

Sostenibilidad en las granjas de vacuno de leche (3)

Gestión nutricional para la reducción de la producción de metano

Introducción

La ganadería es la responsable de un 14,5 % de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (GEI) de origen antropogénico, de los cuales el metano (CH_4), con el 44 %, es el mayoritario del sector. La ganadería es, además, una importante fuente de emisión de amoníaco (NH_3), asociada principalmente a los purines y al estiércol de los animales. Los rumiantes son los principales responsables de la producción de metano de origen entérico, así como la gestión de los purines líquidos del ganado bovino y porcino también suponen un importante origen de este gas.

La bibliografía indica que el impacto ambiental de la ganadería está principalmente asociado a aspectos relacionados con la alimentación animal como son:

- la producción de materias primas como los cereales y la soja para la fabricación de piensos; y
- el aprovechamiento digestivo de los alimentos, que está muy relacionado con la fermentación entérica de rumiantes y el volumen y manejo de las deyecciones en rumiantes y monogástricos.

Por un lado, los sistemas empleados para el cultivo y la producción de las distintas materias generan lo que denominamos emisiones indirectas y, por otro, la composición de los piensos es capaz de modificar el comportamiento digestivo del animal, incluyendo factores como el aprovechamiento de los nutrientes (digestibilidad) y la capacidad de fermentación de los diferentes ingredientes a nivel digestivo, que sumado a la fermentación entérica y

la de purines/estiércoles generan las denominadas emisiones directas.

En general, para todas las especies, la alimentación constituye la principal vía de entrada de carbono (C) y nitrógeno (N) en los sistemas de producción animal y, según el tipo de dieta, una proporción más o menos importante de los nutrientes no se aprovechará y se eliminará en las deyecciones ganaderas, modificando la composición del purín/estiércol.

En cuanto al impacto de la producción de alimentos para el ganado, de la contribución a las emisiones de la producción de leche, el CH_4 de la fermentación entérica es la principal fuente de emisión de GEI, aunque la producción de piensos representa aproximadamente el 36 % de dichas emisiones, con diferencias entre las regiones geográficas del mundo.

En este trabajo abordaremos las estrategias nutricionales encaminadas a la reducción de la producción de metano de origen digestivo, dejando para un posterior artículo las estrategias ligadas a la alimentación dirigidas a la reducción de la excreción de nitrógeno por parte de las vacas lecheras. Y en el futuro abordaremos las estrategias de gestión de purines y estiércoles para la reducción de emisiones.

Contexto legislativo

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

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

energía, el Real Decreto (RD) citado **SÍ** 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).

Ciclo biogénico del Carbono

Es preciso comentar este aspecto para restar alarmismo a la generación y emisión de metano por parte de los animales rumiantes. El metano forma parte del ciclo biogénico del carbono, que se centra en la capacidad de las plantas para absorber y secuestrar carbono.

Las plantas tienen la capacidad única, mediante la fotosíntesis, de captar el dióxido de carbono CO_2 de la atmósfera y depositar ese carbono en las hojas, raíces y tallos de las plantas, a la vez que se libera oxígeno a la atmósfera.

Cuando las plantas realizan la fotosíntesis, el carbono se convierte principalmente en celulosa, un carbohidrato que es uno de los componentes básicos de las plantas. Esta celulosa es el compuesto orgánico más abundante en la naturaleza, presente en pastos, arbustos, cultivos, árboles, etc. Su contenido es especialmente elevado en pastos y arbustos de tierras marginales, lugares donde los cereales y otros cultivos comestibles para la especie humana no pueden crecer o lo hacen con muy bajos rendimientos. Los rumiantes son los únicos animales que pueden digerir este material vegetal; obtienen energía, reciclan la celulosa y, por tanto, también el carbono y sintetizan leche y carne (alimentos para el hombre) a partir de este material no utilizable por la especie humana.

Como consecuencia del consumo de celulosa, el ganado elimina carbono en forma de metano y, por lo tanto, devuelve a la atmósfera el carbono secuestrado por las plantas que previamente consumió.

