

# Evaluación del Impacto de Dietas de Vacas Lecheras en las Emisiones de Compuestos Nitrogenados de Efecto Invernadero

## Impact Assessment of Dairy Cow Diets on Greenhouse Nitrogen Emissions

Presentación: 12/08/2024

Doctoranda:

**Camila BELLOTTI**

Grupo de Investigación y Desarrollo en Alimentos e Ingeniería Química, Facultad Regional Villa María, Universidad Tecnológica Nacional - Argentina  
[camibellotti@hotmail.com](mailto:camibellotti@hotmail.com)

Director:

**Roberto PEPINO MINETTI**

Codirectora:

**María Paz TIERI**

### Resumen

A nivel mundial, el sector ganadero representa una fuente importante de emisiones gaseosas que contribuyen al calentamiento global. Aunque los principales gases emitidos son el dióxido de carbono y el metano, los compuestos nitrogenados están siendo estudiados con mayor relevancia por su prolongado tiempo de permanencia en el ambiente y su potencial de calentamiento directo, además de los daños que ocasionan en el ambiente y en los seres vivos. En ganadería, el gran impacto de dichos compuestos está dado por las excretas, las cuales están relacionadas directamente con la alimentación de los rumiantes. Esta investigación comparó dos sistemas de producción de leche similares a los largo de cinco días consecutivos, ambos con vacas Holando, pero con diferencias en la composición de las dietas suministradas a las mismas. Se evaluaron diversos componentes en orina, heces y leche obteniéndose similitudes y algunas variaciones no sólo dentro del mismo rodeo sino entre ellos. En ambos grupos los resultados del indicador nutricional Nitrógeno Ureico en Leche (NUL/MUN, del inglés Milk Urea Nitrogen) dieron por encima de los valores óptimos (24,06 mg/dl y 25,49 mg/dl) indicando un exceso de proteína en dieta y consecuentes problemas en la reproducción animal. Asimismo, se llevó a cabo el balance de nitrógeno, presentando valores diferentes entre ambos rodeos pudiendo indicar alguna interferencia de las dietas con el marcador de excreción de orina. En conclusión, una nutrición adecuada y balanceada es crucial para prevenir excesos de proteína en la dieta pudiendo afectar tanto la salud y reproducción de los rumiantes como así también al medio ambiente.

Palabras clave: Ganado Lechero, Nutrición, Emisiones, Gases De Efecto Invernadero

### Abstract

The livestock sector represents a significant source of gaseous emissions that contribute to global warming. Although the primary gases emitted are carbon dioxide and methane, nitrogen compounds are being studied with increasing relevance due to their prolonged atmospheric presence and direct warming potential, as well as the damage they cause to the environment and living beings. In livestock, the major impact of these compounds is associated with excreta, which are directly related to the feeding of ruminants. This research compared two similar dairy production systems over five consecutive days, both using Holstein cows but with

differences in the composition of the diets provided. Various components in urine, feces, and milk were evaluated, revealing similarities and some variations not only within the same herd but also between them. In both groups, the results for the nutritional indicator Milk Urea Nitrogen (MUN) were above optimal values (24.06 mg/dl and 25.49 mg/dl), indicating an excess of protein in the diet and consequent reproductive problems in the animals. Additionally, a nitrogen balance was conducted, showing different values between the two herds, which could suggest some interference of the diets with the urine excretion marker. In conclusion, adequate and balanced nutrition is crucial to prevent excess protein in the diet, which can affect both the health and reproduction of ruminants as well as the environment.

Keywords: Dairy Cattle, Nutrition, Emissions, Greenhouse Gases

## Introducción

En la actualidad existe una gran preocupación por el cambio climático debido a la alta producción y acumulación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de origen antropogénicas y las consecuencias que éstos traen (Ordoñez-Vargas et al., 2023).

La ganadería, por su gran impacto, es uno de los sectores con mayores repercusiones ambientales, afectando el clima, la contaminación del agua, la degradación del suelo y la biodiversidad (Alayón-Gamboa et al., 2018; Romero Salvador, 2021); siendo los rumiantes responsables del 18% de las emisiones globales de GEIs y del 21,6% de las nacionales (INTA, 2011; SAYDS, 2019). Dentro de los principales gases involucrados en esta problemática se destacan el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y los clorofluorocarbonos (Steinfeld et al., 2009). Además, el amoníaco (NH<sub>3</sub>) es altamente tóxico y precursor del N<sub>2</sub>O, por lo que su reducción es crucial (Flotats Ripoll, 2022). Actualmente, se enfoca la investigación en el N<sub>2</sub>O debido a que su potencial de calentamiento es 296 veces mayor que el CO<sub>2</sub> (Taboada et al., 2018).

