



ATN_RF-16926-RG. Intensificación sostenible de sistemas ganaderos con leguminosas: plataforma de cooperación Latinoamericana y del Caribe

Producto 14.1: Informe técnico. Emisiones de gases efecto invernadero en Chile

Francisco Salazar y equipo INIA Chile

2024



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 Francisco Salazar y equipo INIA Chile.

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

www.fontagro.org



Tabla de Contenidos

Resumen.....	4
Palabras Clave: vacas lecheras, dieta, leguminosas, gases efecto invernadero.....	4
Abstract	4
Capítulo 1. Efecto del uso de leguminosas sobre las emisiones de metano y la producción de vacas lecheras durante el período estival.....	5
Introducción	5
Metodología	5
Resultados	6
Capítulo 2. Ensayo bajo condiciones de laboratorio: Emisiones de óxido nitroso y volatilización de amoníaco en una pradera permanente por la aplicación de fecas y orina provenientes de vacas lecheras alimentadas con o sin alfalfa.....	7
Introducción	7
Metodología	8
Resultados	9
Capítulo 3. Ensayo bajo condiciones de campo: Emisiones de óxido nitroso y volatilización de amoníaco en una pradera permanente por la aplicación de heces y orina provenientes de vacas lecheras alimentadas con o sin alfalfa.....	12
Introducción	12
Metodología	12
Resultados	15
Referencias Bibliográficas	20
Instituciones participantes.....	20



Resumen

El presente informe entrega antecedentes de los ensayos realizados para evaluar el efecto de las dietas con y sin leguminosas en las emisiones de gases efecto invernadero y amoníaco a nivel animal y de suelo (actividad 2.4 “Emisión de Gases de Efecto Invernadero”). Como se menciona este es un ensayo integrado en donde las evaluaciones se realizaron en vacas lecheras de emisiones de metano entérico y posteriormente de amoníaco y óxido nitroso, por la aplicación de orina y fecas al suelo provenientes de vacas lecheras alimentadas con dietas con y sin leguminosas. Esto permitirá tener un enfoque integral, con muy pocos estudios publicados similares en su tipo, y con evaluación de dos gases de efecto invernadero de emisión directa y amoníaco como emisión indirecta.

A la fecha de elaboración del documento se han podido realizar los ensayos comprometidos. En lo que respecta al efecto de la alimentación con y sin leguminosas en las emisiones de metano el ensayo se encuentra terminado, realizándose los análisis finales de discusión de los resultados. En los ensayos del efecto de la aplicación de orina y fecas, se realizaron dos ensayos, uno a nivel de laboratorio y otro a nivel de campo, teniéndose a la fecha resultados preliminares.

Palabras Clave: vacas lecheras, dieta, leguminosas, gases efecto invernadero.

Abstract

This report provides background information on the trials conducted to evaluate the effect of diets with and without legumes on greenhouse gas and ammonia emissions at the animal and soil level (activity 2.4 “Greenhouse Gas Emissions”). As mentioned, this is an integrated trial where the evaluations were carried out on dairy cows for enteric methane emissions and subsequently for ammonia and nitrous oxide, by applying urine and feces to the soil from dairy cows fed diets



with and without legumes. This will allow for a comprehensive approach, with very few similar published studies of its kind, and with the evaluation of two direct greenhouse gases and ammonia as an indirect emission.

At the time of preparation of the document, the committed trials have been able to be carried out. Regarding the effect of feeding with and without legumes on methane emissions, the trial is finished, and the final analysis of the results is being discussed. In the tests of the effect of the application of urine and feces, two tests were carried out, one at laboratory level and another at field level, with preliminary results to date.

Keywords: dairy cows, diet, legumes, greenhouse gases.

Capítulo 1. Efecto del uso de leguminosas sobre las emisiones de metano y la producción de vacas lecheras durante el período estival.

Introducción

La suplementación de vacas lecheras con leguminosas puede disminuir la producción de metano (CH₄) entérico en el rumen. El CH₄ es un importante gas de efecto invernadero que contribuye al cambio climático al ser liberado a la atmosfera y, además, es energía alimentaria que se pierde reduciendo la eficiencia de la producción de rumiantes. El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos del tipo de forraje (leguminosa vs. ballica) sobre las emisiones de metano, la producción y composición de leche, y el balance y digestibilidad de nitrógeno de vacas lecheras en periodo estival.

Metodología

Se utilizaron 8 vacas Holstein Friesian multíparas en lactancia media para el estudio (Figura 1). El diseño experimental del ensayo fue Diseño experimental *crossover*: dos periodos y dos tratamientos. Cada periodo tuvo una duración de cuatro semanas, con tres semanas para adaptación a la dieta y una semana para mediciones. Los tratamientos consistieron en el uso de heno de ballica (control) y heno de alfalfa. Las dietas compuestas por 8 kg MS heno (alfalfa o ballica), 6 kg MS ensilaje de pradera y 6 kg MS concentrado (30% PC), en una proporción de forraje:concentrado 70:30 se ofrecieron como dietas mezcladas. Durante los últimos ocho días de cada periodo las vacas fueron transferidas a puestos individuales de metabolismo con medición diaria de alimentos ofrecidos y rechazados, y colección total de fecas y orina durante los últimos seis días. La producción y composición de leche (grasa, proteína, lactosa y urea) se determinó en forma diaria, al igual que las emisiones de CH₄ entérico, las que fueron determinadas utilizando la técnica SF6 (Johnson et al., 1994). Los resultados fueron analizados bajo un diseño de cuadrado latino mediante un modelo mixto en función de los efectos fijos del



tratamiento y el periodo, y el efecto aleatorio de la vaca.