Después de, aproximadamente, unos 10 años, ese metano se descompone y se vuelve a convertir en CO_2 y agua. Este CO_2 es nuevamente captado por las plantas mediante la fotosíntesis y fijan ese carbono en celulosa. El ganado vuelve a consumir las plantas y el ciclo comienza de nuevo.

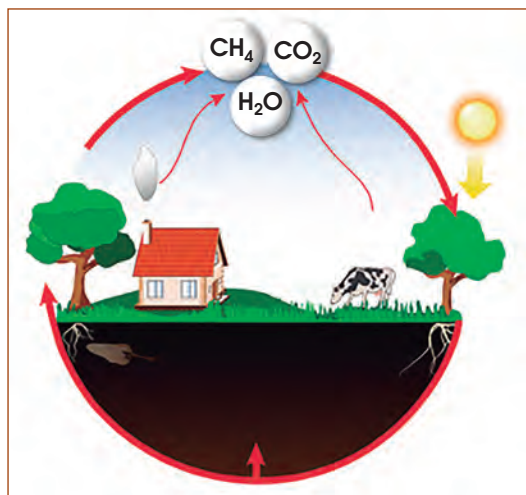
En la Figura 1 se esquematiza el ciclo biogénico del carbono:

1. El C procedente del CO_2 atmosférico se captura vía fotosíntesis y se almacena en las plantas en forma de celulosa y también se deposita en el suelo.
2. El C que contienen las plantas es ingerido con ellas por los animales rumiantes, que liberan CH_4

vía eructo, ventosidades y también lo libera el estiércol almacenado en el suelo y estercoleros, o los purines almacenados en la fosa.

3. Después de 10 años, el CH_4 se oxida y se convierte nuevamente en CO_2 , que es nuevamente captado por las plantas mediante la fotosíntesis.
4. Y el ciclo continúa.

Figura 1. Ciclo biogénico del carbono. (Fernández, C. 2022)



Por tanto, el metano emitido por el ganado no agrega carbono nuevo a la atmósfera, pues tras 10 años ese carbono es reutilizado por las plantas para la síntesis de carbohidratos. Con una cabaña ganadera estable (ni crecimiento ni disminución), la cantidad de metano producido por los animales rumiantes en realidad se equilibra con la descomposición-oxidación del metano presente en la atmósfera, puesto que la velocidad a la que el CH_4 es producido por los animales es igual a la velocidad a la que se descompone en CO_2 , que es posteriormente fijado por las plantas durante la fotosíntesis.

El pastoreo del ganado herbívoro ayuda a eliminar los GEI del aire al estimular un mayor crecimiento de las plantas, acelerando la absorción por éstas del CO_2 atmosférico.

Estrategias nutricionales

Puesto que el metano de origen digestivo producido por los animales constituye un pérdida de energía para el animal, la emisión de este gas ha sido ampliamente estudiada tanto por los nutricionistas como por los especialistas en medio ambiente.

Las principales formas de reducir la producción de metano entérico de los rumiantes son:

- Técnicas nutricionales.
- Modificaciones del rumen.
- Mejora productiva a través del manejo.
- Selección genética.

A nivel práctico, las estrategias nutricionales permiten reducir las emisiones de metano en un porcentaje no superior al 15 %, si bien pueden alcanzarse mejores resultados de forma conjunta con otras técnicas.

La selección genética y la modificación del rumen parecen ser técnicas más prometedoras en cuanto a esta reducción.

