

## COMO REDUCIR LA PRODUCCIÓN DE METANO

Resumen del artículo: DOREAU M., MARTIN C., EUGÈNE M., POPOVA M., MORGAVI D.P., 2011. Leviers d'action pour réduire la production de méthane entérique par les ruminants. In: Gaz à effet de serre en élevage bovin: le méthane. Doreau M., Baumont R., Perez J.M. (Eds). Dossier, INRA Prod. Anim. 24, 461-474.

### Índice

Introducción .....	2
Estrategias para reducir la producción de metano .....	2
Composición de la ración .....	3
Proporción de concentrados y naturaleza de los glúcidos .....	3
Naturaleza del forraje.....	4
Aportaciones de lípidos .....	5
Plantas específicas y aceites esenciales .....	7
Plantas ricas en taninos .....	7
Plantas ricas en saponinas.....	8
Los aceites esenciales y otros extractos de plantas .....	8
Aditivos y biotecnologías.....	9
Adición de probióticos.....	9
Antibióticos ionóforos .....	10
Ácidos orgánicos.....	10
Sulfatos y nitratos.....	11
Efecto del tipo de animal.....	11
Nivel de producción.....	11
Efectos genéticos.....	12
Conclusión .....	12

## INTRODUCCIÓN

Las emisiones por parte de los animales de **gases de efecto invernadero**, responsables del calentamiento global sigue siendo controvertida (método de cálculo, área geográfica). Hay muchas recomendaciones hechas por organismos internacionales (FAO, IPCC, etc.) para reducirlas. En el caso de los rumiantes, las emisiones de gases de efecto invernadero se expresan en equivalente CO<sub>2</sub> (basado en el poder de calentamiento del propio CO<sub>2</sub>, del óxido de nitrógeno y del metano. El metano representa cerca de la mitad de las emisiones.

Para reducir las emisiones en rumiantes: investigaciones en aditivos alimentarios, pruebas in vitro (pocas in vivo), conclusiones precipitadas. Las pruebas a largo plazo son muy poco frecuentes. Este artículo está centrado en los resultados obtenidos in vivo.

La reducción de la producción de metano se puede medir por kg de materia seca ingerida (esto evalúa el impacto de una práctica en los procesos digestivos), o por kg de leche o de carne (esto integra la eficiencia de la producción). Además, las estrategias para reducir las emisiones de metano a través de la alimentación pueden ser, en algunos casos, eficaces sólo en el corto plazo, debido a que el ecosistema microbiano ruminal tiene un equilibrio dinámico (todas las poblaciones microbianas están ligadas entre sí, equilibrios en un sentido u otro) y, por tanto, la reducción en la producción de metano no es permanente. Las mediciones de la producción de metano se realizan, generalmente, después de 2-4 semanas de aplicación de los tratamientos estudiados, y habría que confirmarlo a largo plazo, meses más tarde.

Finalmente, la aceptabilidad por parte del consumidor de las técnicas para reducir la producción de metano puede ser contradictoria (aditivos no autorizados, efectos sobre la salud animal, sobre el consumidor).

## ESTRATEGIAS PARA REDUCIR LA PRODUCCIÓN DE METANO

El metano se produce en el rumen por arqueobacterias (*methanogenic Archaea*) a partir del hidrógeno formado en la fermentación de carbohidratos. La ruta bioquímica del acetato produce hidrógeno, mientras que la del propionato consume, lo que explica la relación positiva entre la producción de metano y la relación acetato/propionato en el rumen. H es, por tanto, un elemento limitante en la producción de metano. Habría, por tanto, o bien **reducir la producción neta de H** o **reorientar otras rutas metabólicas** potencialmente beneficiosas para el animal.

- **Reducir la producción neta de H**

Suprimiendo parcial o totalmente los protozoos.

Tamaño de la población de los protozoos ↔ emisiones de metano

Los protozoos son grandes productores de hidrógeno, ya que favorecen la producción de butirato en la mezcla de ácidos grasos volátiles (AGV). Los protozoos se pueden reducir con dietas ricas en cereales, y, también, por el efecto tóxico de algunos compuestos: AG de cadena

media (láurico y mirístico), o AG poliinsaturados (linoleico y linolénico), o con compuestos secundarios de plantas (saponinas, [www.floracatalana.net/lletes/plantes-amb-saponines](http://www.floracatalana.net/lletes/plantes-amb-saponines)).

