



Foto: Julieta Mariotta

EMISIONES DE ÓXIDO NITROSO DE LA ORINA DE GANADO LECHERO Y SU RELACIÓN CON EL CONTENIDO DE NITRÓGENO UREICO EN LA LECHE

MSc. Eyerus Fatula Muleta^{1,2,3}, MSc. Claudia Simon¹, MSc. Fabiano Alecrim^{1,4}, MV. Daniel Santander¹, Bach. Julieta Mariotta¹, Ing. Agr. PhD Santiago Fariña⁵, Ing. Agr. PhD Verónica Ciganda¹

¹Área de Recursos Naturales, Producción y Ambiente - INIA

²Jimma University - JU/Ethiopia

³Estudiante doctorado Beca CLIFF - GRA

⁴Universidade Federal Fluminense - UFF/Brazil

⁵Sistema Lechero - INIA

En este artículo se presentan avances de una línea de investigación que analiza la dinámica del nitrógeno en el sistema suelo-planta-animal-atmósfera, con el objetivo de cuantificar las emisiones de N_2O provenientes de la orina de ganado lechero y su relación con el contenido de nitrógeno en leche.

INTRODUCCIÓN

El nitrógeno (N) consumido por los rumiantes, presente en las pasturas, suplementos o concentrados, es utilizado y retenido por el animal en una baja proporción y varía en función de la cantidad y calidad de la dieta ingerida (ej. contenido de proteína cruda), de las condiciones fisiológicas del animal, así como de la eficiencia en la retención del N. En general, las vacas lecheras retienen en la leche (y músculos) entre 20 % y 25 % del N total consumido, mientras que el restante

75 - 80 % del N se excreta en la orina y heces (Powell *et al.*, 2014) (Figura 1).

Las deposiciones de orina y de heces son fuentes muy ricas de nitrógeno y este puede reciclarse a través de su utilización por pasturas y cultivos. Sin embargo, las deposiciones sobre las pasturas son también consideradas un problema ambiental a causa de algunos procesos de transformación química del nitrógeno amoniacal (NH_4^+) derivado de la urea contenida en la orina depositada en el suelo por los rumiantes en pastoreo.

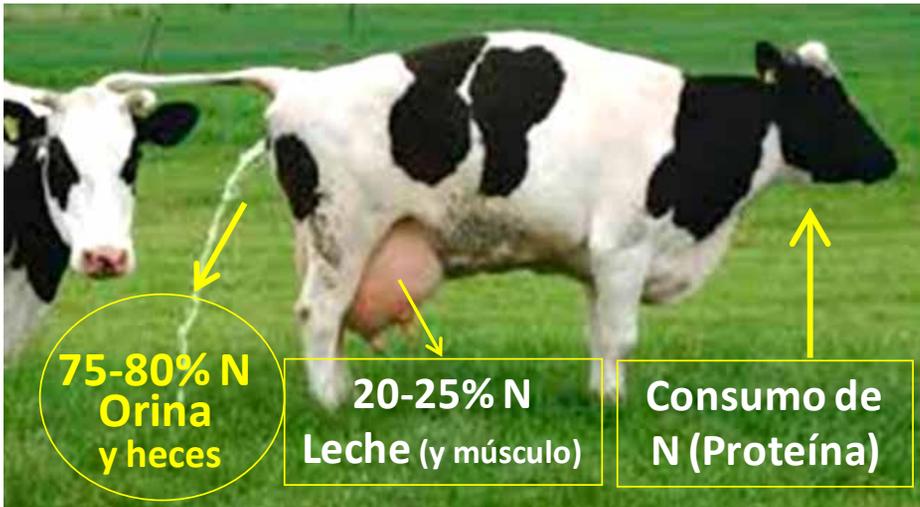


Figura 1 - Las vacas lecheras retienen en la leche (y músculos) entre 20 % y 25 % del N total consumido, mientras que el restante 75 - 80 % del N se excreta en la orina y heces.