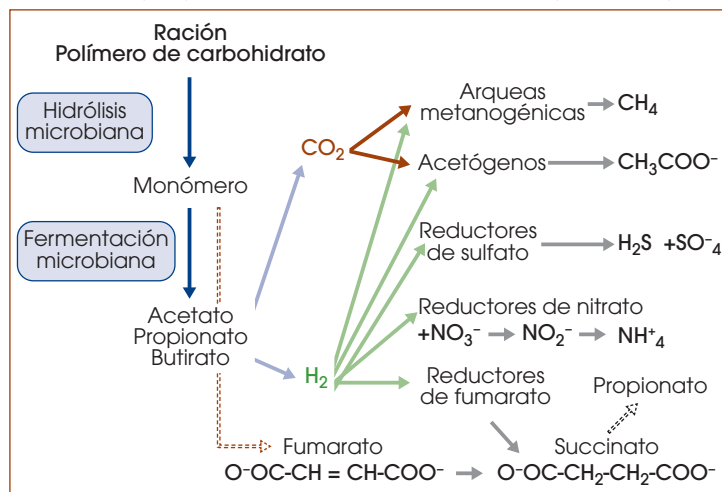
Aunque ya hablaremos de ello en posteriores trabajos en esta revista, el metano que se emite durante el almacenamiento y aplicación de los purines y estiércoles responde en gran medida a cuestiones de manejo como el grado de aireación

y el tiempo de almacenamiento, pero también a la propia cantidad y composición del purín o estiércol excretados. Por ejemplo, el mayor contenido en grasa de los purines está asociado a una mayor producción de metano, al contrario de lo que sucede en la fermentación entérica, como veremos después.

Por tanto, la alimentación tiene un papel indirecto, ya que modificaciones de la dieta permiten modificar la cantidad y composición de las deyecciones y, con ello, el nivel de emisiones.

El CH_4 se produce en los rumiantes como producto final de los procesos de fermentación microbiana anaerobia durante la digestión de los componentes de la dieta, tras la degradación de los hidratos de carbono (p. ej., celulosa, hemicelulosa y pectina). En estos procesos un grupo de microorganismos (arqueas metanogénicas) sintetizan el CH_4 para que el proceso de fermentación anaerobia pueda continuar satisfactoriamente (Figura 2). La producción de CH_4 depende fundamentalmente del nivel de ingesta, de la composición/estructura física y de la digestibilidad aparente de la energía de la dieta. A mayor digestibilidad, menor energía se pierde en forma de CH_4 .

Figura 2. Rutas de fermentación microbiana y reducción de H_2 en el rumen. (Haque 2018; tomado de Fernández, D. y col., 2023)



La formación de acetato y de butirato libera H^+ en el rumen, disponible por tanto para la formación de metano; mientras que la producción de propiónico requiere de esos iones hidrógeno para su síntesis, por lo que las estrategias nutricionales destinadas a la producción de propiónico y a reducir la formación de acetato y butirato serán efectivas para reducir las emisiones de CH_4 .

No obstante, la producción de metano debido a la fermentación ruminal es muy variable según las características del animal y de la dieta consumida, reduciéndose de forma significativa en los últimos años debido a las mejoras alcanzadas en la eficiencia en la producción y rendimiento animal, estando directamente relacionada con el nivel de productividad (extensivo, intensivo o mixto).

Para estimar la producción de metano se utilizan diferentes modelos. Uno de ellos es el factor de conversión de metano (Y_m), que se expresa como el % de la Energía bruta ingerida que se perderá en forma de metano. Otros pueden ser la ingesta diaria de materia seca (MS) o el nivel de forraje utilizado en las dietas. Es conveniente ajustar estos modelos a nivel regional para mejorar la precisión de las estimaciones realizadas.

Para realizar comparaciones válidas, se suele preferir utilizar el indicador de intensidad, que aporta el valor de los gramos de metano que emite a la atmósfera un animal por cada kilo de leche (o de carne) producido.