Consecuencias de la eliminación parcial o total de la población protozoos: a) la población bacteriana se incrementa (protozoos son depredadores), b) la biomasa microbiana desempeña un papel de "pozos de hidrógeno"  $\Rightarrow \downarrow$  H para la para la metanogénesis.

Los perfiles de AGV son más pobres en butirato y más ricos en acetato o propionato. Sin embargo, la reducción de la población de protozoos  $\Rightarrow \downarrow$  digestibilidad de las paredes,  $\uparrow$  flujo proteínas rumen hacia abajo (protozoos que son depredadores de bacterias, salen lentamente del rumen).

- **Reorientar otras rutas metabólicas**

El aumento en la proporción de propionato en el perfil de AGV es la primera solución.

Como aumentar la proporción de propionato en los AGV del rumen		
$\uparrow$ concentrados en la ración	$\uparrow$ forrajes muy digestibles (hierba joven)	$\uparrow$ AG poliinsaturados (C18:n) en la ración (girasol, lino)
$\uparrow$ Cereales (almidón)	$\uparrow$ ácidos orgánicos	$\uparrow$ antibióticos ionóforos
$\uparrow$ Cereales (velocidad digestión alta: cebada, trigo)		

El aumento de propionato a menudo se asocia con una disminución en el pH (caso de las dietas altas en concentrado),  $\downarrow$  pH  $\Rightarrow \downarrow$  protozoos  $\downarrow$  metanógenos.

La hidrogenación de los AG poliinsaturados no cuenta más que marginalmente en la captación de hidrógeno "pozos de hidrógeno" para limitar la metanogénesis.

## COMPOSICIÓN DE LA RACIÓN

### PROPORCIÓN DE CONCENTRADOS Y NATURALEZA DE LOS GLÚCIDOS

El aumento de la proporción de concentrado en la dieta causa una disminución en la producción de metano/kg MS o de metano/EB. La metanogénesis se reduce fuertemente con altos niveles de concentrados.

Raciones normales vacas de leche: metano  $\approx$  5% EB ingerida

Raciones altas de Co: metano  $\approx$  3% EB ingerida.

En terneros, raciones con EBM, heno: 6%; raciones con el 86% de Concentrados: 3%

Variación similar, aunque menos pronunciada, se observó en raciones F:C (65:35) vs F:C (10/90).

Hay interacción entre los efectos de la digestibilidad de la dieta, que aumenta con la proporción de concentrado, y el nivel alimentario. Para un nivel alimentario  $\leq 2,51$ , hay poca variación en la producción de metano/EB, que estaría entre el 6 y 7%, para F: C (80:20 a 50:50).

Estos resultados diferentes están relacionados con el efecto del porcentaje de concentrado en la relación de acetato/propionato en el rumen, y a la disminución de pH a altos niveles de Co en la ración.

Numerosos estudios han demostrado que los cereales con más glúcidos digestibles tienen emisiones de metano más bajas que los concentrados más ricos en paredes. Sin embargo, ha habido pocas comparaciones directas. La sustitución de pulpa de remolacha por cebada, en una dieta rica en concentrados, reduce la emisión de metano en un 35% por kg de MS ingerida. Con cebada la fermentación se orienta hacia el propionato, y con la pulpa hacia el acetato.

Las diferencias en las emisiones de metano según el tipo de hidratos de carbono existen, pero son más pequeñas que las diferencias debidas a la proporción de concentrado en la ración. Los azúcares solubles (fermentaciones hacia butirato) son más metanogénicos que el almidón (fermentaciones hacia propionato), en cualquier caso.

---

## NATURALEZA DEL FORRAJE

Hay pocos ensayos sobre el efecto de diferentes tipos de forraje en las emisiones de metano, y algunos dan resultados contradictorios, por lo que no parece que la naturaleza del forraje en la ración sea determinante.

(Ensilado de hierba  $\Rightarrow$   $\uparrow$  metano) vs (Ensilado de maíz  $\Rightarrow$   $\downarrow$  metano)

(EBM más almidón  $\Rightarrow$  fermentación propionato)

Por el contrario, en vacas secas: La producción de metano con ensilado de cebada = 1,33 x producción de metano con heno, y las proporciones de AGV fueron similares entre los dos regímenes.