Dependiendo del contenido de humedad y temperatura del suelo, la urea se convierte rápidamente en NH_4^+ y luego se puede oxidar a nitrato (NO_3^-). Tanto el NH_4^+ como el NO_3^- pueden ser absorbidos por las plantas, pero este último también puede perderse por lixiviación contaminando napas de agua subsuperficiales y profundas. Otras vías de pérdida del N amoniacal ocurren en las etapas del proceso de reducción a N_2 atmosférico, cuando el N se volatiliza como amoníaco (NH_3) o cuando es emitido como gas óxido nitroso (N_2O), uno de los gases de efecto invernadero (GEI) más importante y con un poder de calentamiento global 273 veces mayor que el CO_2 .

En Uruguay, el 96,6 % de las emisiones de N_2O se originan en el sector agropecuario (INGEI, 2019), siendo la deposición de orina y heces de los animales de la ganadería pastoril el principal origen (>80 %). Sin embargo, no se dispone a nivel nacional de cuantificaciones locales de las emisiones de N_2O provenientes de la orina de vacas lecheras ni de su relación con el contenido de N de la orina.

Las vacas lecheras pueden excretar de 12 a 42 litros de orina por día con una concentración estimada de N de 6 a 15 g N por L (Somers *et al.*, 2019), y algunos factores alimentarios pueden afectar esta excreción. Dietas con elevados niveles de minerales aumentan el volumen de orina y conducen a una reducción de la concentración de N urinario, así como a una reducción de la concentración de urea en el plasma y de urea en la leche (MUN). Por otro lado, una cantidad excesivamente alta de N en la dieta aumentaría estas concentraciones y disminuiría la eficiencia de la utilización del N. Algunos autores han propuesto utilizar el valor de MUN como un indicador del estado de nutrición proteica y de la eficiencia de la utilización de nitrógeno por parte de las vacas lecheras (por ej. Powell *et al.*, 2014); mientras que otros autores han considerado también el valor

de MUN como un predictor de la salida de N al medio ambiente (Jonker *et al.*, 1998). Sin embargo, otros autores cuestionan la precisión de utilizar MUN como indicador de la excreción urinaria de N, y atribuyen esta imprecisión a que la variación en el volumen de orina excretada afecta la relación entre la urea en leche y el N urinario (Dijkstra *et al.*, 2013). Por otro lado, la frecuente y periódica disponibilidad del valor de MUN en los predios de producción de leche facilitaría su utilización como predictor del N excretado en orina y como indicador del potencial de emisión de N_2O . Esto contribuiría a identificar acciones mitigadoras de estas emisiones para el logro de una producción de leche ambientalmente sostenible y en línea con los compromisos internacionales del país de reducción de emisiones GEI.

OBJETIVO DEL TRABAJO

El objetivo general del trabajo es contribuir a la mitigación de las emisiones de N_2O a través de la utilización del valor de urea en leche (MUN) como un indicador del potencial de emisiones. Esto se planteó lograr a través de dos objetivos específicos:

- 1 - Conocer la asociación entre MUN y el contenido de N en orina.
- 2 - Cuantificar las emisiones de N_2O provenientes de orina con diferente contenido de nitrógeno.

¿CÓMO SE LLEVÓ ADELANTE EL TRABAJO EXPERIMENTAL?

El estudio se llevó adelante con dos estrategias de trabajo:

- 1 - Desde fines del mes de diciembre 2021 hasta el mes de marzo 2022 se realizaron cuatro colectas de orina de vacas lecheras en ordeño en fechas coincidentes

