

Sostenibilidad en las granjas de vacuno de leche (4)

Gestión nutricional para la reducción de la producción de Nitrógeno

Introducción

La actividad ganadera intensiva supone, por su propia naturaleza, una fuente de contaminación del medio ambiente.

Las emisiones más conocidas son las de metano (CH_4), cuyas estrategias nutricionales de reducción se trataron en el número anterior (Frisona Española

261). Pero, por otro lado, también hay que tener en cuenta la emisión de otros gases con efecto invernadero, el óxido nitroso (N_2O) que también se produce cuando se aplican estiércoles y purines en los campos de cultivo, y el amoníaco (NH_3). 1 kg de N_2O equivale a 310 kg de CO_2 .

El nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$) se pierde en las diversas fases de la producción animal (Figura 1). En ganado vacuno:

- En la granja (fase de explotación ganadera): 11-22 %
- En el almacenamiento de estiércol o purín: 7-43 %
- En su aplicación al campo y en el propio suelo: 20-24 %

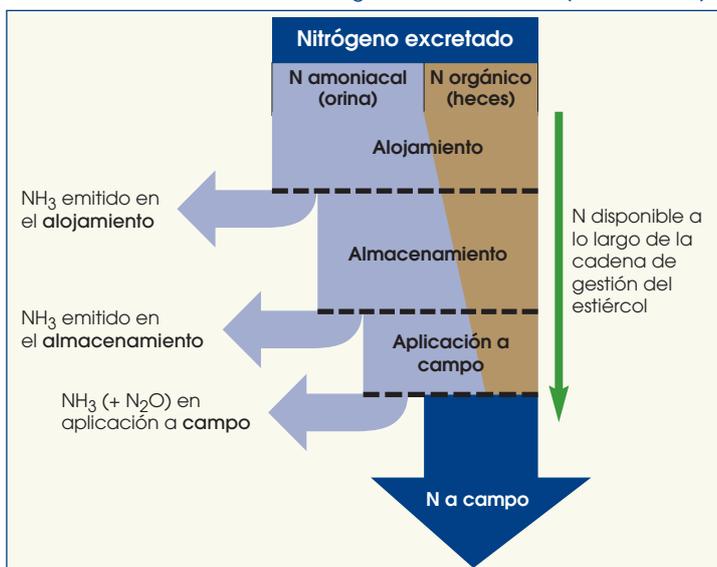
Una parte sustancial del nitrógeno contenido en el estiércol que excretan los animales se emite en forma de amoníaco como consecuencia de la volatilización del nitrógeno amoniacal que contiene, durante las 3 fases mencionadas. Una vez emitido a la atmósfera, el NH_3 puede ser transportado en el aire a grandes distancias, ocasionando importantes problemas en los ecosistemas naturales.

En los últimos años se ha generado un importante conocimiento sobre las cantidades emitidas en cada fase de la gestión del estiércol y también sobre los mecanismos para reducir esa contaminación.

Las principales estrategias que permiten reducir las emisiones de NH_3 , aunque a diferentes costes que podrán ser asumidos o no por el sector, son, esencialmente:

- Nutrición animal.
- Diseño de las granjas.
- Gestión y sistemas de tratamiento del estiércol.
- Sistemas de aplicación de estiércoles y purines a campo.

Figura 1. Pérdidas de N asociadas a las emisiones de NH_3 a la atmósfera, en las distintas fases de la gestión del estiércol (Calvet, 2015)



Antonio Callejo Ramos. Dr. Ingeniero Agrónomo.
Dpto. Producción Agraria E.T.S.I. Agronómica, A. y de B.-U.P.M. - antonio.callejo@upm.es

Como ya hicimos en el caso del metano, en este trabajo abordaremos únicamente las estrategias ligadas a la nutrición de las vacas lecheras.

Es bien conocido que los animales no digieren la totalidad de los nutrientes que ingieren, sino que éstos tienen una determinada digestibilidad.

Esto se traduce, en la práctica, en que una proporción variable de los nutrientes ingeridos acaba en las excreciones de los animales y constituye la fuente de los principales contaminantes ambientales.

La proporción del nitrógeno ingerido que es excretado es muy variable, entre el 40 y el 80 %, dependiendo de la especie animal, raza o tipo genético, alimentación y régimen de estabulación.

Cuanto mayor sea la proporción de nitrógeno excretado, mayor será la emisión posterior de NH₃. Por tanto, si el animal es capaz de aprovechar mejor el alimento se reduce el nitrógeno que excreta y se reduce el amoníaco emitido en los alojamientos y en las distintas fases de la gestión del estiércol (almacenamiento y aplicación al campo).

Puesto que el exceso de proteína ingerida se elimina principalmente a través de la orina en forma de urea, que es un compuesto que rápidamente genera NH₃, es fácil adivinar que la principal estrategia nutricional para reducir la excreción de nitrógeno será reducir el exceso de proteína en la dieta.