En terneros de engorde: raciones a base de ensilado de hierba o de maíz dan pocas diferencias en la producción de metano.

La composición química del forraje debido a su madurez, influye poco en las emisiones de metano.

**Forrajes distribuidos sin complementación:** la producción de metano/kg de MO ingerida o digerida está correlacionada positivamente con la digestibilidad de la materia orgánica, pero también con el contenido de NDF del forraje, mientras que estos dos factores varían inversamente. Este resultado indica que además de los constituyentes digestibles hay más sustratos para la metanogénesis, y que, a igual digestibilidad de la MO, cuanto más contenido de NDF hay, la vía del acetato y de la metanogénesis se favorecen. Hay que tener en cuenta que la variación en las proporciones de AGV es mucho menor entre forrajes que entre raciones mixtas. Las comparaciones directas dan resultados contradictorios. Unos encontraron que la producción de metano aumentaba con la madurez del forraje, y otros no observaron cambios en la producción de metano en forma de porcentaje de la energía bruta o materia orgánica ingerida. Otros no observaron ninguna diferencia en la producción de metano, como una

proporción de la ingesta de energía bruta, entre un forraje en verde y el ensilado, recogidos simultáneamente, lo cual es lógico ya que el proceso de ensilaje modifica ligeramente el contenido de pared y digestibilidad.

No se encontró ninguna diferencia en las emisiones de metano entre gramíneas y leguminosas de climas templados. Sin embargo, algunos estudios sugieren que las leguminosas dan emisiones de metano entérico más bajas que las gramíneas.

También se observó una reducción del 10% en la producción de metano por kg de ganancia de peso en bovinos de carne en pastoreo, cuando las gramíneas eran reemplazadas por una mezcla de gramíneas y alfalfa. Este efecto no se observó con trébol blanco o violeta. Otros no encontraron ningún efecto significativo de la alfalfa o el trébol violeta en sustitución del raigrás, en la emisión de metano por kg de MS, en las pruebas in vivo.

El efecto de la alfalfa podría sugerir que la reducción del metano es debido a la riqueza en malato, un ácido orgánico que contribuye a reducir la producción de metano, o en algunos metabolitos secundarios como saponinas. Sin embargo, la falta de efecto de la sustitución de alfalfa deshidratada por harina de soja a razón del 30% de la dieta no aboga por un "efecto alfalfa" específico. Cabe señalar que la introducción de leguminosas en la dieta tiende a reducir las emisiones de óxido de nitrógeno.

En las gramíneas en que la fotosíntesis es en C4, propia de climas cálidos, induciendo una producción de metano superior en 10 a 17% en la de las gramíneas con fotosíntesis en C3, característica de climas templados, a igualdad de digestibilidad y contenido de NDF y nivel de ingestión. Las razones son aún inexplicables. Al revés, en leguminosas con fotosíntesis en C4 se induce la producción de metano inferior que en leguminosas con fotosíntesis en C3, pero esto es más probable que sea debido a la proporción de taninos, de media, mayores en leguminosas tropicales. La presencia de taninos, de hecho, contribuye a la reducción de las emisiones de metano.

(Las plantas fijan CO<sub>2</sub> durante la fotosíntesis por diferentes vías metabólicas, las dos principales son en C3 y en C4, según que la fijación de CO<sub>2</sub> dé un compuesto con 3 o 4 átomos de carbono. Los forrajes de zonas templadas generalmente tienen una fotosíntesis en C3, el maíz y los forrajes tropicales tienen una fotosíntesis en C4).

---

## APORTACIONES DE LÍPIDOS

El enriquecimiento de la ración con lípidos es una vía interesante para reducir las emisiones de metano. Los lípidos no proporcionan un sustrato para la producción de metano en el rumen.

Si [Lípidos]<sub>ración</sub> aumenta 1% ⇒ ↓ 2,2 a 1,7% producción de metano/kg MS ingerida (vacas de leche).

