



Balance de nitrógeno en dos sistemas de alojamiento en vacas lecheras cubículos vs cama compostante

Introducción

En las últimas décadas el impacto ambiental de los diferentes sistemas ganaderos ha sido cuestionado, y se ha planteado como objetivo prioritario mitigar los niveles de contaminación, haciendo especial hincapié en las deyecciones.

Dentro de este ámbito merece especial atención la contaminación producida a partir de compuestos nitrogenados, tales como nitratos, nitritos, y a través de la liberación a la atmósfera de gases contaminantes como el amoníaco (NH_3). La emisión de este gas es relevante dada su toxicidad y su efecto como uno de los principales responsables de la acidificación de la atmósfera y de la eutrofización de suelos y aguas. El NH_3 participa también en el calentamiento global a partir de la formación de su derivado, el óxido nitroso (N_2O), el cual pese a estar presente en cantidades relativamente pequeñas posee un potencial de calentamiento muy elevado (298 veces superior al CO_2 , Myhre *et al.*, 2013). Además, y con independencia de las cuestiones de interés social, la emisión de NH_3 es una pérdida neta del valor de fertilización del estiércol.

La urea urinaria constituye el compuesto mayoritario de excreción de N en las deyecciones del ganado vacuno. Tras su eyección y al entrar en contacto con las heces, se inicia su proceso de degradación mediante la acción de ureasas microbianas, produciéndose NH_3 como producto final, el cual si se dan las condiciones adecuadas será volatilizado irreversiblemente hacia la atmósfera. Las pérdidas de N en forma de NH_3 pueden alcanzar

hasta el 50% del N excretado en las deyecciones, siendo la dieta, el alojamiento y las estrategias de manejo del estiércol los factores que más alteran las emisiones de NH_3 . Por esta razón, se aconseja a los ganaderos mejorar el racionamiento de los animales con tal de maximizar la utilización del N.

En el caso del vacuno lechero y bajo condiciones comerciales, sólo del 20 al 30% del N presente en la ración es retenido en la leche (Powell *et al.*, 2006); el resto es desechado por medio de las deyecciones con el consiguiente riesgo de ser emitido a la atmósfera en forma de NH_3 . Así pues, el tratamiento, gestión y almacenamiento de las deyecciones será crucial a la hora de establecer y minimizar las pérdidas irreversibles de N procedentes del estiércol.

Cubículo vs Cama Compostante

Actualmente, el sistema de estabulación libre en cubículos es el más utilizado en España. En este sistema el animal dispone de un área de descanso individual constituida por cubículos, y las deyecciones son retiradas varias veces al día mediante un sistema de arrobaderas y depositadas en una fosa de almacenamiento exterior.

Sin embargo, los sistemas de alojamiento en cama compostante (o también llamado sistema israelita) están ganando cada vez mayor relevancia debido a los beneficios sanitarios que comporta (i.e. reducción de la incidencia de mastitis y laminitis, Leso *et al.*, 2020). En este sistema el ganado descansa sobre una cama constituida por sus propias deyecciones, las cuales son compostadas in situ mediante laboreos diarios llevados a cabo por la acción de una grada rotativa. Además, una parte de las deyecciones son depositadas en el pasillo de alimentación; esta fracción es retirada mecánica-

Joaquim Balcells, Esperanza Fuertes, Ahmad Reza Seradj, Jordi Maynegre, Daniel Villalba y Gabriel de la Fuente (Dep. Ciencia Animal, Universitat de Lleida)

mente 2-3 veces por día y almacenada en un estercolero externo.

La gestión de las deyecciones difiere ampliamente entre ambos sistemas de alojamiento, lo cual obliga a analizar el impacto ambiental de ambos tipos de alojamiento en términos de recuperación y/o pérdidas irreversibles (emisión) de N en las deyecciones. Asimismo, el efecto estacional puede ser relevante en lo que se refiere a la emisión de NH₃ en ambos tipos de explotación, por lo que cobra importancia analizar si la variación de temperatura a lo largo del año modifica las emisiones de NH₃.

Figura 1. Sistema de cubículos (<https://www.agricultural-supplies.co.uk/farming-residential/cattle-cubicle-housing.html>)



Procedimiento experimental

Considerando las restricciones metodológicas y el objetivo principal de este estudio (comparar la producción absoluta de N en dos tipos de sistemas de manejo de deyecciones y sus posibles variaciones estacionales), el procedimiento se llevó a cabo mediante un balance de N a partir de la determinación precisa del contenido de N en alimento, leche y deyecciones en ambos tipos de explotación. Las pérdidas irreversibles de N se estimaron por diferencia entre ingestión y recuperación de N en leche y deyecciones, asumiendo que el N no contabilizado fuera volatilizado como N gaseoso durante el manejo del estiércol.