En relación al manejo alimentario se pueden distinguir dos tipos de actuaciones principales para reducir las emisiones de CH entérico:

- Las encaminadas a **mejorar la digestibilidad de la dieta**. Se puede considerar un rango amplio de posibilidades. La proporción de energía bruta de la dieta que se pierde en forma de CH_4 disminuye del 7 % al 3,8 % cuando se incrementa la digestibilidad de la dieta del 55 % al 75 %. Esta mejora de la digestibilidad puede alcanzarse de diversas maneras; por ejemplo, una opción es incrementar la proporción de concentrado en la dieta, ya que normalmente los ingredientes incluidos en el concentrado son más digestibles. Sin embargo, conviene considerar, además del incremento del coste, que la reducción de las emisiones de CH_4 no compensan aquellas que derivan de la producción y el transporte de los ingredientes del concentrado, sobre todo aquellos que llevan consigo un aumento de la deforestación. Por otra parte, no hay que olvidar que un exceso de concentrados conlleva riesgos de acidosis ruminal.

La medida que ofrece mayor margen de reducción en las emisiones es la mejora de la calidad del forraje (reducción de los niveles de Fibra Neutra Detergente), ya sea mediante el uso de aquellos más digestibles o la optimización de la fecha de recolección en relación a su maduración, o bien los procesos de henificado y ensilado. Los forrajes de mayor calidad se digieren más rápido y necesitan un tiempo de retención en rumen menor, lo que conlleva menor producción de CH_4 . Por ejemplo, la diferencia entre emplear un heno de hierba de calidad excelente o de quinta, puede suponer un incremento de las emisiones derivadas de la fermentación entérica de hasta el 15 %.

- Las **modificaciones de la microbiota ruminal**. Existen numerosos trabajos que muestran el potencial de diversas sustancias y compuestos que específicamente inhiben la actividad de las arqueas metanogénicas. Sin embargo, la aplicación práctica de muchos no está totalmente resuelta.

Lípidos

El empleo de lípidos ricos en ácidos grasos poliinsaturados es una de las opciones más factibles. Los ácidos grasos resultantes de la hidrólisis de estas grasas inhiben la metanogénesis al reemplazar la materia orgánica fermentable en el rumen a través de la biohidrogenación de estos ácidos grasos insaturados, ejerciendo así una importante actividad inhibitoria frente a ciertas bacterias (metanogénicas) y protozoos del rumen, por lo que pueden ser empleados en dosis adecuadas para reducir la producción de CH_4 , pero sin comprometer la ingesta del animal y la digestibilidad de la dieta.

La biohidrogenación tiene un efecto cuantitativamente pequeño en la captación de H^+ , aunque sería potencialmente mayor si se inhibe la metanogénesis.

Sin embargo, la suplementación con lípidos (no más del 4 % sobre la MS ingerida) es costosa y puede disminuir la digestibilidad de la fibra y la ingestión de MS. Además, inhiben la fermentación ruminal y reducen la síntesis de grasa de la leche.

Por otra parte, un mayor contenido de lípidos en las deyecciones incrementa la formación de metano procedente del estercolero o de las fosas de purín.

Concentrados

Las dietas basadas en concentrados están asociadas a una menor producción de metano, ya que la fermentación del almidón genera más propionato que la celulosa del forraje y, por lo tanto, compite por el H^+ con la metanogénesis. Además, al tener una tasa de digestión y fermentación más rápida que la celulosa, el propionato "llega antes" a los iones hidrógeno que el acetato y butirato generados en la fermentación de la celulosa.

Sin embargo, la ingestión de altas cantidades de almidón puede disminuir el pH ruminal, lo que inhibe el crecimiento de bacterias metanógenas, pero también reduce la digestibilidad de la fibra y aumenta el riesgo de acidosis. Por tanto, el potencial del aumento del nivel de concentrados en la dieta como estrategia de mitigación de CH_4 es baja, ya que la posibilidad de aumentar la inclusión de concentrados en la ración es limitada.

Además, las dietas a base de cereales ignoran la importancia de los rumiantes en la conversión de alimentos fibrosos, no aptos para el consumo humano, en fuentes de proteínas de alta calidad como leche o carne.

Finalmente, los cereales empleados en alimentación animal sí compiten con la alimentación humana, y sería necesaria una mayor superficie de tierra para producir este concentrado adicional, así como generar una mayor huella de carbono en su cultivo, recolección y transporte hasta las granjas.