En una revisión basada en 17 estudios: Si [Lípidos]<sub>ración</sub> aumenta 1% ⇒ ↓ 5,6% producción de metano/kg MS ingerida, en diferentes especies de rumiantes. También parece que la reducción media en la producción de metano depende de la naturaleza del AG. La reducción es más importante para AG de cadena media (los que lleva la **pulpa de coco**, ↓ 8,5% por cada

punto de lípidos adicionales), seguido del ácido linolénico (**lino**, ↓ 5,6% por cada punto de lípidos adicionales) y por el ácido linoleico (**girasol y soja**, ↓ 4,0% por cada punto de lípidos adicionales).

Los AG monoinsaturados, como el ácido oleico (**colza**), AG saturados, ácido palmítico y esteárico (jabones de calcio de **aceite de palma**, grasas cristalizadas) tienen un efecto más limitado. En algunos casos no se ha encontrado una disminución importante debido a las interacciones de los lípidos con el resto de la dieta.

La comparación de los tres tipos de AG más frecuentes (oleico, linoleico y linolénico) da resultados variables de una prueba a otra. El conocimiento actual sobre el efecto de diferentes lípidos de la dieta sobre las poblaciones microbianas del rumen no puede explicar estas diferencias.

El efecto de los AG 20 y 22 C en la producción de metano es todavía poco conocido in vivo.

Se han hecho muchas pruebas con **lino**. A veces no había respuesta de la producción de metano, a veces reacciones muy fuertes a altas dosis (↓ 50% producción de metano con una adición de 5,8% de **aceite de linaza**). La respuesta a las dosis crecientes de semilla de lino extrusionada es baja para el consumo moderado (reducción de la producción diaria de 6-15% a 2% de grasa añadida), y más pronunciada a dosis altas (producción diaria se redujo de 40 a 42% a 6% de grasa añadida). El uso de lino para reducir la producción de metano va acompañada por un efecto bastante beneficioso sobre la calidad nutritiva de la leche y carne, debido a un ligero aumento en AG omega 3 (ácido linolénico). Sin embargo, la ingesta excesiva de linaza puede dar lugar a una limitación del nivel de ingestión, un crecimiento de AG monoinsaturados **trans**, y una tendencia a la peroxidación lipídica. En el estado actual de los conocimientos, un consumo de grasa de semilla de linaza del orden de 2-3% puede ser eficaz en la reducción de la metanogénesis. En cuanto a los AG de cadena media, que tienen efectos sobre la metanogénesis, su uso debe limitarse por su efecto bastante negativo en el "valor de la salud" de los productos de origen animal, y quizás por una reducción de la digestibilidad de las raciones en algunos casos.

Entre las fuentes de grasa se incluyen el **bagazo de maíz**, un subproducto de la producción de etanol. Este producto contiene aproximadamente 10% de los AG, pero se puede incorporar en cantidades altas en la dieta, y es un medio de enriquecer la dieta en grasa. En el ganado de carne la sustitución de cebada (35% de la ración) por bagazo de maíz seco con solubles [**DDGS** (*Dry Distillers Grains with Solubles*)] reduce la producción de metano en un 16%. Otros subproductos de los biocombustibles, como la **torta de semilla de colza** con el 10% de grasa, tienen el mismo efecto.

El efecto de la ingesta de grasa sobre la metanogénesis puede depender de la composición de la dieta, pero los datos son inconclusos y contradictorios. La disminución de metano con aportaciones crecientes de linaza es más pronunciada en porcentaje, con una ración basada en heno que con una basada en ensilado de maíz, y es más pronunciada (la reducción de metano) con el ensilado de cebada que con el heno.

Hay pocos ensayos de larga duración. Se han resumido siete ensayos a medio y largo plazo con diferentes fuentes de grasa, de los cuales sólo tres han durado más de 3 meses, y se llega a la conclusión de que el efecto de los lípidos se mantiene en el tiempo. Es el caso de la semilla de algodón en vacas durante 16 o 12 semanas, donde el efecto de la grasa aumenta con el tiempo.

Finalmente, encontraron que después de un año de la complementación con semilla de lino en la ración de las vacas lecheras, la producción de metano fue menor que la relativa a la dieta no complementada. En cambio, observaron con terneros alimentados durante seis meses, que la reducción de la producción de metano por kg de ganancia de peso, con una dieta de concentrado rico en almidón y lípidos en comparación con una dieta rica en concentrado fibra, fue menos pronunciada en el tiempo, pero el efecto se puede atribuir tanto a los lípidos como al almidón. Sin embargo, estos ensayos en conjunto, sugieren que el efecto de la grasa poliinsaturada sobre la producción de metano podría ser permanente.