Figura 1. Vacas lecheras utilizadas en el ensayo de comparación de distintas dietas con y sin leguminosa (alfalfa).

Resultados

En lo que respecta a emisiones de CH_4 , en sistemas productivos de clima templado la inclusión de heno de una leguminosa no tanífera no contribuyó a disminuir la emisión de CH_4 entérico de vacas lecheras (Tabla 1). Dado el mayor consumo de N con heno de alfalfa, hubo mayores excreciones de N, principalmente por orina (precursor de N_2O). En contraste, las vacas ganaron más peso y tendieron a producir más leche, posiblemente asociado al mayor consumo.

Tabla 1. Efectos del tipo de heno (heno de ballica o heno de alfalfa) sobre el consumo, la emisión de metano, la partición de nitrógeno (N) y el desempeño productivo de vacas lecheras.

	Tratamiento		EEM	Valor P
	Heno de ballica	Heno de alfalfa		
Proteína cruda dietaria (% MS)	17,5	20,9	0,18	<0,001
Fibra detergente neutra dietaria (% MS)	50,4	45,8	0,10	<0,001



Consumo de MS (kg/d)	15,6	17,1	0,63	0,03
Digestibilidad de la MS (%)	62,9	64,3	0,96	0,61
CH4 (g/d)	432	477	19,0	0,08
Rendimiento de CH4 (g/kg consumo MS)	27,9	28,4	0,75	0,64
Ym (MJ CH4/100 MJ EB ingerida)	8,23	8,40	0,22	0,54
Intensidad de CH4 (g/kg LCE)	32,4	31,5	1,90	0,73
Consumo de N (g/d)	435	573	20,1	<0,001
Excreción de N en heces (g/d)	162	180	8,57	0,02
Excreción de N en orina (g/d)	159	242	21,6	0,05
Leche (kg/d)	12,9	14,2	0,89	0,10
Grasa láctea (%)	3,60	3,12	0,35	0,26
Proteína láctea (%)	3,48	3,43	0,03	0,31
N ureico lácteo (mg/dL)	49,9	55,4	0,68	0,006
Cambio en masa corporal (kg/d)	-0,39	0,23	0,15	0,02

Capítulo 2. Ensayo bajo condiciones de laboratorio: Emisiones de óxido nitroso y volatilización de amoníaco en una pradera permanente por la aplicación de fecas y orina provenientes de vacas lecheras alimentadas con o sin alfalfa.

Introducción

La excreción de fecas y orina durante el pastoreo, como también en el manejo del estiércol son fuentes importantes de gases de efecto invernadero (GEI) y amoníaco (NH_3) en el sector agricultura. El sector agropecuario es el mayor emisor de amoníaco, principalmente por la aplicación de fertilizantes, manejo del estiércol y excreción de fecas y orina de animales. Estudios en Chile han mostrado pérdidas cercanas al 30% del nitrógeno (N) aplicado como fertilizante, siendo la vía más importante de pérdida en sistemas pastoriles (Salazar et al., 2014). A nivel mundial se han desarrollado una serie de prácticas con la finalidad de mitigar las emisiones tanto de GEI como amoníaco, dentro de las cuales se encuentra el uso de inhibidores, fertilizantes de liberación controlada, acidificación de purines y técnicas de aplicación de purines (e.g. Forrester et al., 2016). Otra alternativa es cambios en la dieta animal que impliquen reducir la excreción de nitrógeno reduciendo con ello el potencial de pérdida hacia el ambiente.

El objetivo del presente estudio fue evaluar las pérdidas por emisiones de óxido nitroso y volatilización de amoníaco tras la aplicación superficial de fecas y orina provenientes de vacas lecheras alimentadas con o sin alfalfa.



Metodología

Bloques intactos de suelo (serie Osorno, *Typic Hapludand*) (Figura 2) fueron colectados en lisímetros de 0 a 15 cm de profundidad bajo pradera permanente previamente establecida en el Centro Regional del INIA Remehue (40°S, 73°O) y mantenidos bajo condiciones controladas de luz, temperatura (20°C) y 80% de WFPS (espacio poroso lleno de agua, por sus siglas en inglés) bajo irrigación manual con agua desionizada según lo requerido por balance gravimétrico (Figura 3). Los 7 tratamientos utilizados, aplicados con una dosis objetivo de 50 kg N ha⁻¹ fueron: fecas con alfalfa (F+A), fecas sin alfalfa (F-A), orina con alfalfa y con ácido (U+A+A), orina sin alfalfa y con ácido (U-A+A), orina con alfalfa y sin ácido (O+A-A) y orina sin alfalfa y sin ácido (U-A-A), y un control (0 N), en bloques al azar (n =4). Se incluyó un tratamiento control sin aplicación de nitrógeno.