Forrajes

En el consumo de forrajes también se requieren estrategias para mitigar la producción de CH_4 , sobre todo si tenemos en cuenta que el pastoreo es responsable del 75 % de las emisiones mundiales de metano procedente de los rumiantes.

Algunas de las emisiones de metano de los rumiantes en pastoreo pueden compensarse mejorando las reservas de carbono en el suelo, ya que el pasto elimina CO_2 de la atmósfera, como se indicó anteriormente.

Por otra parte, los sistemas de pastoreo bien gestionados pueden reducir la necesidad de usar fertilizantes minerales de síntesis, a través de un uso más eficaz del estiércol y del uso de plantas fijadoras de nitrógeno, lo que contribuiría, además, a reducir las emisiones de N_2O .

La mitigación del CH_4 en las dietas a base de forrajes se pueden lograr, hasta cierto punto, mejorando la calidad y disponibilidad del forraje mediante:

- El manejo del pastoreo.
- La recolección y uso de especies forrajeras de alta digestibilidad.
- El uso de plantas ricas en taninos condensados.
- El almacenamiento óptimo de forrajes para conservar los nutrientes digestibles.

El uso de forrajes de alta calidad redundará en una mayor proporción de carbohidratos no fibrosos respecto a la FND que, a su vez, estará menos lignificada, promoviendo la degradación de la materia orgánica en el rumen.

Aunque el consumo de forrajes incrementa la disponibilidad de H^+ para la metanogénesis, los forrajes de alta calidad también favorecen una mayor ingesta de MS, lo que se asocia con una mayor productividad y tasa de paso a través del rumen, lo que se traduce en una disminución de la producción de metano por gramo de MS ingerida.

Inhibidores químicos

El enfoque más habitual ha sido el uso de compuestos inhibidores de la metanogénesis. Estos compuestos deben reducir las emisiones sin provocar efectos tóxicos en los animales, los seres humanos y el medio ambiente.

Una opción que está despertando gran interés es el empleo de compuestos aditivos que, incluidos en la dieta en bajas concentraciones, ejerzan una acción moduladora de la microbiota y que finalmente resulte en una menor producción de CH_4 . Aquí, se pueden distinguir productos que inhiben directamente la actividad de las arqueas metanogénicas como 3-Nitrooxypropanol (3-NOP). Con este compuesto se ha observado una disminución constante en la producción de metano (20-40 %) según el tipo de animal, la composición de la dieta, dosis y método de suplementación. No se han observado efectos negativos sobre la digestibilidad de la dieta, manteniéndose la reducción de la producción de metano durante varios meses en vacas lecheras en lactación.

Algún otro estudio ha sugerido que se puede producir una adaptación a los inhibidores a lo largo del tiempo, por lo que es un área de investigación que debe ser desarrollada.

También se han ensayado *in vivo* inhibidores como la tricloroacetamida, hemiacetal de cloral y almidón, hidrato de cloral, 9,10-antraquinona o nitroetano. La mayoría de ellos se pueden clasificar como análogos de CH_4 o análogos de metil-coenzima M, un cofactor implicado en la transferencia de metilo durante la metanogénesis.

Sin embargo, el empleo de estos compuestos a nivel práctico aún no es posible porque no están disponibles comercialmente. Otra cuestión importante a considerar es que las reducciones de la producción de CH_4 que potencialmente se obtienen con el empleo de aditivos no van acompañadas de mejoras en la productividad o eficiencia digestiva del animal, lo que sin duda desincentiva el uso por parte del productor.

