxide abatement from animal agriculture. *Australian Journal of Soil Research*, 48: 14 - 20.
- Luo J, De Klein CAM, Ledgard SF, Saggar S. 2010. Management options to reduce nitrous oxide emissions from intensively grazed pastures: a review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 136: 282 - 91.
- Ussiri, David & Lal, Rattan. (2013). Soil Emission of Nitrous Oxide and its Mitigation. 10.1007/978-94-007-5364-8.
- Di HJ, Cameron KC. 2016. Inhibition of Nitrification to Mitigate Nitrate Leaching and Nitrous Oxide Emissions in Grazed Grassland: A Review. *Journal of Soils and Sediments*, 16 (5): 1401 - 1420.