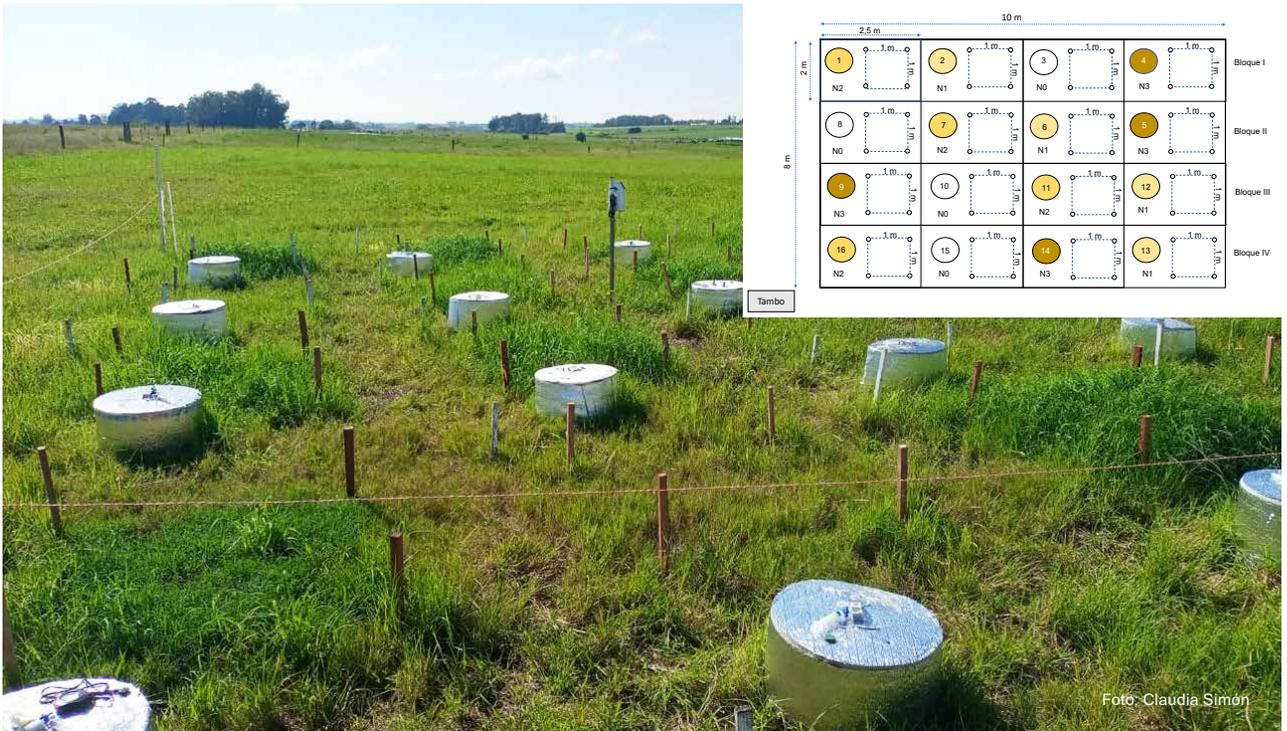


Figura 2 - Experimento de medición del gas óxido nítrico proveniente de orina de vacas lecheras, utilizando cámaras estáticas de flujo cerrado.

con el día de control lechero: tres en la Unidad de Lechería de INIA La Estanzuela y una en la Unidad de Lechería del CRS (FAGRO). En todas las ocasiones la colecta de orina se realizó manualmente a cada vaca y la muestra se envió a analizar al Laboratorio de Nutrición Ambiental de La Estanzuela para obtener su contenido de N. Además, a través de la información del control lechero se obtuvieron los datos del contenido de N ureico en leche (MUN) de cada una de las vacas. En cada fecha de colecta se obtuvieron en promedio datos de un total de 71 vacas en ordeño. En función del rango de variación (mínimo, máximo y mediana) de la información de MUN de cada colecta, se seleccionaron para el análisis de los datos, las dos fechas con distribución de valores más contrastantes: la fecha con el valor de mínimo y mediana más bajos y la fecha con el mínimo y mediana más elevados. A partir de la información obtenida en estas dos fechas de colecta seleccionadas, se analizó la asociación entre MUN y el contenido de N en orina.