Figura 2. Bloques intactos de suelo con pradera permanente en lisímetros de PVC utilizados para ensayo de emisiones de gases efecto invernadero y amoníaco.



Figura 3. Vista general del ensayo bajo condiciones controladas utilizando lisímetros con bloques intactos de suelo en sistema continuo para medición de NH_3 y N_2O .

La inclusión de tratamientos con orina con y sin ácido tiene relación con la colecta y estabilización de la muestra durante el ensayo de alimentación de vacas lecheras, siendo una práctica utilizada para la reducción de emisiones de NH_3 durante su colecta continua. Esto, sin embargo, tiene efecto en su aplicación en campo considerándose una medida de mitigación de la volatilización de amoníaco (Fangueiro et al., 2015). Por este motivo se coordinó para que en el último muestreo fuera posible obtener una muestra con orina sin acidificar, teniendo así la condición de orina con o sin ácido incorporado, las que fueron evaluados.

Todos los tratamientos con fecas y orina fueron aplicados manualmente, distribuyéndolos homogéneamente en cada uno de los lisímetros. Las emisiones de NH_3 y N_2O (kg N ha^{-1}) fueron evaluadas por 21 días y 49 días, respectivamente, utilizando una adaptación de cámaras estáticas y dinámicas (Alfaro et al., 2018; Saggari et al., 2004, Fotografía 3). El diseño experimental fue completamente al azar, con cuatro repeticiones. Diferencias estadísticas de las medias fueron analizadas mediante ANOVA de una vía.

Resultados

Para todos los tratamientos las emisiones más altas se dieron en las primeras 72h (Figura 4). Las



pérdidas acumuladas (Figura 5) fueron 7,4 cd (F+A), 8,2 cd (F-A), 12,4 bc (O-A), 16,2 b (U-A-A), 16,5 b (U+A), y 24,5 a (U+A-A) Kg N-NH₃ ha⁻¹, con mayores emisiones para U+A-A en comparación con el resto de los tratamientos (p <0.05). Cuando se calcularon como porcentaje del N aplicado, oscilaron entre 13,1 y 47,4 % (Figura 6).

Las pérdidas de amoníaco fueron una pérdida importante de N aplicado, con mayores pérdidas por orina (c. 33%) en comparación con el tratamiento de fecas (14%). La mayoría de las pérdidas de NH₃ se observaron dentro de los tres días posteriores a la aplicación de heces u orina al suelo. En heces, la inclusión de alfalfa no afectó la emisión. Para orina se observó una tendencia de mayores pérdidas con leguminosas, con mayor pérdida con el tratamiento de orina con leguminosas y sin ácido añadido. Aunque el uso de leguminosas podría reducir las emisiones de CH₄ en las vacas lecheras, la orina de vaca alimentada con alfalfa podría tener un mayor potencial de pérdidas de N, lo que debería considerarse en la implementación de estrategias integradas de mitigación con un enfoque sistémico y de ciclo de vida de producto.

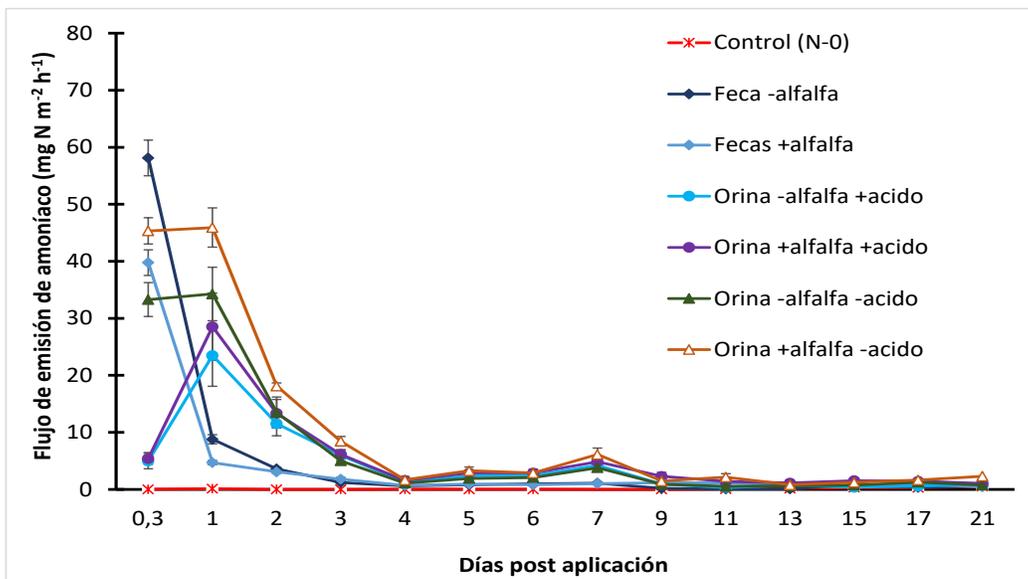


Figura 4. Tasa de emisión de amoníaco (mg N-NH₃) por la aplicación de fecas y orina a una pradera permanente.