Fitocompuestos

Desde el año 2006, la UE ha prohibido el uso de antibióticos como promotores del crecimiento en la actividad ganadera para reducir los riesgos asociados a la aparición de resistencias microbianas a antibióticos. Esto ha supuesto el desarrollo de alternativas a base de extractos de plantas o aditivos fito-

génicos, cuyo uso se ha extendido de manera notable en la alimentación de ruminantes. Esta categoría de aditivos incluye una gran variedad de compuestos como flavonoides, terpenos, taninos, saponinas, etc. que ejercen acciones muy diversas sobre la fermentación ruminal. En algunos casos, los compuestos inhiben la acción de protozoos y algunas arqueas, como es el caso de los taninos y saponinas. El empleo más extendido es el de mezclas de aceites esenciales de plantas que ejercen una acción moduladora de la fermentación ruminal, que en ocasiones deriva en una mayor producción de propionato en el rumen, lo que resulta en menor H^+ disponible para la producción de CH_4 . En estos casos se consiguen reducciones de alrededor del 10-15 % de la producción de CH_4 y un incremento en la productividad del animal. Sin embargo, es importante señalar que el efecto de inhibición de la metanogénesis a partir de estos aditivos no es equivalente para todo tipo de dietas.

Numerosos aceites esenciales (por ejemplo, derivados del ajo, tomillo, eucalipto, orégano, canela y ruibarbo) han demostrado que disminuyen la producción de CH_4 *in vitro*, pero muy pocos han demostrado tener efectos antimetanógenos a largo plazo *in vivo*.

El aceite de ajo, que contiene los compuestos organosulfurados aliina, dialilsulfuros y alicina, parece ser uno de los fitocompuestos más eficaces para la disminución de CH_4 *in vitro*; por lo tanto, este efecto debería evaluarse en futuros estudios con animales.

Los taninos condensados e hidrolizables también han demostrado ser prometedores para la mitigación del CH_4 . Los taninos son compuestos polifenólicos que se encuentran en diversas plantas, con estructura química compleja y diversa y con afinidad para unirse a proteínas y otros compuestos.

La respuesta del CH_4 a la alimentación de taninos es muy variable dependiendo de la fuente, tipo y peso molecular de los taninos, y la comunidad metanogénica presente en el animal.

Sin embargo, una limitación importante de los taninos es que a bajas concentraciones (<20 g/kg materia seca ingerida), típico de muchos forrajes y alimentos suplementarios, las respuestas hacia las emisiones de CH_4 son muy variables.

Además, parte de la disminución de CH_4 debido a los taninos puede ser causado por una disminución concomitante en la materia seca ingerida y digestibilidad de los nutrientes. El uso de taninos como estrategia potencial de mitigación del CH_4 requiere una mayor investigación para identificar los tipos y dosis de taninos que reducen el metano sin efectos adversos sobre el rendimiento animal.

El empleo de forrajes que contienen taninos es particularmente relevante para el pastoreo del ganado rumiante, ya que muchas leguminosas forrajeras contienen taninos. Se ha demostrado que los taninos ayudan en el control de parásitos gastrointestinales y, además, pueden mejorar la utilización de nitrógeno.

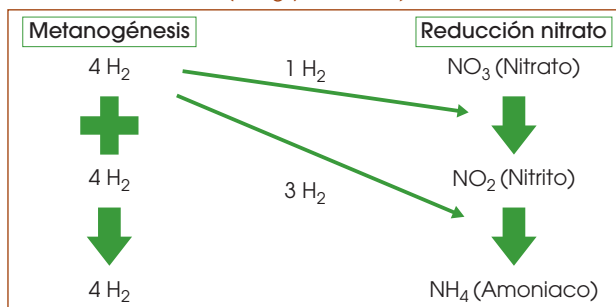
Otra estrategia es redirigir la producción de metano (metanogénesis) hacia productos finales de la fermentación para que puedan ser utilizados por el animal. Esto consigue reducir la producción de CH_4 y, potencialmente, podría beneficiar la productividad del animal.

Sumideros alternativos de H^+

El nitrato es un aceptor de iones H^+ en el rumen, a expensas de la metanogénesis, durante su reducción a nitrito y, posteriormente, a amoníaco (Figura

3). Además, tiene efectos tóxicos directos sobre las bacterias metanógenas a través de su reducción intermedia a nitrito. Puede ser especialmente interesante en las dietas bajas en proteína, ya que puede aportar el N no proteico a los microorganismos del rumen. Se ha estimado una reducción de 28,5 g de CH_4 por cada 100 g de nitrato. No obstante, la adición de nitrato a una dieta con un contenido suficiente de N resultaría en un aumento del N emitido al medio ambiente.

