

# Nitratos: una alternativa en la disminución de metano producido por el ganado bovino

Esperanza Herrera-Torres<sup>1</sup>  
Gerardo Pámanes-Carrasco<sup>2</sup>  
Esther Araiza-Rosales<sup>3</sup>  
Daniel Sierra-Franco<sup>4</sup>  
Carlos Aguirre-Calderón<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana, <sup>2</sup>CONAHCYT-Instituto Silvicultura y la Madera-UJED, <sup>3</sup>CONAHCYT-Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-UJED. <sup>4</sup>CONAHCYT-Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico del El Salto. [aguicar@hotmail.com](mailto:aguicar@hotmail.com); [hetoes99@yahoo.com.mx](mailto:hetoes99@yahoo.com.mx)

Esperanza Herrera-Torres, Gerardo Pámanes-Carrasco, Esther Araiza-Rosales, Daniel Sierra-Franco y Carlos Aguirre-Calderón. *Nitratos: una alternativa en la disminución de metano producido por el ganado bovino*. En Carlos Omar De la Cruz Moreno, Sergio Martínez González, Fidel Avila Ramos. 2025. Actualidades en ciencias veterinarias, zootécnicas, agrícolas y ambientales. Abanico Académico. México. Pp. 265-275. ISBN: 978-607-26738-1-6. <https://doi.org/10.21929/abanico/2025.1.17>





## **Introducción**

El incremento de la población a nivel mundial ha aumentado de manera exponencial, por lo que se espera para 2050 se llegue a la alarmante cifra de 9,300 millones de habitantes. Esto ha ocasionado un incremento en la demanda de alimentos tanto de origen animal como vegetal, y por ende se requiere de una mayor eficiencia en la producción agrícola y ganadera. Sin embargo, esto puede ocasionar daños a los ecosistemas por lo que se deberá tener en cuenta herramientas y alternativas que permitan estos incrementos de manera sostenible.

El sector agropecuario en México ocupa una superficie de 109.8 millones de hectáreas, lo cual representa el 55.9 % de total. Mientras que, la ganadería extensiva en México ocupa una superficie de 47.6 millones de hectáreas, de las cuales el 43.35 % de la superficie total se dedica a la ganadería. No obstante, Chihuahua, Sonora y Durango reportaron en 2016 un sobrepastoreo y una degradación del suelo estimada en 71, 55 y 52 % respectivamente, esto debido al uso de pastizales naturales por ser la forma natural de alimentar a los bovinos a bajo costo, pero, como se sabe, la mayoría de los pastizales del norte de México se encuentran en un proceso de gran deterioro; a través de los años han sido sobrepastoreados con una carga animal que excede su capacidad natural, provocando la eliminación de especies de alto valor forrajero y la invasión de plantas indeseables o tóxicas. Aunado a esto, en las últimas décadas se han incrementado las sequías prolongadas, incidiendo directamente en la escasez de producción de forrajera para alimentar al ganado; ocasionando que los animales no alcanzan a consumir lo suficiente para llenar sus necesidades de energía para mantenimiento, producción y reproducción.

Cabe resaltar que la ganadería en el estado de Durango es en su mayoría extensiva, donde el forraje producido en agostaderos y praderas son la base principal de la alimentación; las malas prácticas de manejo han ocasionado pérdida de biodiversidad, desertificación y degradación del suelo, esta última ha ocasionado un posible aumento en las emisiones de metano por la gran cantidad de animales que son alimentados bajo este sistema. Este es uno de los factores que son determinantes en el cambio climático, debido a la acumulación de gases en la atmósfera generando lo que se conoce como Efecto Invernadero. La acumulación de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera impide la correcta reflexión de la luz solar al espacio, lo que provoca un aumento en la temperatura media del planeta. Al respecto, los últimos informes de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) aseveran que limitar el aumento de la temperatura global a no más de 1.5 °C ayudaría a evitar los peores impactos climáticos que el planeta y sus habitantes pudieran soportar; el peor de los escenarios vislumbra un incremento de 3.2 °C para finales de siglo.