El sector ganadero es responsable del 65% de las emisiones antropogénicas de N<sub>2</sub>O, 37% de CH<sub>4</sub>, 9% de CO<sub>2</sub> y 64% de NH<sub>3</sub> (Romero Salvador, 2021). Estos gases provienen principalmente de pérdidas de nitrógeno (N), energía y materia orgánica, lo que afecta la eficiencia y productividad en los sistemas pecuarios (Peña-Avelino et al., 2024). Las excretas animales (heces y orina) se producen en grandes cantidades (Glez Eirexas, 2018; Ordoñez-Vargas et al., 2023), causando impactos ambientales negativos al liberar gases a la atmósfera y acumular nutrientes en suelos y cuerpos de agua (Ordoñez-Vargas et al., 2023). En dichas excreciones se eliminan entre el 75% y el 90% del N consumido (Rivera-Herrera et al., 2015), lo que significa que la vaca libera más N al ambiente del que utiliza para su producción de leche y supervivencia (Glez Eirexas, 2018). La tasa de excreción del mismo varía según la composición de la dieta, como el consumo de materia seca, la concentración proteica y la digestibilidad, así como las prácticas de manejo del pastoreo en el sistema ganadero (Elizondo Salazar, 2006; Ordoñez-Vargas et al., 2023).Principio del formularioFinal del formulario

Por ello, es necesario adoptar prácticas y tecnologías que aumenten la productividad y eficiencia en el uso de recursos naturales, mientras se mitigan las emisiones de GEIs (Peña-Avelino et al., 2024). La mitigación de GEIs en ganadería incluye identificar las fuentes de emisión y aplicar estrategias para reducir su producción o mejorar la captura de compuestos críticos (Alayón-Gamboa et al., 2018). Una adecuada gestión alimentaria puede reducir el N excretado y, por ende, las emisiones de compuestos nitrogenados, mejorando la productividad, la utilización de nutrientes y reduciendo costos (Romero Salvador, 2021).

Por otro lado, la urea en leche está relacionada con las concentraciones de nitrógeno amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) en rumen y urea en sangre, y es afectada por las concentraciones de proteína de la dieta y la relación proteína/energía. Aunque la urea en leche no afecta directamente a las emisiones de NH<sub>3</sub> y N<sub>2</sub>O, sí lo hace de manera indirecta debido a la mayor excreción de N en las excretas (Salcedo Díaz, 2011). El contenido de urea en estos fluidos es el reflejo de la dieta y del metabolismo ruminal así como del funcionamiento del hígado y el riñón, por lo que se pueden observar diferencias individuales importantes entre vacas de una misma explotación (Salcedo, 2015). Una de las herramientas más utilizadas para monitorear la utilización del N en las explotaciones lecheras es la concentración de Nitrógeno Ureico en Leche (NUL/MUN, del inglés Milk Urea

Nitrogen), ya que además, permite determinar desequilibrios nutricionales relacionados con la proteína y la energía de la dieta para el bovino (Ceballos-Márquez, 2006; Salcedo Díaz, 2011).

A pesar de que en nuestro país la producción lechera es relevante, siendo Córdoba, Santa Fe y Buenos Aires las principales provincias productoras, son escasos los trabajos de investigación efectuados sobre las emisiones de compuestos nitrogenados de efecto invernadero. Por lo que, se propone la evaluación del impacto de la alimentación de los rodeos lecheros, a través del estudio de dos dietas aplicadas a vacas lecheras en un establecimiento, con el objetivo de realizar un manejo eficiente del N suministrado en la dieta para reducir las emisiones de GEIs sin afectar la rentabilidad económica de la actividad ganadera a través de la determinación de calidad de dietas, de la cuantificación de N excretado y del indicador NUL/MUN.