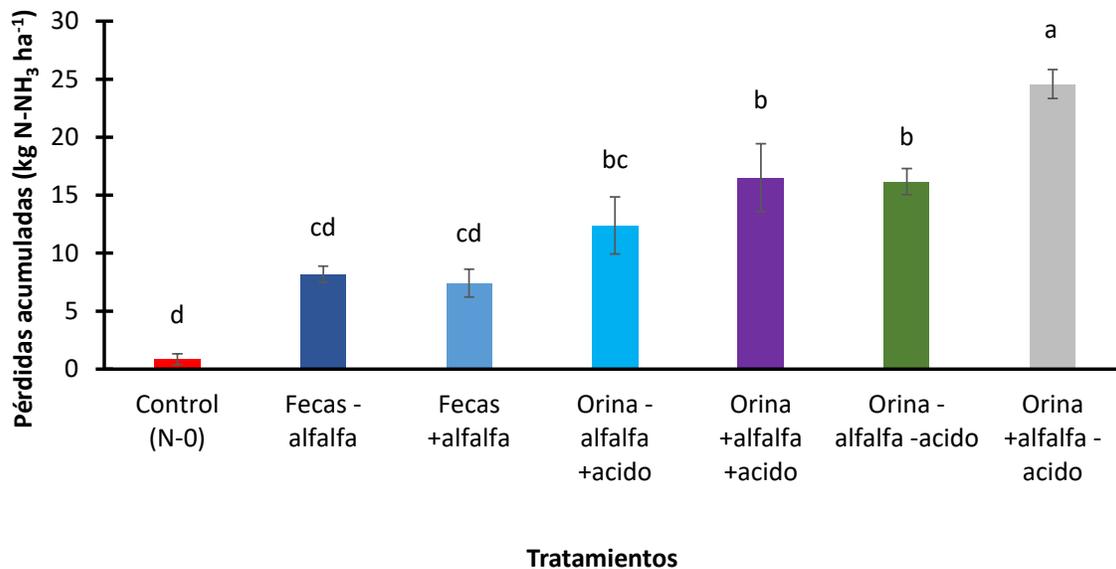


Figura 5. Pérdidas acumuladas de amoníaco (kg NH₃-N ha⁻¹) por la aplicación de fecas y orina a una pradera permanente.

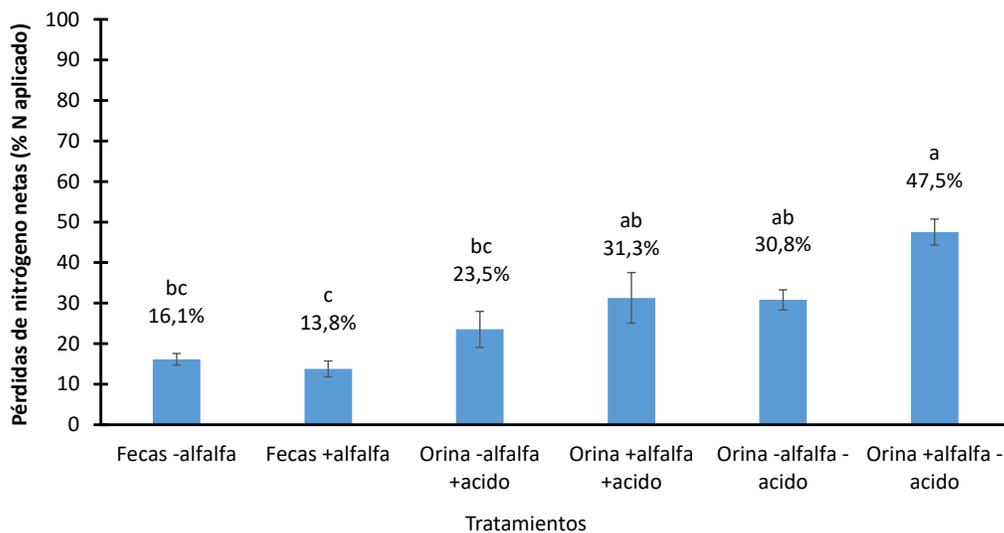


Figura 6. Pérdidas de amoníaco como porcentaje del nitrógeno total aplicado para cada tratamiento.



Capítulo 3. Ensayo bajo condiciones de campo: Emisiones de óxido nitroso y volatilización de amoníaco en una pradera permanente por la aplicación de heces y orina provenientes de vacas lecheras alimentadas con o sin alfalfa.

Introducción

La excreción de fecas y orina durante el pastoreo, como también en el manejo del estiércol son fuentes importantes de gases de efecto invernadero (GEI) y amoníaco (NH_3) en el sector agricultura. El sector agropecuario es el principal emisor de amoníaco, principalmente por la aplicación de fertilizantes y purines de lechería. Estudios en Chile han mostrado pérdidas cercanas al 30% del nitrógeno (N) aplicado, siendo la vía más importante de pérdida en sistemas pastoriles (Salazar et al., 2014). A nivel mundial se han desarrollado una serie de prácticas con la finalidad de mitigar las emisiones tanto de GEI como amoníaco, dentro de las cuales se encuentra el uso de inhibidores, fertilizantes de liberación controlada, acidificación de purines y técnicas de aplicación (e.g. Forrestal et al., 2016). Otra alternativa es cambios en la dieta animal que impliquen reducir la excreción de nitrógeno reduciendo con ello el potencial de pérdida hacia el ambiente.