Por su parte, la actividad ganadera es una de las actividades económicas que más contribuye a la generación de GEI. De esta manera, las actividades propias de la industria, el estiércol y los gases generados en la fermentación entérica de los alimentos en los rumiantes, son los principales generadores de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{NO}_2$ ) y amoníaco. En 2021, México contribuyó con el 1,4 % de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI), lo que lo ubicó en el segundo lugar en América Latina. Las principales emisiones de México en 2021 fueron de dióxido de carbono (63.9 %), metano (27.7%) y óxido nitroso (5.1 %). De tal manera que, el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, publicado en 2021, indica que México emite más de 6,3 millones de toneladas de metano al año. Mientras que, en el 2018, el ganado bovino cárnico contribuyó con 79 % de ellas y los bovinos de leche con 13 %; el metano representó 90.4 %. Por su parte, la ganadería en México emitió el equivalente a 0.072 GtCO<sub>2</sub>e en 2017, lo cual representara el 2.45 % del total global; el 75 % de este valor proviene de la fermentación entérica ruminal (0.054 GtCO<sub>2</sub>e), siendo los bovinos los mayores emisores de la categoría. Como producto de la fermentación entérica ruminal, el metano es sintetizado de manera natural en el rumen y así mismo, esta síntesis puede ser manipulada a través de la dieta o inclusión de ciertos aditivos alimenticios que contribuyan a reducir la producción de metano en los rumiantes, principalmente bovinos.

### **Gases efecto invernadero**

El crecimiento poblacional en el mundo, la sobreproducción de bienes y servicios, así como la industrialización, han generado la sobreexplotación de los recursos naturales con los que cuenta el planeta. Además, las actividades antropogénicas también producen y emiten GEI a la atmósfera, los cuales son los principales responsables del calentamiento global y el denominado Efecto del Cambio Climático (ONU, 2023).

Desde principios de la década de los 90s, los investigadores se empezaron a preocupar y a ocupar en los cambios climatológicos derivados de la industrialización y sobrepoblación mundial. Debido a esto, en 1997 se estableció el Protocolo de Kioto, en el cuál se exhortaba a los países participantes a disminuir sus emisiones de  $\text{CO}_2$ , principalmente, en un 5 % en comparación con las emisiones que se habían contabilizado en 1990; debido a esto se designó al Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC) como los encargados de evaluar las emisiones y avances en los esfuerzos de cada país por lograr su meta (IPCC, 1997). A pesar de que se han hecho reuniones posteriores a la primera de Kioto, y se han establecido nuevas metas en la reducción de emisiones, los avances por países han sido mínimos. Por lo anterior, en el Acuerdo de París en 2015, se estableció que el planeta no podría elevar su temperatura media a más de 2 grados Celsius, ya que se pudiera entrar en un punto de no retorno; sobrepasando este incremento, no se podrán regenerar las condiciones climatológicas y



atmosféricas en el mundo, lo que conducirá, eventualmente, a una inminente catástrofe ambiental (Allen et al., 2018). Debido a esto, todos los países acordaron y se fijaron metas nuevas y más realistas para intentar contrarrestar el daño causado.