## Desarrollo

Durante el mes de noviembre de 2023 se llevaron cabo muestreos durante cinco días consecutivos en las instalaciones del tambo experimental del departamento de Producción Animal de la Estación Experimental Agropecuaria Rafaela del INTA (31°11'S, 61°30'O) en la provincia de Santa Fe. Se tomaron muestras de orina, heces, leche y de las dietas suministradas a los dos rodeos evaluados permitiendo de esta manera realizar las determinaciones químicas correspondientes para concretar los objetivos planteados. Ambos rodeos consumieron una dieta con 21,3% de proteína bruta (PB) formulada con 15,6 kg de pastura de alfalfa y 4 kg de grano de maíz. La principal diferencia entre los grupos fue el agregado a la pastura de Selenio. Por lo tanto, el rodeo "Sin Se" se le suministró dietas sin selenio (alfalfa pastura + maíz), mientras que al rodeo "Con Se" sí (alfalfa pastura + selenio + maíz). Los muestreos se realizaron al finalizar los ordeñes, en algunos casos dos veces al día, es decir en el turno de las 4:00 a.m. y otro en el de las 14:00 p.m., a diferencia de otros en los cuales se efectuó únicamente en un solo horario debido a las condiciones climáticas.

Las muestras de orinas recolectadas en todos los casos se separaron. Por un lado, se refrigeraron a 4°C para las determinaciones de urea y creatinina mediante cinética UV (Wiener lab) en un laboratorio de localidad de Hernando (Córdoba), mientras que el resto de las muestras fueron congeladas para efectuar posteriormente la determinación de Nitrógeno Total Kjeldhal (NTK) y Nitrógeno amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) mediante metodología Kjeldhal con y sin digestión (AOAC,1999). Asimismo, se guardaron muestras congeladas de orina para análisis futuros de NH<sub>3</sub> mediante trampas húmedas ácidas y determinación de N<sub>2</sub>O por cámaras estáticas. Estas últimas dos determinaciones no se han realizado aún. Los resultados obtenidos de las demás determinaciones quedan expuestos en la Tabla 1.

Rodeo	Fecha y hora de ordeño	Urea (mg/100ml)	N-ureico (mg/dl)	Creatinina (mg/100ml)	NTK (mg/100ml)	N-NH <sub>3</sub> (mg/100ml)
Sin Se	13.11.23 14:00 p.m.	1450,11	676,74	44,74	648,25	64,88
	14.11.23 4:00 a.m.	1295,67	604,66	32,20	509,72	89,57
	14.11.23 14:00p.m.	1815,78	847,39	80,79	739,12	139,28
	15.11.23 14:00p.m.	1052,11	491,00	25,09	463,06	77,70
	16.11.23 4:00 a.m.	1286,33	600,30	28,89	560,53	76,94
Con Se	13.11.23 14:00p.m.	710,00	331,34	13,98	390,32	52,58
	14.11.23 4:00 a.m.	1289,56	601,81	25,62	639,13	109,11
	14.11.23 14:00p.m.	791,56	369,40	16,72	463,51	67,17
	15.11.23 14:00p.m.	825,67	385,32	18,95	484,93	58,07
	16.11.23 4:00 a.m.	1052,78	491,31	20,52	439,91	66,53

Tabla 1. Muestras de orina

Con respecto a las muestras de heces se recolectaron por día y fueron separadas. Por un lado, se analizó el contenido de materia seca (MS) mediante el protocolo PROMEFA-v2-AOAC, 1990 N°130.15 Y N°167.03 (MS a 60°C) y el N mediante la metodología Kjeldahl (AOAC,1999). Para ello, las muestras frescas recogidas inmediatamente después de la deposición, se identificaron y conservaron a 4°C hasta su análisis. Luego se tomó una muestra representativa de cada uno de las explotaciones analizadas y se secó en estufa de aire forzado a

60°C hasta peso constante. Finalmente, la determinación de MS se realizó por gravimetría y la de N, como se mencionó anteriormente, por Kjeldhal. Por otro lado, se congelaron muestras de heces para el posterior análisis de NH<sub>3</sub> y N<sub>2</sub>O. Los resultados obtenidos se pueden visualizar en la Tabla 2.

Rodeo	Fecha de ordeño	% MS	% N
Sin Se	14.11.23	13,71	3,19
	15.11.23	14,39	3,41
	16.11.23	16,75	3,29
Con Se	14.11.23	14,54	3,09
	15.11.23	13,20	3,96
	16.11.23	15,72	3,09

Tabla 2. Muestras de heces

Tanto en el caso de las muestras de orina como de las muestras de heces que fueron congeladas, no se llevó a cabo ningún tipo de acidificación previa para evitar cualquier tipo de interferencia futura que pudiera haber en las determinaciones de NH<sub>3</sub> y N<sub>2</sub>O.