El objetivo del presente estudio fue evaluar bajo condiciones de campo, las pérdidas por emisiones de óxido nitroso y volatilización de amoníaco tras la aplicación superficial de fecas y orina provenientes de vacas lecheras alimentadas con o sin alfalfa.

Metodología

El ensayo se realizó en el campo experimental del Centro Regional de Investigación Remehue (INIA-Remehue, 40.52°S, 73.06°O), en un suelo serie Osorno (*Typic Hapludand*) bajo pradera permanente. Se inició en septiembre 2021 y se extendió hasta marzo 2022.

En el área se delimitaron parcelas experimentales de 2,0 m² (1,0x2,0m) a las que se les aplicó una fertilización base con P, K, S y Mg según requerimientos establecidos por el análisis de suelo inicial (Figura 7). Los 7 tratamientos evaluados se aplicaron en dosis equivalentes a 50 kg N ha⁻¹: heces con alfalfa (F+A), heces sin alfalfa (F-A), orina con alfalfa y con ácido (U+A+A), orina sin alfalfa y con ácido (U-A+A), orina con alfalfa y sin ácido (O+A-A) y orina sin alfalfa y sin ácido (U-A-A), y un control (0 N), en bloques al azar (n =4). Se incluyó además un tratamiento control sin aplicación de nitrógeno.

La inclusión de tratamientos con orina con y sin ácido tiene relación con la colecta y estabilización

de la muestra durante el ensayo de alimentación de vacas lecheras, siendo una práctica utilizada para la reducción de emisiones de NH_3 durante su colecta continua. Esto, sin embargo, tiene efecto en su aplicación en campo considerándose una medida de mitigación de la volatilización de amoníaco (Fangueiro et al., 2015). Por este motivo se coordinó para que en el último muestreo fuera posible obtener una muestra con orina sin acidificar, teniendo así la condición de orina con o sin ácido incorporado, las que fueron evaluados.

Todos los tratamientos con fecas y orina fueron aplicados manualmente, distribuyéndolos homogéneamente en la parcela experimental (Figura 8). Para reducir la variabilidad durante la aplicación, se pesaron individualmente y separadamente los volúmenes a aplicar dentro de los lisímetros de NH_3 y cámaras de N_2O (Figura 9). Se evaluó rendimiento de materia seca y calidad de la pradera, a través de corte. Se realizaron análisis de suelo de caracterización inicial y final para cada tratamiento. Las emisiones de NH_3 y N_2O (kg N ha^{-1}) fueron evaluadas por 21 días y 49 días, respectivamente, utilizando una adaptación de cámaras estáticas y dinámicas (Alfaro et al., 2018; Sagggar et al., 2004). El diseño experimental fue completamente al azar, con 4 repeticiones. Diferencias estadísticas de las medias fueron analizadas mediante ANOVA de una vía (Figura 10).



Figura 7. Aplicación de orina en forma manual sobre una pradera permanente sobre la parcela experimental.



Figura 8. Aplicación de orina sobre pradera permanente sobre el lisímetro de medición de NH_3 .



Figura 9. Vista general del ensayo de campo evaluando pérdidas de gases efecto invernadero y amoníaco por la aplicación de fecas y orina sobre pradera permanente.



Figura 10. Muestreo de gases efecto invernadero en pradera permanente.

Resultados

En la figura 11 se presentan las emisiones totales acumuladas de amoníaco ante la aplicación de estiércol y orina en un pastizal. Las pérdidas de NH_3 representaron entre el 5% y el 15% del total de N aplicado, con pérdidas mayores en los tratamientos de orina (aproximadamente del 7% al 15%) en comparación con los tratamientos de estiércol (Figura 12).