Contexto legislativo

Tal y como señalábamos en el número anterior de esta revista, las granjas de vacuno lechero están sujetas al Real Decreto 1053/2022, de 27 de diciembre, por el que se establecen normas básicas de ordenación de las granjas bovinas. Si bien las granjas lecheras no están obligadas a solicitar la Autorización Ambiental Integrada y, por tanto, a aplicar las Mejores Técnicas Disponibles (MTDs) para la reducción de emisiones y hacer un uso eficiente del agua y de la energía, el Real Decreto (RD) citado SI establece que las explotaciones bovinas del Grupo III (entre 150 y 850 UGM) y las ya existentes del Grupo IV (> 850 UGM) deben adoptar técnicas con la finalidad de mitigar las emisiones de gases contaminantes y de gases de efecto invernadero a la atmósfera (art. 11), aplicando al menos alguna de las que se señalan en el Anexo V del RD, la primera de las cuales se refiere a contar con una estrategia nutricional.

Por otra parte, todas las granjas bovinas, independientemente de su tamaño, deben contar con un Sistema Integral de Gestión de las Explotaciones Bovinas (SIGE) (art. 9) cuyo contenido (Anexo III, punto 5) incluye un Plan de Gestión Ambiental. Las granjas bovinas, de cualquier tamaño, deben gestionar los estiércoles, en la forma que se expresa en el artículo 10 del RD señalado.

El RD no menciona en ningún momento, de forma explícita, las Mejores Técnicas Disponibles, pero de forma implícita está haciendo referencia a ellas, al hablar de las técnicas para la reducción de emisiones (Anexo V), o al hablar de medidas para la optimización del uso de agua y energía, del control de ruidos, partículas, polvo y olores, gestión de residuos, etc. (Anexo III, contenido del SIGE).

Metabolismo del nitrógeno en los rumiantes

Para entender mejor las estrategias nutricionales examinadas a reducir la excreción de nitrógeno en las heces y en la orina es conveniente conocer cómo es el metabolismo de este elemento a lo largo del tracto digestivo de un rumiante, así como los factores que determinan la utilización metabó-

lica de las proteínas. Todo ello con el objetivo de ajustar el aporte proteico en la dieta a las necesidades de los rumiantes con la mayor precisión posible.

Habitualmente se hace referencia al contenido en proteína de las materias primas, si bien sería más correcto hablar de compuestos nitrogenados, ya que una fracción de lo que se asume como proteína (Nitrógeno Kjeldahl x 6,25) está formada por **Nitrógeno No Proteico (NNP)**.

La mayoría de las materias primas utilizadas en la alimentación de los rumiantes contienen una cantidad baja de NNP, aunque puede ser bastante alta en algunos forrajes, ensilados y hierba verde, llegando a alcanzar el 50 % del total de los compuestos nitrogenados.

En estos casos debe tenerse en cuenta esta fracción a la hora de formular las dietas, pues el NNP se transforma muy rápidamente en NH₃ en el rumen

La llamada **Proteína Verdadera**, es decir, el nitrógeno contenido en los aminoácidos que forman los péptidos (las cadenas de péptidos forman las proteínas) se divide en dos:

Proteína Degradable en el rumen (PDR)

Proteína No Degradable en el rumen (PNR)

La PDR se degrada en el rumen por la acción de enzimas proteolíticas de bacterias y protozoos (flora ruminal). Estas enzimas proteolíticas tienen un rango de pH óptimo muy amplio (5,5-7,9), por lo que su actividad es muy elevada en la mayoría de las condiciones prácticas.

Al degradarse la proteína en el rumen se liberan dipéptidos y aminoácidos, que pueden ser utilizados directamente por los microorganismos del rumen para sintetizar la proteína microbiana; los aminoácidos también pueden ser desaminados y generar amoníaco que, a su vez, también puede ser utilizado por las bacterias ruminales para sintetizar *de novo* todos los aminoácidos, incluidos los esenciales. Aunque luego será comentado, para que los microorganismos del rumen puedan sintetizar proteína microbiana deben disponer de cantidad suficiente de energía a su disposición; en caso contrario, la síntesis proteica se verá limitada aunque haya suficiente material nitrogenado disponible.