Por su parte, el Gobierno Federal Mexicano estableció como objetivo reducir 30 % las emisiones de GEI a la atmósfera. Estas cifras fueron confirmadas en la agenda de Cambio Climático durante la reunión del Acuerdo entre los Estados Unidos, México y Canadá (USMCA); este acuerdo sustituye el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (INECC, 2021). En definitiva, hay diversas actividades antropogénicas que producen exceso de GEI. La Unión Europea establece que la combustión de carbón y petróleo, la deforestación, el desarrollo de la ganadería y las emisiones de aparatos que producen gases fluorados, son las principales causas del aumento en las emisiones de GEI (UN, 2015). Desafortunadamente, la ganadería es una actividad económica de suma importancia en el mundo. Tan sólo en México, se producen 33 millones de bovinos al año; el total de rumiantes en el país asciende a los 54 millones de cabezas (SIAP, 2022). Con estas cifras, México ocupa el décimo primer a nivel mundial en ganadería primaria. A su vez, el estado de Durango contribuye con 1.3 millones de cabezas de bovinos. Sin embargo, así como se indicó anteriormente, la ganadería contribuye de manera sustancial a la generación de GEI. Al respecto, se ha comprobado que el sector agropecuario aporta el 58 % del total de emisiones de GEI a la atmósfera; el metano aporta el 32 % (INECC, 2021). El metano es un gas generado como producto de la fermentación entérica ruminal y posee un poder calorífico hasta 23 veces más potente que el CO<sub>2</sub> (Ribeiro et al., 2015). Tan solo en 2018, se emitieron cerca de 50 GtCO<sub>2</sub>e (50 mil millones de toneladas métricas de CO<sub>2</sub> equivalentes) en el mundo; el 5.9 % de esta cantidad corresponde a la ganadería y la producción de estiércol (2.95 GtCO<sub>2</sub>e) (Statista, 2022). Aunado a lo anterior, la ganadería en México emitió el equivalente a 0.072 GtCO<sub>2</sub>e en 2017, lo cual representa 2.45 % del total global (CEDRSSA, 2020); de este valor, el 75 % se atribuye a la fermentación ruminal entérica (0.054 GtCO<sub>2</sub>e), de acuerdo a disposición anatómica e importancia en la producción de GEI, por lo que los bovinos son los mayores emisores de la categoría, aportando el 87.4 % del total de fermentación entérica producido (0.047 GtCO<sub>2</sub>e). Esta serie de datos indican la importante contribución de la ganadería a la producción y emisión de GEI.

### **Ganado bovino como fuente de GEI**

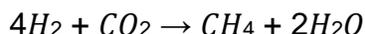
Un problema importante que enfrenta nuestro planeta es el cambio climático que se ha asociado a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) provenientes de actividades antropogénicas. El efecto invernadero es causado por el aumento en el aire de gases que impiden la salida del calor al espacio exterior, incrementando la temperatura del planeta. Los GEI son principalmente el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido



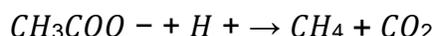
nitroso (N<sub>2</sub>O). El CO<sub>2</sub> es el gas más abundante y el que más aporta al calentamiento global. El CH<sub>4</sub>, segundo GEI en importancia, ha causado el deterioro de la capa de ozono y posee 25-28 veces el potencial de calentamiento global con respecto al CO<sub>2</sub>. Las fuentes principales son actividades humanas como la agricultura (fermentación entérica y producción de arroz) y uso y extracción de combustibles fósiles (Lasse et al., 2008). La ganadería es responsable del 53 % del CH<sub>4</sub> antropogénico del total del sector agrícola, proveniente principalmente de la digestión entérica de los rumiantes (Charmley et al., 2016). El CO<sub>2</sub>, no se considera en la contabilidad del sector, debido a que su emisión por los animales se considera parte del ciclo natural del carbono del planeta. El N<sub>2</sub>O se asocia a las actividades agrícolas y manejo de excretas. Los rumiantes tienen un sistema digestivo que les permite utilizar diferentes alimentos y fermentarlos hasta piruvato, ácidos grasos volátiles, CH<sub>4</sub>, masa microbiana y CO<sub>2</sub>.