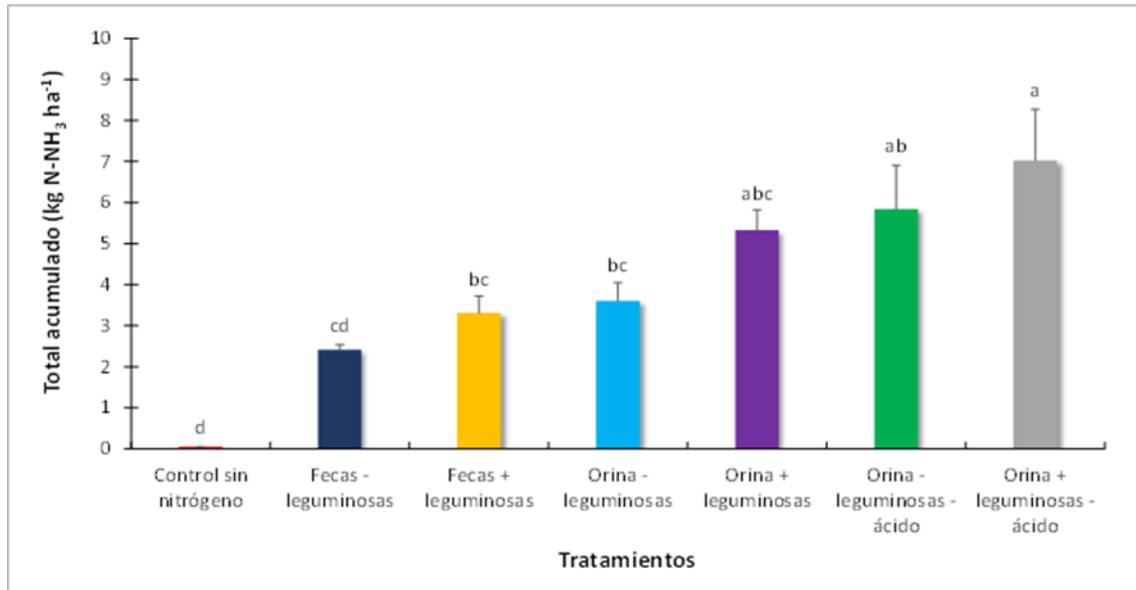


Figura 11. Emisiones totales acumuladas de amoníaco (kg NH₃-N ha⁻¹) debido a la aplicación de estiércol y orina en un pastizal permanente.

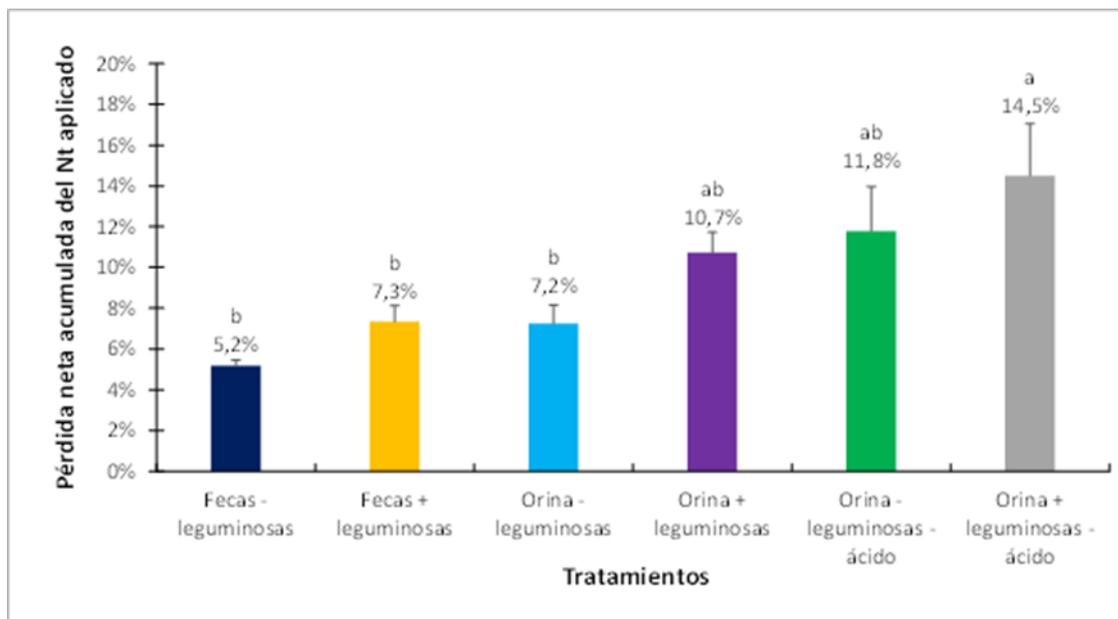


Figura 12. Pérdida de amoníaco en porcentaje del total de N aplicado en cada tratamiento.