Figura 3. Uso de nitrato para la captación de iones H^+ y consiguiente reducción de la formación de CH_4 . (Feng y col. 2020)



En teoría, la reducción de 1 mol (62 g) de nitrato a amoníaco en el rumen debería reducir la producción de CH_4 también en un mol (16 g). Sin embargo, este potencial no se alcanza nunca en los estudios realizados porque el nitrato y el nitrito pueden ser absorbidos o expulsados del rumen, aumentando el riesgo de toxicidad. Además, el nitrito puede ser metabolizado hasta dar N_2O , otro potente GEI.

Los suplementos de nitrato no están autorizados para el ganado en países como EE. UU. o Canadá por sus posibles riesgos para la seguridad pública, por la presencia de residuos de nitrato en los tejidos y en leche, aunque a unos niveles tan bajos que no se consideran perjudiciales, pero ...

Modificación de la microbiota ruminal

La microbiota ruminal constituye una comunidad microbiana diversa y altamente específica en relación a sus funciones metabólicas, que son esenciales para el desarrollo, salud y nutrición del rumiante.

Los principales microorganismos del rumen se clasifican en bacterias, protozoos, arqueas metanogénicas, hongos y virus.

La microbiota ruminal es dinámica y puede verse afectada por diversos factores, tales como la dieta, la especie o la edad del animal, la zona geográfica en la que se asienta una determinada explotación ganadera o la estación del año.

La importancia de la composición de la microbiota ruminal viene determinada por su relación directa con alteraciones metabólicas (como acidosis) y con la eficiencia productiva del animal.

Tras la prohibición en Europa del uso de los antibióticos en la dieta del ganado como promotores del crecimiento, se ha estimulado la búsqueda de aditivos que modulen la actividad ruminal y puedan emplearse como sustitutos de los antibióticos.

En la Figura 4 se incluyen los factores principales que ejercen los compuestos más conocidos sobre la microbiota y la fermentación ruminal. El animal adulto muestra un ecosistema microbiano ruminal que presenta resistencia a ser alterado. Sin embargo, el animal pre-rumiante ofrece una oportunidad de intervención durante el primer proceso de colonización del rumen tras el nacimiento.

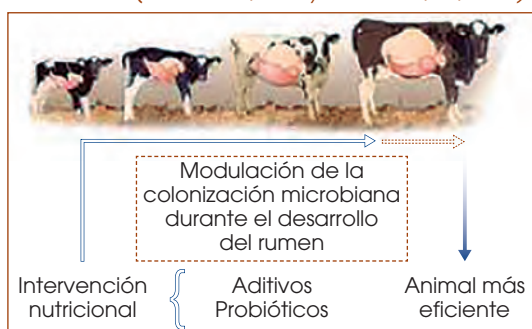
Figura 4. Compuestos moduladores de la microbiota y sus efecto sobre la misma y la fermentación ruminal. (Yañez-Ruiz, D.R. y Belanche, A., 2019)

Compuesto	Mecanismo de acción	Efecto
Aceites esenciales	Desestabilización de membranas microbianas e intercambios iónicos Inhibición de arqueas metanogénicas (flavonoides)	Reducción de la desaminación en el rumen y mejora de la síntesis de proteína microbiana Reducción de la producción de metano
Taninos	Formación de complejos con proteínas que impiden su degradación	Incremento del flujo de proteína al rumen. Reducción de la producción de metano
Saponinas	Reducción de la población de protozoos	Incremento de la síntesis de proteína microbiana
Organosulfurados	Alteración de la síntesis de lípidos de arqueas metanogénicas	Reducción de la producción de metano
3-nitrooxypropanol	Inhibición de la actividad de la methyl coenzima reductasa	Reducción de la producción de metano
Levaduras tipo <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Incremento de la actividad de bacterias consumidoras de lactato	Amortiguación bajada de pH ruminal, incremento degradación de la fibra

El rumen es colonizado en la primera semana de vida, mucho antes de que comience la ingesta de alimento sólido, y alcanza concentraciones similares a las del rumen adulto tras el primera mes de vida.