A causa de estos procesos fermentativos en la digesta que llega al duodeno de los rumiantes se encuentran estas tres fracciones proteicas diferentes:

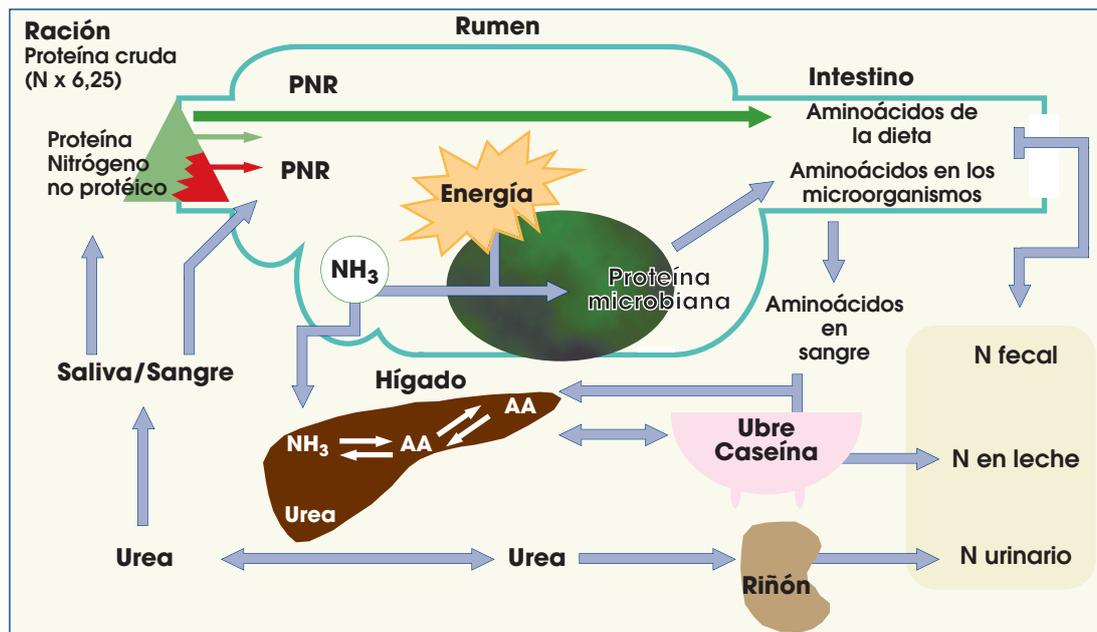
- Proteína del alimento no degradada (PNR)
- Proteína microbiana
- Proteína endógena, constituida por descamaciones y secreciones del tracto digestivo

La síntesis de proteína microbiana es un proceso esencial en el metabolismo proteico de los rumiantes, pues constituye una gran parte del flujo proteico que abandona el rumen y es suficiente para cubrir las necesidades de aminoácidos de los rumiantes en mantenimiento o en niveles de producción bajos.

Por otra parte, la proteína microbiana presenta un buen perfil de aminoácidos, siendo su concentración en lisina y metionina (con frecuencia los dos primeros aminoácidos limitantes de la producción lechera) similar a la de la leche.

Tampoco hay que olvidar que los microorganismos ruminales son los responsables de la degradación de los hidratos de carbono en el rumen, produciendo ácidos grasos volátiles, que son la principal fuente de energía para el rumiante y precursores de la síntesis de la glucosa (propiónico) y de la grasa corporal y láctea (acético y butírico).

Figura 2. Esquema del metabolismo nitrogenado en un rumiante



Por esta razón, en la formulación de dietas para los rumiantes hay que maximizar siempre la síntesis de proteína microbiana, para lo que la dieta debe aportar suficiente PDR y energía a los microorganismos ruminales. Los procesos anteriores se esquematizan en la Figura 2.

Balance proteico en el rumen

El sistema INRA francés es el habitualmente utilizado en España para la formulación de dietas en rumiantes, en general, y de vacas lecheras, en particular. Este sistema permite valorar el equilibrio entre PDR y energía a través de las concentraciones de PDIN¹ y PDIE² en la dieta, cuyos valores deben ser lo más parecidos posible.

Desde el año 2018, el nuevo sistema INRA utiliza un solo valor de PDI para cada materia prima e introduce un nuevo concepto: **balance proteico en el rumen**.

- Un balance proteico igual a cero indica que la dieta aporta cantidades equilibradas de PDR y energía para la síntesis microbiana.
- Un valor negativo del balance proteico refleja una deficiencia de PDR.
- Un valor positivo muestra un exceso de PDR.

Tanto un valor positivo como uno negativo indican que la síntesis de proteína se ve limitada, lo que en la práctica supone un menor aporte de aminoácidos al rumiante.

Un exceso de proteína degradable en el rumen (PDR) provoca una acumulación de amoníaco al no poder ser utilizado por los microorganismos ruminales por falta de energía disponible. Este exceso de amoníaco es absorbido y transportado al hígado, donde se transforma en **urea**, ya que debe ser eliminado del organismo debido a su toxicidad. Por ello, no se debe exceder la capacidad del hígado para convertir urea.

La urea es excretada en la orina, pero también se excreta en la leche y a través de la sangre y de la saliva. Esta última es reciclada al rumen, donde la urea se transforma nuevamente en amoníaco que puede ser utilizado para la síntesis de proteína microbiana si hay disponibilidad de energía.

La síntesis de una molécula de urea requiere de cuatro moléculas de ATP, lo que reduce la energía disponible para la producción lechera.