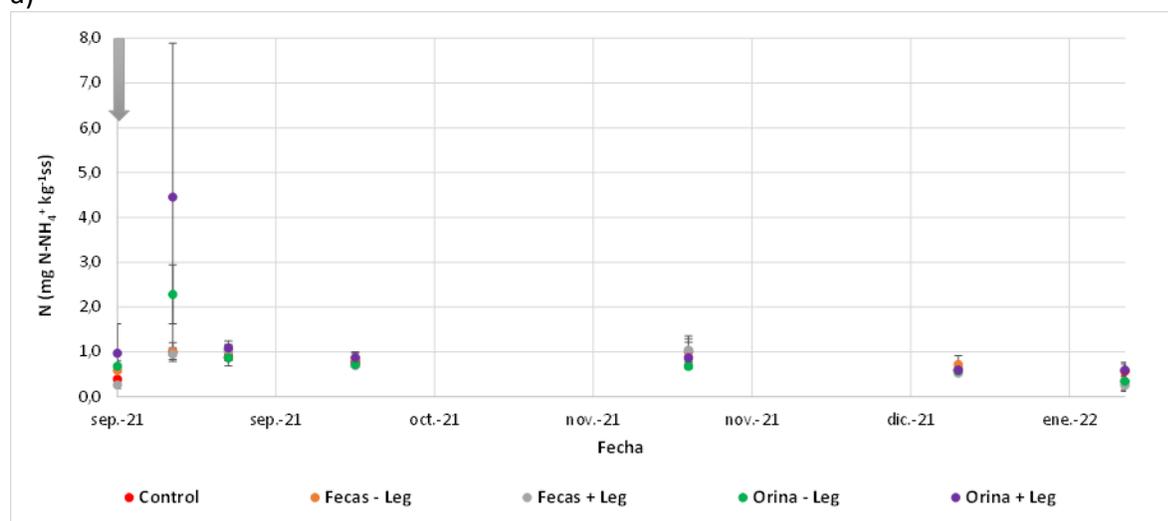


Durante el periodo experimental se observó un incremento significativo en la concentración de N-NH_4^+ en el suelo, para los tratamientos de Orina, durante la primera semana posterior a las aplicaciones de N, (Figura 13a, $p < 0,001$), con diferencias significativas en la concentración promedio alcanzada. El N-NH_4^+ no empleado y/o aquel mineralizado en el suelo debiera manifestarse en mayores concentraciones de N-NO_3^- , sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos (Figura 13b, $p > 0,05$), donde, además, la concentración máxima de NO_3^- en el suelo fue menor que aquella de N-NH_4^+ , similar a lo observado en estudios previos.

Las emisiones acumuladas de $\text{N-N}_2\text{O}$ variaron entre los 0,10 y 1,94 $\text{kg N-N}_2\text{O ha}^{-1}$ en los 127 días de medición, similar a lo observado en estudios anteriores para aplicaciones de praderas, con diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0,001$; Figura 14a).

Los FE (factores de emisión) resultantes para el periodo experimental variaron entre 0,46 y 1,95 %, con diferencias entre los tratamientos ($P < 0,001$; Figura 14a), donde el tratamiento de mayor FE corresponde al tratamiento de Orina+Leguminosa, estos FE medidos son similares a lo observado en estudios anteriores con aplicaciones de fertilizantes sintéticos, sin embargo, la inclusión de la leguminosa en la dieta bovina impactó en las emisiones, alcanzando un factor de emisión cerca del doble a lo obtenido con una orina sin leguminosa incorporada en la dieta, aunque similares a los valores por defecto proporcionados por el IPCC. Por otro lado, se observó la existencia de captura de C-CH_4 en el suelo, como actividad natural de las bacterias metanotróficas. Sin embargo, la aplicación de fecas inhibió la captura provocando emisiones. El flujo en los tratamientos evaluados varió entre -6,30 y 0,28 $\text{kg de C-CH}_4 \text{ ha}^{-1}$ existiendo diferencias significativas ($p < 0,001$, Figura 14b) entre los tratamientos con fecas comparados a los de orina y el control.

a)



b)

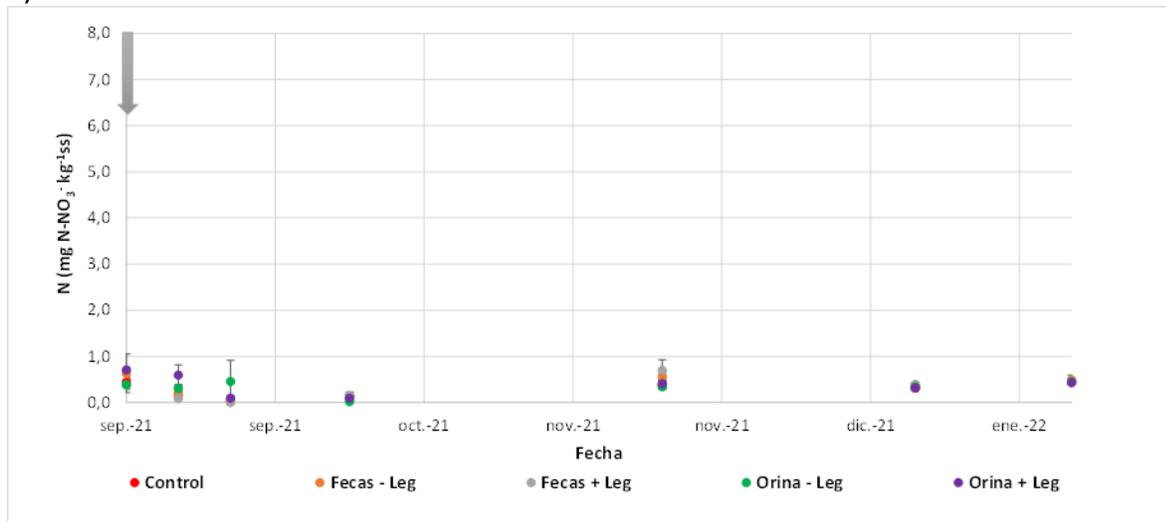


Figura 13. Nitrógeno disponible en el suelo a) $N-NH_4$ ($mg N-NH_4^+ kg^{-1}$ suelo seco) y b) $N-NO_3$ ($mg N-NO_3- kg^{-1}$ suelo seco) para el periodo de evaluación de 07 de septiembre de 2021 a 12 de enero de 2022, flechas grises indican fecha de aplicación de N ($n=4$, \pm error estándar de la media).