#### PLANTAS ESPECÍFICAS Y ACEITES ESENCIALES

Un número considerable de medidas sobre la producción de metano se han realizado in vitro y en menos de 10 plantas o extractos se redujo significativamente la producción de metano, sin efectos negativos sobre la fermentación (en particular dos variedades de ruibarbo).

El uso potencial de estas plantas, si se mostró eficaz sobre la reducción de metano, dependió de su capacidad de cultivo, así como de su falta de toxicidad.

#### PLANTAS RICAS EN TANINOS

Los taninos son conocidos desde hace años por su acción inhibidora sobre la producción de metano entérico. Este efecto puede ser debido en particular a la fuerte reducción de los metanógenos *Archaea*. Los taninos pueden ser consumidos en gran cantidad (forrajes) o en forma de extractos. Los taninos pueden ser condensados, con efecto negativo sobre la producción de metano contrastado, o hidrolizables, con efecto menos estudiado. La introducción en la dieta de los taninos condensados, o los hidrolizables, tiene otros efectos beneficiosos como la reducción de la degradación de proteínas en el rumen o la posible reducción de la hidrogenación de AG, o, también, desfavorables tales como la reducción de la digestibilidad de la materia orgánica. Muchas leguminosas tropicales son ricas en taninos, especialmente leguminosas arbustivas (*Leucaena leucocephala*: <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/Publicat/Gutt-shel/x5556e06.htm>).

A pesar de que la naturaleza y la estructura bioquímica de los taninos varían de una planta a otra, hay una relación negativa entre las emisiones de metano in vitro y niveles de taninos condensados, y también con los hidrolizables, pero, sin embargo, algunas plantas, las más nutritivas, producen elevadas cantidades de metano debido a su riqueza en azúcares fermentables.

El extracto de taninos de corteza de acacia negra (*acacia mearnsii*: <http://www.fao.org/docrep/004/AC121E/ac121e06.htm>) redujo la producción de metano de

las ovejas a un ritmo del 2,5% de incorporación de MS, sin embargo, la ligera disminución en la digestibilidad se compensó por un ligero aumento de ingestión. Este efecto fue confirmado en vacas lecheras a una tasa de incorporación de 2% de la MS. Pruebas con extracto de tanino de quebracho (*Schinopsis*) o con taninos de castaño, dan resultados contradictorios, no se sabe si por la naturaleza de los taninos o por las condiciones experimentales.

El *lotus corniculatus* ha sido ampliamente estudiado, principalmente en Nueva Zelanda, y su efecto en la reducción de metano parece claro. Por ejemplo, las emisiones de metano por kg de MS ingerida, en vacas de leche, son más bajas que si comen raigrás. Lo mismo ocurre con la zulla (*Hedysarum coronarium*).

---

## PLANTAS RICAS EN SAPONINAS

Las saponinas son glucósidos encontrados en muchas plantas. Disminuyen la degradación de proteínas en el rumen y promueven la síntesis de proteína microbiana, lo que limita la cantidad de hidrógeno disponible para la metanogénesis. Las saponinas reducen la población de protozoos. In vitro, el efecto negativo de la saponina sobre la metanogénesis se muestra con diferentes plantas, pero no es sistemático. En algunos casos, con dosis altas de saponinas, ha habido reducciones del 25% en la producción de metano (caso de *Yucca schidigera* y de *Quillaja saponaria*).

El número de datos disponibles y consistentes sin embargo, es demasiado bajo para una conclusión sobre el uso potencial de ciertas plantas ricas en saponinas como agentes para reducir la producción de metano.

---

## LOS ACEITES ESENCIALES Y OTROS EXTRACTOS DE PLANTAS

El interés de los aceites esenciales para reducir la metanogénesis ha sido objeto de revisión. 1) Composición muy variable de los aceites esenciales de la misma planta, dependiendo entre otras cosas de su región de origen. Esto hace que la interpretación de los resultados experimentales para determinar los efectos de los extractos de plantas sobre la fermentación ruminal sea difícil. 2) Además, la multiplicidad de moléculas activas en la población microbiana ruminal se traduce por los efectos inhibitorios sobre las *Archaea metanogénicas* y sobre algunas especies de bacterias, que pueden reducir la intensidad de la fermentación.