Por otra parte, un exceso de NH₃ en el rumen reduce la eficiencia de síntesis de proteína microbiana, lo que también supone un menor aporte de aminoácidos para el rumiante.

En lo que nos ocupa en este trabajo, debemos destacar que la mayor excreción urinaria de urea supone un efecto medioambiental negativo por las mayores emisiones de amoníaco y de óxido nítrico que habrá procedentes de las deyecciones. Paralelamente, estudios *in vitro* observan que un exceso de PDR también incrementa la emisión de metano debido a la fermentación de los esqueletos carbonados procedentes del metabolismo de los aminoácidos.

La función reproductiva también se ve afectada por un exceso de PDR, pues altas concentraciones de urea reducen la fertilidad de las vacas, además de aumentar:

- El recuento de células somáticas.
- La incidencia de mastitis y laminitis.
- El edema mamario.
- La reducción de la funcionalidad hepática.
- La depresión del sistema inmune.

Por el contrario, cuando la dieta es deficiente en PDR, el rumiante puede compensar parcialmente esta deficiencia intensificando el reciclado de la urea al rumen

La proteína microbiana tiene una alta digestibilidad (80-85 %) y también es alta la digestibilidad de la proteína endógena (valor medio del 80 %). En cuanto a la proteína del alimento que no es degradada en rumen (PNR), cada materia prima tiene un valor diferente, entre el 18 y el 98 % (tablas INRA). Los valores mínimos corresponden a subproductos agroindustriales de muy baja calidad, mientras que los máximos corresponden a cultivos de levaduras. La digestibilidad de las materias primas utilizadas habitualmente oscila entre el 60 y el 80 %.

Como en todos los procesos metabólicos, en la utilización de aminoácidos existe una mayor o menor ineficiencia, generándose amoníaco, que es

¹ PDIN es la proteína digestible en el intestino cuando el nitrógeno es el factor limitante de la síntesis proteica.

² PDIE es la proteína digestible en el intestino cuando la energía es el factor limitante de la síntesis proteica. En ambos casos, engloba la proteína de origen alimenticio (PNDR) y la proteína microbiana

transformado en urea en el hígado y pasa a formar parte del pool de urea del organismo.

Cuando se administra un exceso de PDI en relación a las necesidades del animal, los aminoácidos no utilizados se catabolizan y aumenta la excreción de urea en orina y leche, aumentando también ligeramente la excreción en heces.

Desde el punto de vista ambiental, aportar PDI por encima de las necesidades del animal aumenta el potencial contaminante de las deyecciones (heces + orina) y, previsiblemente, también los costes de alimentación sin mejorar la producción de los animales.

La concentración de urea en leche está directamente relacionada con la cantidad de proteína en la dieta. Por ello, el análisis de urea en la leche representa una herramienta muy útil para el diagnóstico nutricional de posibles desequilibrios en el aporte de energía y PDR en la dieta.

También se ha observado en el vacuno lechero que las concentraciones de urea en leche están altamente correlacionadas con la excreción urinaria de nitrógeno y con la cantidad de amoníaco volatilizada del estiércol, por lo que este análisis también puede ser utilizado como un indicador del potencial de contaminación medioambiental.

Es preciso tener en cuenta que los niveles de urea en leche también se ven influenciados por factores no alimentarios:

- Fase de lactación.
- Hora y frecuencia del ordeño.
- Estación del año.
- Genética de los animales.
- Presencia de patologías mamarias y ruminales.
- Ingestión de agua.

Por ello se recomienda recoger las muestras de leche siempre en las mismas condiciones y establecer un valor adecuado para cada rebaño, y después monitorizar estos valores en relación a cambios de la dieta y considerar anómala cualquier variación en la concentración de urea en leche que supere 60-70 mg/l.

Estrategias de alimentación en rumiantes

Consideraciones generales

En la práctica, los niveles proteicos de la alimentación de los animales sobrepasan las necesidades reales. Los márgenes de seguridad en el contenido proteico de la dieta se usan para compensar:

- a) ratios de aminoácidos por debajo del nivel óptimo;
- b) diferencias en las necesidades de animales con distintos genotipos;
- c) variaciones en las necesidades provocadas por las diferencias de edad y de fases de producción; y
- d) variaciones en el contenido real y en la digestibilidad de los aminoácidos esenciales de la dieta. El contenido proteico de la dieta y las excreciones de N resultantes se pueden reducir ajustando lo más posible el contenido de proteínas/aminoácidos de la dieta a las necesidades del animal.