La dinámica del nitrógeno en el suelo y las concentraciones observadas, tienen una relación directa en la emisión de N_2O . Estas variables, junto al espacio poroso saturado con agua y la temperatura de suelo, influyen en la dinámica de las emisiones.

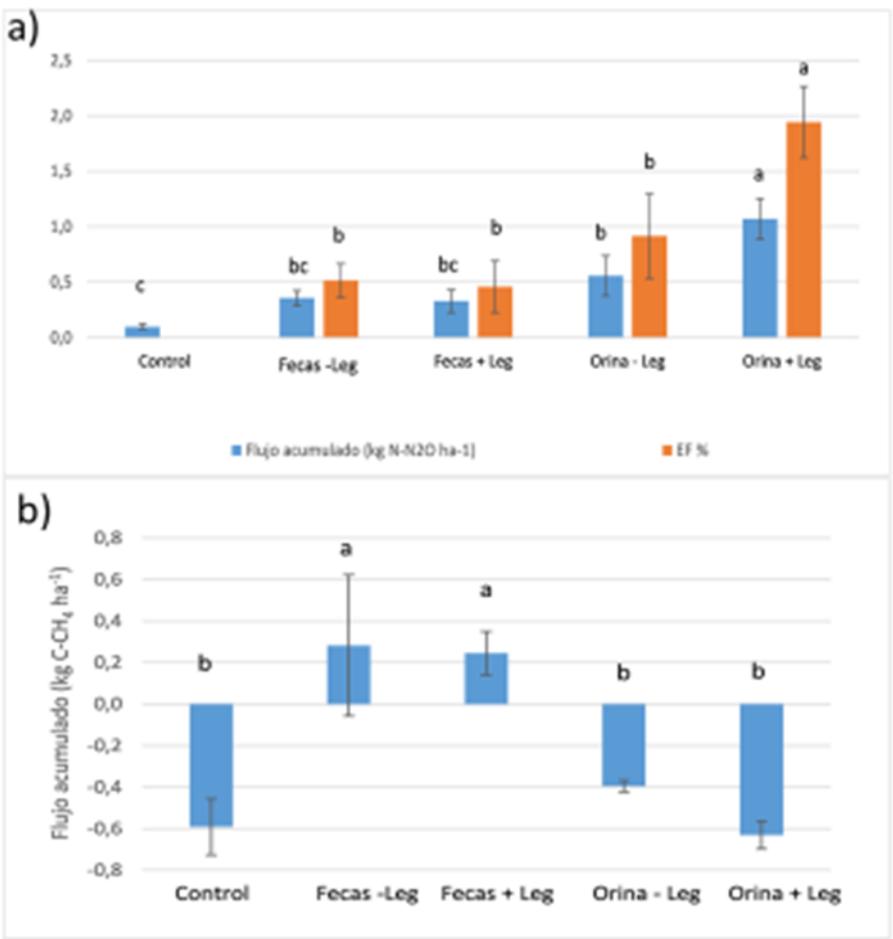


Figura 14. Flujo acumulado en el periodo de evaluación de a) kg N-N₂O ha⁻¹ y b) kg C-CH₄ ha⁻¹ para el periodo de evaluación de 07 de septiembre de 2021 a 12 de enero de 2022, (p < 0, 001) n=4, ± error estándar de la media).



Referencias Bibliográficas

- ALFARO, M., SALAZAR, F., HUBE, S., RAMÍREZ, L. and MORA, Y.M. 2018. Ammonia and nitrous oxide emissions as affected by nitrification and urease inhibitors. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 18(2): 479-486.
- FANGUEIRO, D., HJORTH, M. and GIOELLI, F. 2015. Acidification of animal slurry- a review. *Journal of Environmental Management*, 149: 46-56.
- FORRESTAL, P., HARTY, M., CAROLAN, R., LANIGAN, G., WATSON, C., LAUGHLIN, R., MCNEILL, G., CHAMBERS, B. and RICHARDS, K.G.. 2016. Ammonia emissions from urea, stabilized urea and calcium ammonium nitrate: insights into loss abatement in temperate grassland. *Soil Use and Management*, 32: 92-100
- JOHNSON, K., HUYLER, M., WESTBERG, H., LAMB, B. and ZIMMERMAN, P. 1994. Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a SF6 tracer technique. *Environmental Science & Technology*, 28:359-362
- SALAZAR, F., MARTINEZ-LAGOS, J., ALFARO, M., and MISSELBROOK, T. 2014. Ammonia emission from a permanent grassland on volcanic soil after the treatment with dairy slurry and urea. *Atmospheric Environment*, 95: 591-597
- SAGGAR, S., ANDREW, R.M., TATE, K.R., HEDLEY, C.B., RODDA, N.J. and TOWNSEND, J.A. 2004. Modelling nitrous oxide emissions from dairy-grazed pastures. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 68:243-255.

Instituciones participantes