Esta colonización tan temprana representa una oportunidad de intervención en cuanto a la ocupación de distintos nichos ecológicos y la tolerancia inmunitaria del animal a los microorganismos que colonizan, asumiendo que hasta que el ecosistema se coloniza y estabiliza hay una ventana de tiempo con una alta PLASTICIDAD que permita cierta manipulación y, sobre todo, que los cambios producidos permanezcan en el animal adulto (Figura 5).

Figura 5. Concepto de programación microbiana del rumen. (Yañez-Ruiz, D.R. y Belanche, A., 2019)



El patrón de colonización microbiana es muy distinto entre animales criados en lactancia **natural** (con la madre) y **artificial** (con lactoreemplazante). Estas diferencias se deben fundamentalmente a la presencia de un animal adulto que actúa como fuente de inóculo microbiano (la madre) o, en contraposición, la ausencia de contacto con animales adultos en el caso de aislamiento tras el nacimiento.

Así, se ha descrito recientemente el potencial del empleo de aditivos inhibidores de la actividad de las arqueas metanogénicas (como bromoclorometano) durante el pre y post-destete y el efecto beneficioso que tiene en la ganancia media diaria de crías de caprino. Esto se debe a que parte de la energía que no se pierde como metano se redirige a la síntesis de propionato que es energéticamente más eficiente para el animal.

También se ha estudiado el uso de cultivos vivos de levaduras hasta los 3 meses de edad para reducir la incidencia de acidosis cuando los animales alcanzan la edad adulta y su etapa productiva y sean sometidos a dietas acidóticas

Los trabajos de administración de levaduras en animales jóvenes promueve una mejor respuesta del animal adulto por el recuerdo que ya existe en

el rumen al haber sido administrado en etapas anteriores.

También se han realizado estudios (Newbold, 2011) utilizando levadura viva probiótica, observándose que el suplemento de 5 g/vaca y día de esta levadura suponía aumentar significativamente la cantidad de bacterias fibrolíticas presentes en el rumen, por lo que la eficiencia alimentaria fue también mayor que en las vacas que no consumieron este suplemento.

La segunda observación en este trabajo es que cuanto más elevada es la dosis de levadura viva, el efecto en el rumen es mayor, puesto que al aumentar la presencia de bacterias fibrolíticas aumenta la digestibilidad de la fibra. Esto supone también una mejora de la salud general del rumen al disminuir el riesgo de acidosis. Como consecuencia, al medir la FND y la FAD de la dieta se observa una mejora de la digestibilidad de la fibra en comparación con el grupo control y con el suplementado con bicarbonato de sodio.

De forma práctica, en la granja es posible observar el aumento en la digestibilidad de la dieta muestreando las heces, observándose una disminución de la cantidad de partículas de fibra de un tamaño superior a 5 mm (Figura 6).

Figura 6. Cantidad de partículas de fibra acumuladas en los tamices suplementando con levadura viva probiótica (izquierda) vs control (derecha)



También se ha observado que una reducción del 10 % en la cantidad de partículas de fibra de más de 5 mm supone un aumento en la producción de leche en torno a 0,87 kg/vaca y día.

Resumen

En el campo de la alimentación animal existe un amplio rango de medidas que se pueden implantar para reducir la huella ambiental de la ganadería y que cubren aspectos tanto del racionamiento diario en la granja (p. ej., mejora de la calidad del forraje, empleo de aditivos alimentarios) como de la elección de los ingredientes y el empleo de subproductos de la industria agroalimentaria.

La bibliografía de este trabajo se puede solicitarla en conafe@conafe.com - Ref. Bibliografía