Para el caso de las muestras de leche, se efectuó el análisis composicional de las mismas por medio del método ISO 9622 IDF 141:2013, tomándose una muestra representativa de cada explotación al finalizar el proceso de ordeño. En estos casos no se tomaron muestras en cada uno de los días, sino que se tomaron muestras aleatorias durante todos los ordeños. Las muestras se refrigeraron a 4°C con los conservantes correspondientes hasta su análisis. Se evaluó el contenido de proteína, sólidos totales (ST), urea y caseína. Además, se calculó el MUN/NUL (Milk Urea Nitrogen/Nitrógeno Ureico en Leche) correspondiente para cada uno de los rodeos a partir de los valores obtenidos de urea en leche (MUN (mg/dl): urea (mg/dl)/2,1428). En la Tabla 3 se muestran los resultados promedios obtenidos.

Rodeo	% Proteína	% ST	Urea (mg/100ml)	% Caseína	MUN
Sin Se	3,52	13,51	51,55	2,68	24,06
Con Se	3,68	13,06	54,63	2,78	25,49

Tabla 3. Muestras de leche

Finalmente, se evaluó la calidad de las dietas según lo suministrado a cada uno de los rodeos y se llevó a cabo el balance de N a cada uno de los rodeos analizados. En la Tabla 4 se observan los resultados obtenidos para cada caso.

Item	Sin Se	Con Se
Peso vivo (kg)	612	612
Producción de leche (litros/día)	17,23	18,74
Consumo de N (g/día)	673,9	673,9
N excretado en Leche (g/día)	98,2	111,6
N excretado en Orina (g/día)	224,6	411,0
N excretado en Heces (g/día)	136,2	121,0
Balance (g/día)	214,9	30,4
% Excretado	53,5	78,9

Tabla 4. Balance de N

## Resultados

Según los resultados expuestos anteriormente se puede observar que existen ciertas diferencias en todas las matrices muestreadas para los rodeos a partir de una diferencia en la composición química de las dietas suministradas.

En el caso de las muestras de orina, evaluando el rodeo “Sin Se” se puede observar que los resultados obtenidos por la mañana para todas las determinaciones realizadas son muy similares entre sí, mientras que los de la tarde no, esto puede deberse a los cambios en las condiciones climáticas (lluvia) que pudieran generar una disminución en cuanto a la cantidad de pastura comida y de agua tomada por parte de los rumiantes. En cambio, en el caso del rodeo “Con Se” hay grandes diferencias entre los valores obtenidos para mañana y tarde pudiendo deberse no solo a las condiciones climáticas sino también a las dietas. Al efectuar la comparación entre ambos grupos podemos afirmar que el contenido de selenio en las dietas afecta la composición de la orina de los rumiantes. En cuanto a las heces, las variaciones entre los porcentajes de MS y N evaluando cada rodeo y efectuando una comparación entre ellos son mínimos.

Al evaluar los componentes de la leche podemos observar las similitudes existentes entre ambos rodeos. Sin embargo, al evaluar el indicador nutricional MUN podemos observar que los resultados obtenidos para los dos grupos de ganado lechero superan los valores tradicionales de 15 mg/dl. Esto significa que los niveles de PB de la dieta son elevados, generando un nivel bajo de Eficiencia en el Uso de Nitrógeno (EUN) y un alto N ureico en orina, siendo ambos indeseables en cualquier producción lechera. Además, los altos niveles de MUN indican un exceso de proteína bruta en la dieta y consecuentes inconvenientes en la reproducción animal (Cerón-Muñoz et al., 2014).

Finalmente, el balance de N en los rodeos presentó resultados muy diferentes. Por un lado, en el rodeo “Sin Se” se observó un valor de 53,5% de N liberado al ambiente, cuyo valor es inferior al 70% esperado (Chase, 2007), mientras que “Con Se” excretó un 79% del N consumido.

## Conclusiones

Al llevar a cabo el estudio comparativo entre dos grupos de ganado lechero de igual raza pero diferente composición química de dietas, se observaron similitudes y diferencias significativas entre ellos. Ambos casos fueron alimentados con alfalfa de pastura y maíz. Sin embargo, la diferencia radicó en que el rodeo “Sin Se” no consumió selenio, mientras que el rodeo “Con Se” sí. Esto se vio reflejado no sólo los resultados obtenidos en las matrices evaluadas, principalmente en orina, sino también en el balance de N obteniéndose resultados esperados en el rodeo “Con Se” pero inesperados en el “Sin Se”. En las muestras de heces y leche no se visualizaron diferencias significativas.

Asimismo, luego de realizar los análisis de composición química de la leche y evaluar el MUN, se concluye que los valores obtenidos para ambos rodeos sugieren un exceso de proteína en la dieta, afectando la reproducción animal de los rumiantes.