En Uruguay, más del 80 % de las emisiones de N_2O del sector agropecuario provienen de la deposición de orina y heces del ganado.

2 - En la Unidad de Lechería de INIA La Estanzuela se llevó adelante un experimento para cuantificar las emisiones de N_2O de la orina de vacas lecheras, con un diseño estadístico de bloques completos al azar (CRBD) con cuatro repeticiones y cuatro tratamientos. Los tratamientos consistieron de un control (N0) y de orina con tres concentraciones de nitrógeno: 1,43 (N1), 4,28 (N2), 5,71 (N3) g N/ dL orina, las que fueron ajustadas a través de dilución de la orina en agua. La cantidad de 1 L de orina, que representa el promedio de orina eliminada por un animal adulto durante un único evento de excreción, fue aplicada en cámaras estáticas de flujo cerrado insertadas en el suelo para la medición del gas N_2O , y en parcelas contiguas a cada cámara para el muestreo de suelo (0 - 7,5 cm) (Figura 2). En las muestras de suelo se determinó NO_3^- y NH_4^+ en el Laboratorio de Suelo, Agua y Plantas de La Estanzuela. Además, se determinó la densidad aparente del suelo utilizando anillos de pvc, y se midió en forma continua la temperatura y humedad del suelo (0-10 cm) utilizando un sensor Meter (modelo ZL6). Con la información obtenida se calculó el espacio poroso del suelo relleno de agua (WFPS, %).

RESULTADOS

Para el análisis de MUN vs N en orina se utilizaron las dos fechas de colecta más contrastantes en cuanto a MUN con un total de 144 datos. El set de datos con rango más elevado de MUN, perteneció a un rodeo de vacas en ordeño alimentadas en base a silo de maíz, harina de soja, silopack, TMR (mañana y tarde) y festuca como recurso forrajero.

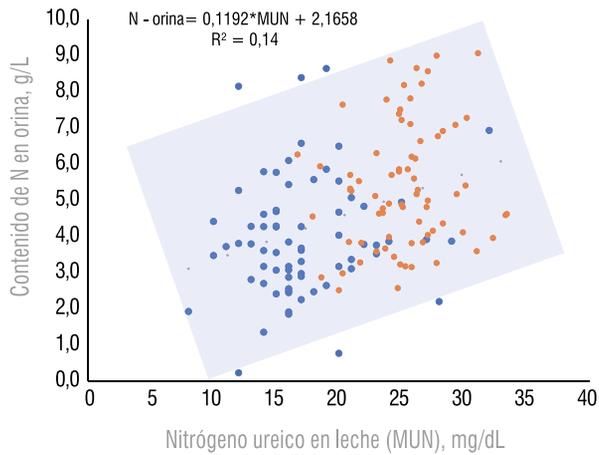


Figura 3 - Relación entre el contenido de N-ureico en leche (MUN) y el contenido de nitrógeno en orina para rodeo de bajo y alto rango de MUN.

Por otro lado, el set de datos con los valores más bajos de MUN perteneció a un rodeo alimentado en base a forraje, silo de maíz o henilaje de raigrás, y Prolacta 18 %. El contenido de MUN vs. el contenido de N en la orina mostraron una asociación lineal positiva, aunque con un bajo coeficiente de correlación (Figura 3).

Es decir que existió una tendencia de que, a medida que los valores de MUN se incrementaron, también se incrementaron los valores de la concentración de N en la orina. Esto indicaría la utilidad de MUN como un posible predictor del N excretado en orina y depositado en el suelo, en donde comienzan los procesos de reducción y oxidación del N con el riesgo de perderse como N_2O . A su vez, la asociación positiva entre MUN y N en orina, conduciría a la posibilidad de utilizar el valor

En la medida de poder utilizar el valor de urea en leche como un indicador para el ajuste de la dieta animal, sería posible reducir la cantidad de N excretado y de este modo reducir el potencial de emisiones de N_2O .

de MUN, para ajustar el balance energía/proteína de la dieta animal, y así lograr reducciones en la cantidad de N excretado y reducir, de este modo, el potencial de emisiones de N_2O .