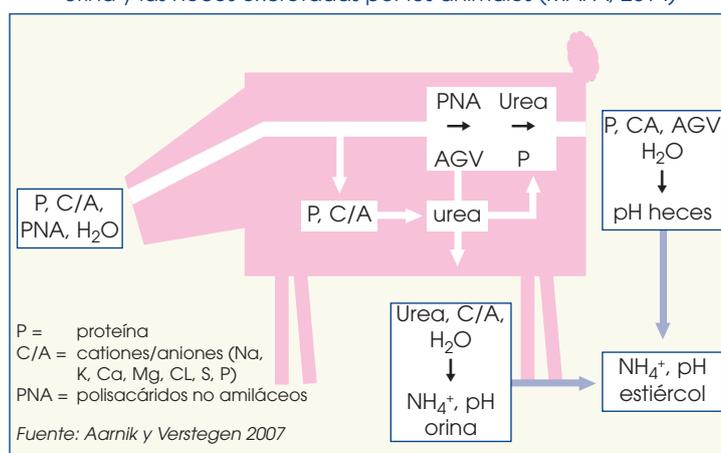
La fracción de los alimentos ingeridos que el animal no digiere, no absorbe ni retiene se excreta por medio de las heces y la orina. El exceso de N en la alimentación se excreta en forma de proteínas (N ligado orgánicamente), urea y amoníaco. La distribución del N entre todos estos compuestos, junto con el pH de las heces y la orina afecta al potencial de pérdidas de NH₃.

Dado que las pérdidas de NH₃ están ligadas al contenido de amoníaco y urea de la orina y las heces,

las principales opciones para influir en el potencial de emisiones de NH₃ debidas a la alimentación del ganado son (Figura 3):

- a) La disminución de los contenidos de amoníaco y de urea de la orina y las heces, mediante:
 - La reducción de la ingesta de PB;
 - El aumento de la ingesta de polisacáridos no amiláceos (que desplazan la excreción de N de urea de la orina a la proteína del estiércol);
- b) La reducción del pH del estiércol mediante:
 - La reducción del pH de las heces;
 - La reducción del pH de la orina;
- c) La reducción de la actividad de la ureasa y, por lo tanto, de la concentración de amoníaco del estiércol.

Figura 3. Esquema de los constituyentes principales de la ración animal que influyen en el contenido de urea y amoníaco y en el pH de la orina y las heces excretadas por los animales (MAPA, 2014)



El contenido de amoníaco del estiércol (heces más orina), tras la hidrólisis de la urea y la digestión anaerobia de las proteínas del estiércol, puede calcularse de la siguiente manera:

$$(\text{NH}_4^+) = \frac{(\text{cd} \times P_a - P_r + \text{cda} \times (1 - \text{cd}) \times P_a)}{M_e}$$

Donde:

- cd = coeficiente de digestibilidad aparente de proteína
- P_a = proteínas de la alimentación
- P_r = retención de proteínas
- cda = coeficiente de digestión anaeróbica de las proteínas del estiércol
- M_e = masa de estiércol

El pH de la orina y el estiércol se puede estimar haciendo un balance catión-anión completo. En la estimación hay que incluir también la concentración de amoníaco y carbonato.

Las estrategias de alimentación del ganado pueden influir en el pH del estiércol y de la orina. El pH de las heces puede reducirse aumentando la fermentación en el intestino grueso. Así, se aumenta el contenido de ácidos grasos volátiles (AGV) de las heces y se consigue un pH más bajo. El pH de la orina puede reducirse disminuyendo el equilibrio electrolítico (Na + K - Cl) de la dieta. El pH de la orina también puede reducirse añadiendo componentes acidificantes a la dieta, como, p. e., sulfato de calcio (CaSO₄), benzoato de calcio o ácido benzoico. A su vez, un pH bajo de las heces y la orina excretados da como resultado un pH bajo de los purines/estiércol durante el almacenamiento, in-

cluso pasado un cierto tiempo. Este efecto del pH puede reducir significativamente las emisiones de NH₃ de los purines durante el almacenamiento y también tras la aplicación.

Dependiendo de la actividad enzimática, la urea se hidroliza en amonio, normalmente en unas pocas horas o días. La mineralización del N orgánico (proteína aparentemente no digerida) de las heces es un proceso lento. A una temperatura de 18°C, se tarda 70 días antes de que el 43 % del N orgánico del estiércol de cerdo se mineralice en NH₃. Por lo tanto, si se desplaza el N excretado en vacuno y porcino de la orina a las heces, la excreción de N vía proteína (N ligado orgánicamente) aumenta, mientras que la excreción de N a través de la urea y el amonio disminuye. Como resultado, las emisiones de NH₃ de la orina se reducen (mientras que las emisiones de NH₃ del estiércol no se incrementan).