En conclusión, la investigación realizada resalta la importancia de una alimentación balanceada y adecuada para el ganado lechero, evitando excesos de proteína en la dieta que pudieran traer repercusiones no sólo en la reproducción animal sino también en el bienestar animal y en el ambiente.

## Referencias

Alayón-Gamboa, J. A., Jiménez-Ferrer, G., Piñeiro-Vázquez, A. T., Canul-Solís, J., Albores-Moreno, S., Villanueva-López, G., y otros. (2018). Estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero en la ganadería. doi:10.32854/agrop.v11i2.112

AOAC. (1999). Official methods of analysis 17th edn. Association of Official Analytical Chemists. Arglinton - Estados Unidos.

Chase, L. (2007). Feeding Low Crude Protein Rations to Dairy Cows – Opportunities and Challenges. Recuperado de: <http://livestocktrail.illinois.edu/uploads/dairynet/papers/8%20Chase.pdf>

Ceballos-Márquez, A. (2006). Milk urea: Use, interpretation, and its relation to milk protein. doi:10.13140/RG.2.1.1622.8242

Cerón-Muñoz, M. F., Hena Velásquez, A. F., Múnera Bedoya, Ó. D., Herrera Ríos, A. C., Díaz Giraldo, A., Parra Moreno, A. M., y otros. (2014). Concentración de nitrógeno ureico en leche - Interpretación y aplicación práctica. Medellín - España: Fondo Editorial Biogénesis.

Elizondo Salazar, J. (2006). El nitrógeno en los sistemas ganaderos de leche. *Agronomía Mesoamericana* 17 (1), 69-77. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43717111>

Flotats Ripoll, X. (2022). Gestión de purines y emisión de gases contaminantes. *SUIS N° 193*, 8-14. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/2117/386464>

Glez Eirexas, D. (2018). “Solamente el 28% del nitrógeno ingerido por la vaca acaba en la leche, y podemos llegar al 40%”. Campo Ga-Ego.

INTA. (19 de Mayo de 2011). Ganadería y efecto invernadero: mejor producción, menos contaminación. *INTA* Recuperado de: <https://intainforma.inta.gob.ar>

Ordoñez-Vargas, W. F., Posada-Ochoa, S. L., & Rosero-Noguera, R. (2023). Emisiones de gases de efecto invernadero por aplicación de excrementos bovinos al suelo. doi:10.4067/S0718-07642023000100101

Peña-Avelino, L. Y., Alva-Pérez, J., Rosales-Martínez, G. N., Hernández-Contreras, S., & Ceballos-Olvera, I. (2024). Estrategias de nutrición y alimentación para reducir las emisiones de metano en rumiantes bajo sistemas pastoriles: una revisión. doi:10.29059/cvpa.v1i2.18

Rivera Herrera, J. E., Molina Durán, C. H., Molina Echeverry, J. J., Molina Durán, E. J., Chará, J., & Barahona Rosales, R. (2015). Determinación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) provenientes de la orina y el estiércol bovino en dos sistemas de pastoreo orientados a la producción de leche. *3° Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles - VIII Congreso Internacional de Sistemas Agroforestales*. 565-569. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/>

Romero Salvador, A. (2021). Actividad ganadera: evaluación de las emisiones y estrategias de mitigación. *Anales de la Real Academia de Doctores de España*. Vol. 6, N°2. 359-371.

Salcedo Díaz, G. (2011). Minimización y aprovechamiento del purín en origen de las explotaciones lecheras de Cantabria. Cantabria - España: Gobierno de Cantabria - Consejería de Medio Ambiente.

Salcedo, G. (2015). Interpretación del contenido de urea en leche. Claves para su minimización en las explotaciones de Cantabria. Cantabria - España: Artes Gráficas J. Martínez.

SAyDS. (2019). Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. *Tercer informe bienal de actualización de la República Argentina a la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático*. Recuperado de <https://unfccc.int/documents/201965>. (9 de enero de 2023)

Steinfeld, Gerber, Wassenaar, Castel, Rosales & Haan. (2009). La larga sombra del ganado - Problemas ambientales y opciones. Roma: Organización de las Naciones Unidas.

Taboada, M. A., Cosentino, V. R., & Costantini, A. O. (2018). Emisiones de óxido nitroso desde suelos agrícolas y alternativas para mitigarlas. *Ciencia e Investigación* Tomo 68N°5, 41-45. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12123/4386>