Entre los compuestos el efecto negativo sobre la producción de metano se ha demostrado in vitro, la respuesta a dosis crecientes ha sido estudiada para **carvacrol** (fenol monoterpénico), timol, eugenol (fenil propeno) y cinamaldehído, así como hidrocarburos más complejos de tomillo, canela y orégano. Los aceites de orégano y tomillo contienen cantidades importantes de carvacrol y timol, y menores de terpenos. Estos aceites tienen un efecto mayor del que cabría esperar de las moléculas que los componen, lo que sugiere efectos aditivos o sinérgicos incluso.



No hay pruebas in vivo para determinar la eficacia de estos compuestos para reducir las emisiones de metano, sin perturbar la ingestión o la digestión.

El aceite de rábano protegido para evitar la caída de la ingestión redujo la producción de metano en casi un 20% en terneros jóvenes. Este corto ensayo no ha sido confirmado. La combinación de dos o más aceites esenciales podría aumentar las posibilidades de éxito de una estrategia para reducir la producción de metano, aunque en algunos ensayos no se ha demostrado.

El extracto de ajo a menudo ha demostrado ser muy eficaz en la reducción de la producción de metano in vitro, debido a la presencia de compuestos orgánicos de azufre. In vivo, los resultados son decepcionantes. Si el efecto del extracto de ajo resulta significativo en el futuro, su uso se limitará a la producción de carne, debido a la aparición de malos olores en la leche.

Otros extractos vegetales (anacardo, hoja de orégano) se han probado in vitro y en ensayos de corta duración in vivo. Y conviene ser prudente ya que el efecto in vitro sobre la metanogénesis no es sistemático.

## ADITIVOS Y BIOTECNOLOGIAS

### ADICIÓN DE PROBIÓTICOS

Las levaduras vivas (cepas de *Saccharomyces cerevisiae*) se han utilizado durante muchos años como un aditivo en la dieta de los rumiantes, principalmente para estimular la degradación de las fibras, para limitar la degradación de proteínas o para prevenir la acidosis. La adición de las cepas comercializadas no han mostrado ningún efecto, hasta ahora, en la producción de metano.

Algunas cepas in vitro mostraron una reducción en la producción de metano.

La incorporación de las bacterias probióticas como si fueran aditivos se desarrolla; para los rumiantes adultos, estas bacterias se emplean para prevenir la acidosis, o limitar la aportación de los patógenos potenciales, tales como ciertas cepas de *Escherichia coli* y *Salmonella spp*. Las bacterias más comúnmente utilizadas son las que emplean el lactato para aumentar la producción de propionato, y las bacterias lácticas. Trabajos recientes en el laboratorio (INRA), utilizando una combinación de bacterias probióticas, tiene, por primera vez para nuestro conocimiento, la reducción significativa de la producción de metano en las vacas, sin cambiar la producción de leche en un ensayo a corto plazo. Pendiente de confirmación. El uso de hidrógeno a través de la acetogénesis se emplea en los seres humanos y en diferentes especies animales.

En el rumen, las bacterias acetogénicas no compiten con las *archaea metanogénicas* por el uso de hidrógeno. Recientemente, se ha demostrado in vitro que estas bacterias del intestino del

canguro competían vis-a-vis con las *archaea metanogénicas* en el rumen. Esta prueba tuvo una alta publicidad en los medios, pero el cultivo de estas bacterias y su aplicación en el rumen queda por hacer.

---

## ANTIBIOTICOS IONOFOROS

Los antibióticos ionóforos, principalmente *monensina* y *lasalocid*, son una clase de antibióticos con propiedades específicas (estimulación del transporte activo de cationes y reducción de la producción de ATP) que resultan tóxicas para las bacterias *gram* positivas. Están prohibidos en la UE desde 2006, pero todavía se menciona siempre como un posible medio de reducir las emisiones de metano. Su uso en rumiantes conduce a una disminución en la producción de metano a corto plazo de 0 a 30%. El efecto podría depender del nivel de incorporación, con una reducción de la producción de metano en una media de 3 a 8% por kg MS ingerida en dosis altas (20 a 35 mg/kg MS). Este efecto está relacionado con la orientación de la fermentación ruminal de ácido propiónico y la estimulación de las bacterias *gram* negativas, además la población de protozoos se reduce, pero la de metanógenos no se ve afectada.