Con tal de contrastar el efecto estacional, se llevaron a cabo mediciones en dos periodos: entre Febrero-Mayo y Agosto-Noviembre. Las explotaciones en las que se realizó el muestreo (n=6) se encuentran ubicadas en la misma situación geográfica (Plana de Lleida); tres de ellas están dotadas con un sistema de recolección continua de deyecciones mediante arrobaderas (CUB) y en las tres restan-

Figura 2. Sistema de cama compostante (Galama et al., 2011)



tes las heces son depositadas en la cama compostante (CC) o en los pasillos de alimentación, donde son recogidas diariamente. Los detalles de las explotaciones se resumen en la tabla 1.

Las concentraciones de N en el estiércol son heterogéneas; por este motivo se diseñó un protocolo que incluyera la recolección de una cantidad de muestras representativa con tal de obtener una base de datos consistente. En el sistema de cubículos la recuperación de N se determinó a partir del purín depositado en la fosa de almacenamiento, mientras que en sistemas de cama compostante se analizó tanto el N acumulado en la cama compostante como el depositado en los pasillos de alimentación. El N se determinó mediante el método Kjeldahl.

Resultados

Las raciones fueron comprobadas en base a la recomendación del Consejo de Investigaciones Agrícolas y Alimentarias (1993). Se basaron en el aporte de maíz (ensilado y en grano) y harina de soja como principales ingredientes de la dieta. No se realizaron cambios específicos relacionados con la temporada en el racionamiento. La composición de la materia seca ingerida varió entre el 14 y 17 % en proteína bruta y entre 2,05 y 1,98 Mcal de energía metabolizable (EM) entre las diferentes explotaciones muestreadas.

El aporte de proteína degradable (46.4 ± 4,62 g/Mcal EMF) cubrió las necesidades de los microorganismos y el aporte de proteína sin degradar las de la vaca. En relación con el rendimiento lechero, la composición de la leche no se vio afectada significativamente por el tipo de sistema.

No se registraron diferencias en las temperaturas medias entre ambos sistemas de gestión. La velocidad media del viento registrada tampoco difirió

Tabla 1. Características de los establos en dos sistemas de alojamiento en vacuno lechero de tipo cubículos (CUB) y cama compostante (CC)

Tipo de granja	Suelo y manejo de deyecciones	Superficie vaca, m ²		
		Pasillo	CUB	CB
1 CUB	Suelo pavimentado, Canal provisto de arrobaderas en circulación continua (cada 3 h), balsa de purines con vaciado cada 3-4 meses	3,45	6,7	-
2 CUB	Suelo pavimentado, Canal provisto de arrobaderas en circulación continua (cada 3 h), balsa de purines con vaciado cada 3-4 meses	3,74	6,3	-
3 CUB	Suelo pavimentado, Canal provisto de arrobaderas en circulación continua (cada 3 h), balsa de purines con vaciado cada 3-4 meses	2,74	5,4	-
4 CC	Laboreo diario del lecho y limpieza mecánica pasillo alimentación (2/día), Intervalo de vaciado > 6 meses y sin adición material de compostaje	2,11	-	11,0
5 CC	Laboreo diario del lecho y limpieza mecánica pasillo alimentación (2/día), Intervalo de vaciado > 6 meses y no adición material de compostaje	2,45	-	13,1
6 CC	Laboreo diario del lecho y limpieza mecánica pasillo alimentación (2/día), Intervalo de vaciado > 6 meses y no adición material de compostaje	1,96	-	13,4

entre sistemas, aunque la temporada de Febrero-Mayo fue ligeramente más ventosa.

En estas condiciones, la ingesta de N, el N presente en la leche y la excreción teórica de N (N ingerido - N leche) no fueron influenciados por el sistema de alojamiento, pese a que sí existió una ligera variación estacional (mayores niveles de N ingerido, N en leche y N teórico excretado en la temporada Febrero-Mayo). Sin embargo, el N residual en el estiércol fue modificado significativamente por el sistema de alojamiento.

De esta manera, en los establos de tipo CUB se recuperó el 86% del N excretado, mientras que en CC sólo fue recuperada una media de 46%. Esto equivale a que una mayor proporción de N eliminado a través de las deyecciones fue volatilizado en los sistemas de CC (42% del N ingerido a partir de la ración), mientras que la volatilización procedente de cubículos fue inferior (11% del N ingerido). Las elevadas pérdidas de N en el sistema de cama compostante estarían relacionadas con el efecto favorecedor del manejo del lecho sobre la volatilización de N. Por lo tanto, la cantidad de N residual en el estiércol fue significativamente inferior en los sistemas de cama compostante.

Respecto a la temperatura, pese a que sí se ha apreciado cierto mayor nivel de emisión de N en temporada cálida, los resultados no fueron concluyentes a la hora de diferenciar niveles de emisión entre estaciones.