Hay dos indicadores clave para valorar la eficiencia de la conversión de los alimentos en producto animal. Se definen de la siguiente manera:

- Las necesidades de PB (a menudo estimada como el contenido de N multiplicado por 6,25), como proporción de MS de la dieta. Esta depende de la especie animal, del tipo de producción, de la digestibilidad de la dieta y de la calidad (ratio de aminoácidos) de la PB. El dato para este indicador en los piensos concentrados normalmente se puede conseguir del fabricante. Con los forrajes, sobre todo con los de pastoreo, no es tan fácil estimar un valor, pero la altura de la pradera (AP) puede servir para aproximarlo; cuanto mayor sea la AP, menor será el contenido de proteína. Sin embargo, con un aumento de la AP, la digestibilidad de la hierba puede disminuir.
- La eficiencia en el uso del N (EUN³ = NPA/NA), en donde NPA es la masa de N en los productos animales (en kg) y NA es la masa de N en el alimento empleado (kg). Este indicador requiere información sobre el contenido de N de los productos animales y de los alimentos. En los últimos años se han publicado multitud de tablas con estos datos.

En última instancia, la EUN en los sistemas de producción lechera está limitada por el potencial biológico de las vacas para transformar el N de los alimentos en leche y el potencial de los cultivos y pastos para convertir el N del estiércol y de los fertilizantes aplicados en grano, forraje y otros productos agrícolas. Sin embargo, la disparidad entre la EUN real alcanzada por los productores y la EUN teórica indica que se pueden hacer mejoras sustanciales en la EUN de muchas explotaciones lecheras comerciales.

Aunque los productores de lácteos pueden hacer poco acerca de las limitaciones biológicas en el uso del N, prácticas tales como mantener unas tasas de densidad animal adecuadas, dar salida al N del estiércol y seguir las recomendaciones para evitar los desperdicios, pueden mejorar sustancialmente la EUN, las ganancias de la explotación y los resultados medioambientales de la producción láctea

Reducir la PB de las dietas de los rumiantes es una estrategia efectiva de categoría 1 para disminuir la pérdida de NH₃. Las siguientes directrices son válidas para esto (Tabla 1):

- El contenido medio de PB de las dietas de las vacas lecheras no debe sobrepasar los 150-160

g/kg de MS. Para los terneros de carne de más de 6 meses se puede reducir aún más, hasta los 120 g/kg de MS.

- La alimentación por fases se puede aplicar de tal manera que el contenido de PB de la dieta para el vacuno lechero descienda gradualmente desde 160 g/kg de MS, justo antes del parto y en la primera fase de lactación, a menos de 140 g/kg de MS en la última fase de lactación y en la mayor parte del periodo seco.
- La alimentación por fases también se puede aplicar al vacuno de carne, de modo que el contenido de PB de la dieta descienda gradualmente de 160 g/kg a 120 g/kg de MS con el tiempo.

Tabla 1. Niveles objetivo indicativos del contenido de PB (g/kg de MS) de la ración, y EUN resultante, en fracciones de masa (kg/kg) para ganado vacuno (MAPA, 2014)

Especie de vacuno	PB (g/kg)	EUN (kg/kg)
Leche + mantenimiento, primera fase de lactación	150-160	0,30
Leche + mantenimiento, última fase de lactación	120-140	0,25
Reposición	130-150	0,10
Terneros lechales	170-190	0,45
Vacuno < 3 meses	150-160	0,30
Vacuno 3-18 meses	130-150	0,15
Vacuno > 18 meses	120	0,05



En muchas partes del mundo, la producción de vacuno está ligada a la tierra total o parcialmente. En dichos sistemas, la hierba y los productos herbáceos ricos en proteínas suponen una parte importante de la dieta, y los valores objetivo indicados en la Tabla 1 pueden ser difíciles de alcanzar, dado el alto contenido en PB de los pastizales utilizados. El contenido de PB de la hierba fresca en la etapa de pastoreo (2.000-2.500 kg de MS por ha) suele estar en un rango de entre 180 y 200 g/kg; el de la hierba

³ EUN: Eficiencia en el Uso del Nitrógeno

ensilada a menudo oscila entre los 160 y 180 g/kg; y el del heno entre 120 y 150 g/kg. Por el contrario, el contenido de PB del maíz ensilado está apenas entre 70 y 80 g/kg. Por consiguiente, las dietas basadas en hierba a menudo contienen un exceso de proteínas, y la magnitud de la alta excreción de N resultante depende, en gran medida, de la proporción de hierba, hierba ensilada y heno de las raciones, así como del contenido proteico de dichos forrajes.

El excedente de proteínas, las excreciones de N resultantes y las pérdidas de NH_3 serán mayores con las raciones de hierba de verano, cuando se pastorea en hierba joven intensamente fertilizada, o en mezclas de hierba y leguminosas. Sin embargo, la orina excretada por los animales en pastoreo normalmente se infiltra en el suelo antes de que pueda haber emisiones significativas de NH_3 , con lo que las emisiones totales de NH_3 por animal son menores en los animales en pastoreo que en los estabulados, cuyos excrementos se recogen, almacenan y aplican al campo (Figura 4).