---

## ÁCIDOS ORGÁNICOS

Los ácidos orgánicos son componentes menores de algunas plantas. En el rumen son convertidos por las bacterias a succinato con un consumo de hidrógeno proveniente del H<sub>2</sub> o del formiato CHOO<sup>-</sup>, el succinato es, a su vez, convertido en propionato. Tres ácidos orgánicos de síntesis se estudiaron in vitro por su efecto negativo sobre la producción de metano: malato, fumarato y acrilato, y los dos primeros han sido estudiados in vivo. In vitro, la reducción de la metanogénesis no es sistemática. Cuando el efecto es significativo, el del fumarato es mayor que el de malato, y el de formas ácidas más importante que en la forma de sales. Se ha encontrado en un fermentador tipo "batch" (son sistemas simples que permiten la incubación de los sustratos con contenido ruminal en un ambiente cerrado por un período limitado de tiempo, 24 horas en general) que la asociación entre el ácido málico y el aceite de girasol reduce la producción de metano, mientras que cada uno de estos compuestos por sí solos no habían tenido ningún efecto. Curiosamente, el efecto de los ácidos orgánicos en la metanogénesis es a menudo más importante in vivo. Esto puede ser debido a una mayor competitividad de las bacterias usando ácidos orgánicos en comparación con los metanógenos en sistemas complejos.

Hay que buscar otros mecanismos que conducen a la reducción de la producción de metano. Incluso si los ácidos orgánicos son eficaces a largo plazo, hay varios obstáculos para su uso práctico: la posible restricción del uso de moléculas sintéticas en la alimentación animal, el hecho de que se necesitan grandes cantidades, lo cual puede causar un problema para la imagen de los productos y, también, su elevado coste.

El glicerol, disponible en grandes cantidades en la producción de biocombustibles, no es un ácido orgánico, pero se convierte en propionato y su inclusión en la dieta como un sustituto de otras fuentes de energía podría reducir la producción de metano.

## SULFATOS Y NITRATOS

Las vías metabólicas alternativas de la metanogénesis, como la reducción de los nitratos y sulfatos se han descrito. Algunas bacterias son capaces de oxidar hidrógeno usando sulfatos, nitratos u otros compuestos de nitrógeno, la proporción, normalmente baja, de estas bacterias en la microflora ruminal aumenta en presencia de su sustrato predilecto. El uso de los sulfatos presenta el riesgo de formación de sulfuro de hidrógeno tóxico, pero un reciente ensayo in vitro mostró que los microorganismos sulfato-reductores pueden reducir la producción de metano sin perturbar la digestión y sin aumentar la producción de sulfuro de hidrógeno.

La conversión de nitrato a amoníaco es competitiva vis-a-vis de la metanogénesis. Por ello, la incorporación de nitrato en la dieta se considera factible.

Este proceso se debe controlar para evitar la producción de nitritos tóxicos. El uso de estos tipos de moléculas se cotejará con la aceptación por parte del consumidor.

## EFFECTO DEL TIPO DE ANIMAL

### NIVEL DE PRODUCCION

El aumento del nivel de producción de animales conduce a una reducción de las emisiones de metano por kg de leche o de carne. En primer lugar, la producción de metano por kg MS ingerida disminuye al aumentar el nivel alimenticio (el tiempo de permanencia en el rumen baja).

Si se expresan las emisiones de metano por kg de leche, o de ganancia de peso, la parte de las necesidades de mantenimiento en el requerimiento total es menor cuando aumenta el nivel de producción, y por tanto sobre el total de una lactación la producción de metano/kg leche o kg de ganancia de peso es menor. Aun así, los más productores tienen una vida más corta, y el período de cría y crecimiento se repite.

El aumento en el nivel de producción a menudo se argumenta como la acción para reducir las emisiones de metano. Sin embargo, el aumento de la productividad de los animales se acompaña por un aumento en la intensificación y las entradas (fertilizantes, concentrados comprados) y por tanto de las emisiones de óxido de nitrógeno y dióxido de carbono por kg producto producido.