Tabla 2. Resultados obtenidos en ambos sistemas

Variable (g/d)	CUB	CC
N ingerido	653,0	629,5
N leche	190,0	177,8
N teórico estiércol	463,0	451,6
N muestreado en estiércol	389,3	193,8
N volatilizado	73,6	255,8
% Volatilización	11,1	42,3

Factores a contrastar entre sistemas

Se procuró que las explotaciones sometidas a estudio fuesen lo más homogéneas entre sí con tal de aumentar la precisión de las estimaciones de NH₃ volatilizado, con la máxima similitud posible entre características de manejo y alimentación, especialmente en lo que respecta al suministro de proteína bruta. Además de situarse en la misma zona geográfica, muy homogénea, los muestreos se realizaron de forma simultánea para minimizar diferencias meteorológicas.

Sin embargo, existen ciertos parámetros que actúan como condicionantes en los niveles de emisión y pueden justificar las diferencias existentes entre los sistemas de alojamiento objeto del presente estudio:

• pH y aireación

Sobre el nivel de pH se debe tener en cuenta que es en la superficie del estiércol donde se volatiliza la mayor parte del NH₃, y por lo tanto donde se determinan las emisiones de este gas. Cuando el estiércol es expuesto al aire, el CO₂ disuelto en él se libera más rápido que el NH₃ debido a su menor solubilidad. La volatilización del CO₂ provoca la elevación del pH de superficie, por lo que el equilibrio se desplaza hacia la formación de NH₃, aumentando exponencialmente su volatilización. Teniendo en cuenta que en los sistemas de cama compostante el estiércol es aireado diariamente, ello incrementará la evaporación de CO₂ en superficie con la consiguiente modificación del pH y emisión de NH₃.

• Actividad enzimática

Las ureasas microbianas presentes en las heces son activadas al entrar en contacto con la urea de la orina, oxidándola y produciéndose así una rápida liberación de NH₃. Dado que en sistemas de cama compostante el ganado está alojado sobre un lecho conformado por sus propias deyecciones sobre las cuales depositan también la orina que generan y que posteriormente mezclan por su movimiento continuo sobre ese lecho, se consigue desencadenar la hidrólisis de la urea y una rápida emisión de NH₃. Además, la circulación diaria de la grada rotativa sobre el lecho facilita asimismo la mezcla de ambas deyecciones, lo cual deriva a su vez en una mayor volatilización de NH₃.

• Temperatura

El aumento de la temperatura mejora la actividad de la ureasa y, por lo tanto, la volatilización de NH₃. Esta termodependencia de la ureasa explica que a temperaturas inferiores a 10°C su actividad será relativamente baja, mientras que aumentará rápidamente después de ese punto. Así, por encima de ese umbral, se ha descrito una correlación positiva entre la temperatura y la volatilización del NH₃.

Conclusión

La aplicación de estudios de balance de masa de N ha demostrado ser una herramienta útil a la hora de analizar los cambios producidos en la recuperación y/o pérdidas irreversibles de N en diferentes sistemas de alojamiento y condiciones estacionales.

En nuestros resultados no se obtuvo una relación significativa entre el periodo de muestreo y las pérdidas irreversibles de N. Sin embargo, se evidenció que el tipo de alojamiento y la consiguiente gestión de deyecciones alteran significativamente el equilibrio entre la fracción de N contenida en el estiércol y la fracción volatilizada, siendo en el caso de los sistemas de cama compostante donde las pérdidas irreversibles o volatilización de N son superiores, quedando una menor cantidad de N residual en estiércol.

Referencias

- Agricultural and Food Research Council. 1993. *Energy and protein requirements of ruminants* CAB International, Wallingford, UK
- Balcells, J., Fuertes, E., Seradj, A., Maynegre, J., Villalba, D., & de la Fuente, G. (2019). Study of nitrogen fluxes across conventional solid floor cubicle and compost-bedded pack housing systems in dairy cattle barns located in the Mediterranean area: Effects of seasonal variation. *Journal of Dairy Science*. Volume 103, Issue 11, P10882-10897. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17555>
- Galama, P. (2011). *Prospects for bedded pack barns for dairy cattle*. Wageningen UR Livestock Research. http://www.vrijloopstallen.nl/documenten/Prospects_for_bedded_pack_barns_for_dairy_cattle.pdf
- Leso, L., Barbari, M., Lopes, M., Damasceno, F., Galama, P., Taraba, J., & Kuipers, A. (2020). Invited review: Compost-bedded pack barns for dairy cows. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16864>
- Myhre, G., Shindell, D., Bréon, F., Collins, W., Fuglestvedt, J., Huang, J., Koch, D., Lamarque, J., Lee, D., Mendoza, B., Nakajima, T., Robock, A., Stephens, G., Takemura, T., Zhang, H., Qin, D., Plattner, G., Tignor, M., Allen, S., ... Midgley, P. (2013). Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I*. doi:10.1017/CBO9781107415324.018.
- Powell, J. M., Jackson-Smith, D. B., McCrory, D. F., Saam, H., & Mariola, M. (2006). Validation of feed and manure data collected on Wisconsin dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 89(6), 2268-2278. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72298-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72298-6)