La aplicación de orina al suelo con diferentes contenidos de nitrógeno determinó variaciones en las concentraciones de NH_4^+ y de NO_3^- del suelo. Luego del tercer día de aplicada la orina, se observó un claro gradiente ascendente en la concentración de NH_4^+ del suelo, desde el tratamiento control (sin aplicación de orina) en el que no se observaron cambios, hasta el tratamiento N3 (mayor cantidad de N en la orina) con los picos máximos, manteniéndose N1 y N2 en valores intermedios (Figuras 4A y 4B).

A su vez, a partir del día nueve se observó que las formas amoniacales del N comenzaron a disminuir mientras que el NO_3^- se incrementó, manteniéndose también más elevada su concentración en los tratamientos que recibieron la orina N3. Estos cambios eran esperables y se explican por el aumento de la temperatura y humedad del suelo, cuando se intensifican los procesos biológicos de nitrificación y oxidación que transforman el NH_4^+ a NO_3^- .

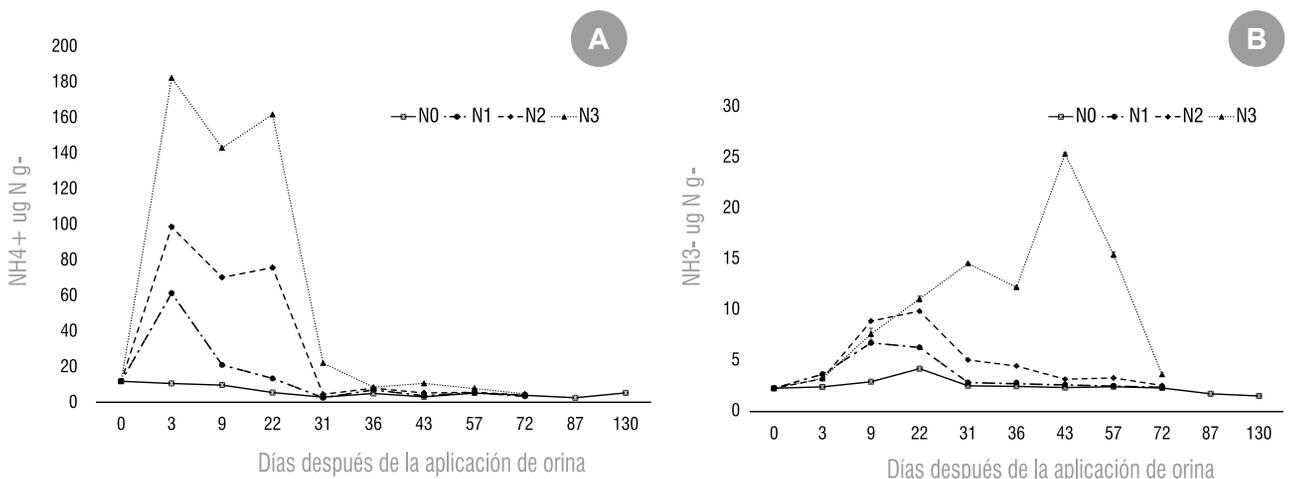


Figura 4 - Cambios en la concentración de amonio (NH_4^+) y de nitrato (NO_3^-) en suelo luego de aplicados los tratamientos de orina con distintos niveles de nitrógeno.

El efecto de los niveles de orina en las concentraciones de NH_4^+ y de NO_3^- del suelo afectaron, a su vez, a las emisiones de N_2O . Los resultados primarios de emisión acumulada de N_2O para los primeros días luego de la aplicación de la orina en las cámaras, mostraron que la orina con mayor contenido de N generó los mayores valores de emisión de N_2O (Figura 5).