Lo mismo ocurre al comparar las emisiones en diferentes países (productividad animal diferente, productividad forrajera diferente, etc.). Todo se debe matizar.

## EFFECTOS GENETICOS

No se ha encontrado ningún efecto del genotipo en las emisiones de metano cuando los animales de razas diferentes tuvieron el mismo manejo. Esto es bastante lógico ya que la producción de metano en el rumen está relacionada principalmente con el ecosistema microbiano, y en segundo lugar con el animal huésped, la raza tiene poco efecto sobre el tiempo de permanencia de la ración en el rumen. Hay, sin embargo, diferencias individuales en el ecosistema microbiano para la misma ración, dando lugar a diferencias en la eficiencia digestiva, y por tanto en la producción de metano.

Un método de aproximación a la existencia de efectos genéticos es el estudio de la repetibilidad de las medidas de la producción de metano. Diferentes autores han medido el metano producido por, respectivamente, 9 y 4 vacas secas que recibieron dietas contrastadas, y observaron una repetibilidad moderada (estimada por la relación entre la variabilidad medida entre los animales y la variabilidad total). La clasificación de los animales para la producción de metano es variable según el régimen alimenticio.

Un segundo método de aproximación es medir la eficacia general de los animales a través de la **ingestión residual** "consumo de alimento residual" (la diferencia entre el consumo real y la ingesta esperada por un modelo o por regresión). Los animales con menor **ingestión residual** comen menos por ganancia de peso equivalente. Tienen, por tanto, una eficiencia productiva global, digestiva y metabólica superior. Se ha demostrado que los bovinos con **ingestión residual** diferente y para un mismo incremento de peso vivo, la producción de metano por día, y por kg de ganancia, era más débil en un 25% para los bovinos con menor **ingestión residual**.

De hecho los resultados muestran que es ventajoso el uso de animales con alta eficiencia productiva cuando se piensa en términos de emisiones de metano por kg de producto, pero esto no se debe a una disminución en la producción diaria de metano.

## CONCLUSIÓN

Para la misma propuesta (adición de grasa, un aditivo específico) la respuesta es muy variable y difícil de predecir. El progreso vendrá de una mejor comprensión de los mecanismos y del papel de los diferentes microorganismos del rumen implicados en la producción y el uso de hidrógeno. Es probable que un solo camino no lleve a ninguna solución radical. Hay que continuar explorando varias alternativas para generar concordancias posibles entre las estrategias.

Los aditivos y la biotecnología se pueden considerar en la producción intensiva. Sin embargo, el coste, la aceptabilidad y cierta dificultad en su administración, especialmente cuando los animales son el pasto, son problemas a resolver.

Actualmente, no hay una solución bastante eficaz y segura. Algunas vías son prometedores, en algunos casos se ha demostrado su eficacia (plantas ricas en taninos), en otros sugieren un potencial importante en la reducción de la metanogénesis (microorganismos exógenos).

Sin embargo, se necesita más investigación, incluyendo ensayos a largo plazo. En la actualidad, se ponen muchos recursos en este tema por parte de empresas privadas. Por otra parte, es esencial tener en cuenta, en paralelo, el posible efecto sobre la ingestión, la digestibilidad de la ración y los rendimientos: en condiciones de campo, el objetivo es reducir las emisiones de metano por explotación o por kg de producto. La reducción de las emisiones de metano es un desafío importante para la producción extensiva y en las condiciones tropicales y subtropicales, con limitaciones específicas, tales como la necesidad de mejorar simultáneamente la eficiencia de producción.

La investigación sobre el efecto de la naturaleza de los forrajes y la influencia de sus metabolitos secundarios en la producción de metano debe desarrollarse.

Finalmente, es importante tener en cuenta el efecto de estas estrategias en la emisión de los otros gases de efecto invernadero o sobre el almacenamiento de carbono en los suelos, y una solución para reducir el metano no ha degradar el balance de los gases de efecto invernadero, o de otros impactos sobre el medio ambiente: esta reflexión es especialmente importante para aquellas estrategias que pasan por aumentar el porcentaje de concentrado en la ración o la productividad de los animales.