La reducción de las emisiones de NH_3 que se alcanza al aumentar el tiempo que el ganado pastorea fuera depende del punto de referencia (emisiones de los animales sin pastar), del tiempo de pastoreo y del nivel de N fertilizante del pasto. El potencial para aumentar el pastoreo a menudo está limitado por el tipo de suelo, la topografía, el tamaño y la estructura (distancias) de la explotación, las condiciones climáticas, etc.



Figura 4. En animales en pastoreo es más complicado ajustar los aportes de proteína a las necesidades de los animales, pues la composición del pasto no es constante a lo largo del ciclo vegetativo de la hierba

Hay que tener en cuenta que el pastoreo de los animales puede dar lugar al aumento de otras formas de emisiones de N (p. e., N_2O , NO_3). Sin embargo, dado lo claro y bien cuantificado que está su efecto sobre las emisiones de NH_3 , aumentar el periodo en que los animales pastan se puede considerar una estrategia de categoría 1 para reducir estas emisiones. El potencial de reducción real dependerá de la situación inicial de cada sector animal en casa país. El efecto de cambiar el periodo

de estabulación parcial (p. e., pastoreo solo durante el día) es menos cierto y está clasificado como estrategia de categoría 2. Pasar de la estabulación permanente a un pastoreo parcial durante parte del día es menos efectivo para reducir las emisiones de NH_3 que pasar a un pastoreo completo (24 horas), puesto que las instalaciones y los depósitos permanecen sucios y continúan emitiendo NH_3 . Es de suponer que la gestión del pastoreo (pastoreo en bandas, rotacional, continuo) tiene muy poco efecto adicional sobre las pérdidas de NH_3 y se considera una estrategia de categoría 3.

En general, aumentar la ratio energía/proteína de la dieta usando hierba "más vieja" (mayor AP) y/o suplementando la hierba con alimentos altamente energéticos (p. e., maíz ensilado) es una estrategia de categoría 1. Sin embargo, para los sistemas de producción de rumiantes basados en pastizales, la viabilidad de estas estrategias puede estar limitada, puesto que la hierba más vieja reduce la calidad de la alimentación, en especial cuando las condiciones para cultivar alimentos muy energéticos no son buenas y, por lo tanto, hay que comprarlos. Puede que no se pueda hacer un pleno aprovechamiento de la hierba (en condiciones de producción limitada, p. e., con cuotas lácteas o con restricciones a la carga ganadera). Por esta razón, el mejorar el equilibrio energía/proteínas en aquellas explotaciones que se apoyan en pastizales sin posibilidad de cultivar alimentos ricos en energía, se considera una estrategia de categoría 2.

Se recomienda el uso de sistemas modernos de evaluación de proteínas (p. e., PDI en Francia). En el ganado de leche, el uso de aminoácidos limitantes protegidos del rumen, como la lisina y la metionina, puede ser útil para equilibrar mejor la composición de aminoácidos de las proteínas digeridas en el intestino delgado. Debido a que es necesaria más información detallada sobre el comportamiento de los alimentos en el tracto digestivo, para poder introducir con éxito este método, se considera una estrategia de categoría 2.

Desplazar la excreción de N de la urea de la orina a las proteínas de las heces es también una medida eficaz para disminuir las emisiones de NH_3 . La composición de la dieta debe ser tal que se estimule un cierto grado de fermentación en el intestino grueso, sin que afecte a la fermentación ruminal. Esto desplazará la excreción de N de la orina al estiércol. También se puede estimular la fermentación mediante la introducción de almidón resistente o de fibra fermentable que resista a la fermentación en el rumen. Como en el intestino posterior hay más bacterias acetogénicas que metanogénicas, existe poco riesgo de una pérdida elevada de CH_4 . Es todavía insuficiente el conocimiento de los factores que determinan el desplazamiento del N excretado en la orina a la proteína del estiércol, por lo que este enfoque se considera una estrategia de categoría 3.

El pH de la orina recién excretada oscila entre 5,5 y 8,5, y depende principalmente del contenido de electrolitos de la dieta. Aunque, independientemente del pH inicial, el pH termina por subir hacia valores alcalinos debido a la hidrólisis de la urea, el pH inicial y la capacidad de tampón de la orina son los que determinan la tasa de volatilización de NH_3 de la orina inmediatamente después de la micción. La reducción del pH de la orina de los rumiantes es teóricamente posible. Sin embargo, hay interacciones con el volumen de orina, el rendimiento de los rumiantes y el bienestar de los animales, por lo que se considera una técnica de categoría 3.

Gestión nutricional para la reducción de la producción de Nitrógeno

De forma similar, la reducción del pH de las heces es teóricamente posible, pero esto podría derivar fácilmente a una fermentación ruminal alterada, y, por lo tanto, no es recomendable. Debido a los posibles efectos secundarios, se considera una técnica de categoría 3. La consistencia de las heces podría utilizarse para controlar que la fermentación ruminal sea la adecuada.