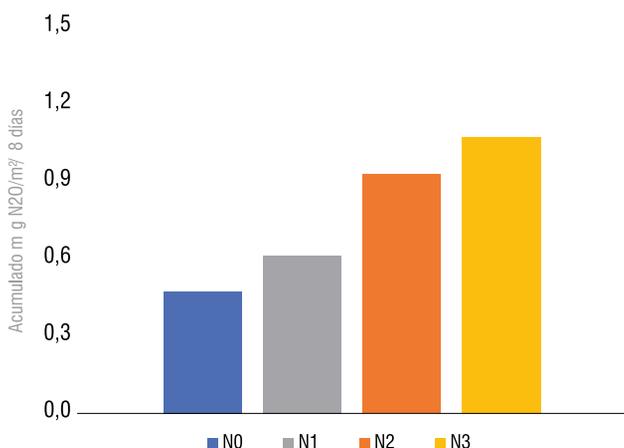


Figura 5 - Emisión acumulada de óxido nitroso (N_2O) para los tratamientos control (N0) y de orina con tres concentraciones de nitrógeno: 1,43 (N1), 4,28 (N2), 5,71 (N3) g N/dL orina.



Figura 6 - Acondicionamiento de un set de muestras de orina para la determinación de su contenido de N. Las muestras fueron siempre colectadas durante el ordeño y en día coincidente de control lechero.

El ajuste en la ingesta de proteína cruda de las vacas lecheras, en base a información reportada en el control lechero de los tambos, podría ser considerado como una acción para la mitigación de las emisiones de N_2O originadas por las deposiciones de orina sobre el suelo.

CONSIDERACIONES FINALES

Si bien en este artículo se presentan resultados preliminares del estudio realizado, ha sido posible observar la existencia de una relación entre MUN y el contenido de N en la orina de vacas lecheras. Esto permitiría considerar la utilización de MUN como un indicador del N excretado y depositado en el suelo. A su vez, la concentración de N de la orina depositada en el suelo afectó diferencialmente la concentración de las formas amoniacales del N y su transformación a NO_3^- en el suelo, así como las emisiones del gas N_2O .

La adecuación de la ingesta de proteína cruda de las vacas lecheras a través del valor de MUN, que es reportado frecuentemente en el control lechero de los tambos, podría ser considerado como una acción para la mitigación de las emisiones de N_2O originadas por las deposiciones de orina sobre el suelo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Programa de becas CLIFF grad (GRA) por financiar la estadia de la estudiante de doctorado Eyerus Muleta; a Marcelo Pla y Eduardo Vidal por facilitar el acceso a la Unidad de Lechería y enviar la información para el trabajo, así como al Dr. Pablo Chilibróste y al Ing. Agr Diego Custodio por facilitar la colecta de orina y proveer de los datos del tambo CRS (FAGro).

REFERENCIAS

Dijkstra J, Oenema O, van Groenigen JW, Spek JW, van Vuuren AM, Bannink A. 2013. Diet effects on urine composition of cattle and N_2O emissions. *Animal*. Jun;7 Suppl 2:292-302. doi: 10.1017/S1751731113000578. PMID: 23739471.

IPCC. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>.

Jonker JS, Kohn RA, Erdman RA. Using milk urea nitrogen to predict nitrogen excretion and utilization efficiency in lactating dairy cows. *J Dairy Sci*. 1998 Oct;81(10):2681-92. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(98)75825-4. PMID: 9812273.

Powell J. M., Rotz C. A., Wattiaux M. A. 2014. Potential Use of Milk Urea Nitrogen to Abate Atmospheric Nitrogen Emissions from Wisconsin Dairy Farms. *J. Environ. Qual.* 43:1169–1175 doi:10.2134/jeq2013.09.0375.

Somers C, Girkin NT, Rippey B, Lanigan GJ, Richards KG. The effects of urine nitrogen application rate on nitrogen transformations in grassland soils. *Journal of Agricultural Science*. 2019;157(6):515-522. doi:10.1017/S0021859619000832.