Es posible controlar el estado proteico con el balance (calculado) de proteínas degradables en el rumen y/o también se puede usar el N ureico en la leche (NUL). Preferiblemente, el NUL no debería sobrepasar los 10 miligramos por decilitro (mg/dl) (y la urea en leche estar por debajo de 22 mg/dl). Sin embargo, todavía se sabe poco sobre los factores responsables de las variaciones en el NUL, por lo que este enfoque se considera una estrategia de categoría 2.

También hay opciones de gestión del rebaño para reducir las emisiones de NH_3 . Primera, aumentar el potencial genético de las vacas (más leche por vaca). Así, se obtendría una EUN más alta a nivel del rebaño, debido a la menor proporción de necesidades nitrogenadas de mantenimiento. Con una misma producción anual total de leche por país, el número de vacas lecheras y de animales de reposición podría disminuir en consecuencia. Segunda, aumentar el número de lactaciones por vaca. Así, se reduciría el número de animales de reposición. Tercera, optimizar el número real de animales de reposición por vaca lechera. Estas tres opciones constituyen un enfoque a largo plazo, pero así y todo se consideran técnicas de categoría 1 para reducir las emisiones totales de NH_3 .

Además, estas estrategias pueden tener implicaciones positivas en el bienestar de los animales y probablemente también contribuyan a disminuir las emisiones de CH_4 de la fermentación entérica, sobre todo cuando se expresa en términos de emisiones por unidad de leche producida.



El acorralamiento rotacional de rumiantes en las tierras de cultivo puede reducir las emisiones de NH_3 y aumentar la recuperación del N del estiércol animal en comparación con la práctica convencional de recolección del estiércol de establo y su aplicación a la tierra. Los resultados generales han demostrado que el ganado lechero acorralado en tierras

de cultivo mejora la captura del N de la orina, reduce la pérdida de NH_3 y favorece el reciclaje del N del estiércol a través de los cultivos. Esta estrategia se considera de categoría 2.

Varias estrategias de alimentación son capaces de reducir la excreción de N urinario del ganado lechero estabulado. Un ajuste preciso de las dietas a las necesidades nutricionales de los animales, dar solo las proteínas suficientes para satisfacer las necesidades de proteínas metabolizables de las vacas, reduciendo el tamaño de partícula para aumentar la digestión ruminal del almidón del grano, y aumentar la formación de proteínas microbianas (mientras no baje el pH ruminal) optimiza la síntesis de proteína microbiana, maximiza la conversión del N de los alimentos en leche y minimiza la excreción de N urinario. Estas estrategias se consideran de categoría 2.

Resumen

El objetivo del racionamiento proteico de los rumiantes debe ser cubrir las necesidades en PDR y PNR para una producción óptima, pero con la cantidad mínima necesaria de cada fracción.

Es fundamental asegurar un equilibrio en la dieta entre el aporte de PDR y energía para un óptimo crecimiento microbiano y que el aporte de PDI no exceda las necesidades de los animales.

Para ello es esencial no considerar únicamente el nivel de proteína en la dieta, ya que éste puede ser adecuado o no en función de la energía disponible para los microorganismos ruminales.

Analizar la concentración de urea en leche y monitorizar su evolución permite diagnosticar posibles desequilibrios en la relación proteína-energía de la dieta e identificar dietas con exceso de proteína y, por tanto, susceptibles de aumentar el potencial contaminante de las deyecciones.

La alimentación animal baja en proteínas es más difícil de aplicar a animales en pastoreo. Esto es así porque en el pastoreo la hierba suele presentar un estado temprano de crecimiento fisiológico y, por lo tanto, es alta en proteínas degradables; y además, los pastizales con especies leguminosas (p. e., trébol y alfalfa) tienen un contenido proteico relativamente alto. Existen estrategias para bajar el contenido proteico de la hierba, si bien no siempre pueden ser aplicadas.

Referencias bibliográficas

- Boletín Oficial del Estado. 2022. Real Decreto 1053/2022, de 27 de diciembre, por el que se establecen normas básicas de ordenación de las granjas bovinas.
- Calvet, S. 2015. Contaminación atmosférica. Mitigación y adaptación a través de la nutrición animal. *NutriNews*
- Carro, M.D. 2021. Metabolismo de los compuestos nitrogenados en los rumiantes. *Nutrinews*
- Lainez, M. y col. 2022. Sostenibilidad en la Producción Ganadera. *Cajamar Caja Rural*
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 2014. Documento orientativo sobre la prevención y reducción de las emisiones de amoníaco de origen agropecuario.
- Rodríguez, E. 2021. Mejora de la eficiencia alimentaria en la producción de leche, una historia real. *RumiNews*.
- Yáñez-Ruiz, D.R., y Belanche, A. 2019. Factores nutricionales que influyen en la microbiota en rumiantes. *RumiNews*.