### **Metanogénesis ruminal**

La vía metanogénica consiste en una variante anaerobia de la respiración celular en donde se oxida el hidrógeno molecular y se reduce el dióxido de carbono a metano (metanogénesis hidrogenotrófica), como se observa en la ecuación:



Además del dióxido de carbono, el acetato (metanogénesis acetotrófica) y compuestos metilados pueden funcionar como sustratos del proceso, pero, aun así, el hidrógeno molecular reduce principalmente el CO<sub>2</sub>:



Cuando se analiza la variante acetotrófica, es importante considerar su contraparte acetogénica, proceso en el que se sintetiza ácido acético a partir de dióxido de carbono e hidrógeno diatómico:



Además del acetato, el propionato es otro ácido graso de cadena corta que funciona como intermediario, su oxidación por parte de bacterias libera hidrógeno molecular utilizado como sustrato de la metanogénesis. El proceso metanogénico es realizado por organismos del dominio Archaea. La modificación controlada del microbiota ruminal regula los niveles de metano liberados al ambiente. También se han estudiado los efectos del suministro de residuos agrícolas (rastrajo de maíz, semilla de algodón y colza) en los niveles de metano y se ha encontrado una disminución en estos, ya que generalmente



tienen una cantidad elevada de taninos que puede modificar la riqueza de especies metanogénicas en el rumen, influenciando así los niveles de metano. Como ha sido mencionado por algunos autores, la alimentación eficiente e ineficiente hace que la variabilidad en la composición de metanógenos sea menor y mayor respectivamente en términos de las unidades taxonómicas operacionales (técnica utilizada para clasificar organismos emparentados).

### **Estrategias Alimenticias para la mitigación del metano**

Dentro de las estrategias alimenticias que han estudiado diversos autores se encuentra la inclusión de aditivos alimenticios como los siguientes:

- Ionóforos: En la década de los ochentas se reportó que la monensina sódica disminuía la producción de CH<sub>4</sub> desde valores modestos hasta un 25 %, pero el periodo de reducción es corto, los niveles retornan a los valores iniciales, por lo que la reducción en la producción de CH<sub>4</sub> parecía más relacionada con la reducción en el consumo de alimento y no con un efecto directo en la metanogénesis, además de la resistencia a antibióticos y residuos en productos para consumo humano limitaron su uso.
- Aditivos microbianos: Su uso ha sido principalmente como aditivo para mejorar la eficiencia alimenticia, el comportamiento productivo y la salud animal. Existe poca información del efecto de las levaduras sobre los mecanismos de transferencia del hidrógeno y sobre la metanogénesis.
- Aceites esenciales (AE): A fin de evaluar el impacto de algunos AE en las poblaciones ruminales de Archaea, se evaluaron el cinamaldehído, el aceite de ajo y el aceite de junípero, adicionados en dosis de 0.02 g kg MS-1 a dietas para ovejas.
- Grasas vegetales: La adición de lípidos a las dietas para rumiantes impacta en la pérdida de CH<sub>4</sub> por varios mecanismos, incluyendo la biohidrogenación de Ácidos Grasos insaturados, mayor producción de ácido propiónico e inhibición de protozoarios, por lo que son una opción para alterar la producción de CH<sub>4</sub>.
- Ácidos orgánicos: Estos ácidos se encuentran presentes en frutos de diferentes plantas y son de uso común en la elaboración de alimentos para consumo humano. El uso de malato o fumarato es considerado seguro para la alimentación animal y el medio ambiente, estos compuestos han sido investigados con el objetivo de incrementar la producción de carne y leche y su participación en la reducción de CH<sub>4</sub> por acción de competencia por hidrógeno metabólico; la limitante en su utilización está relacionada con el precio comercial, mantener bajas concentraciones por periodos extendidos en el rumen y la falta de estudios que identifiquen las condiciones de su uso óptimo.



- Metabolitos secundarios: Estos incluyen las saponinas, terpenoides, flavonoides, fenoles, glucósidos, taninos, ligninas, alcaloides y polisacáridos. La especificidad de los metabolitos secundarios de los vegetales contra grupos microbianos puede utilizarse para la inhibición selectiva de algunos microorganismos indeseables en el rumen.
- Naringina: Los compuestos fenólicos como los flavonoides presentan una amplia gama de bioactividades en el organismo de humanos y animales, se han reportado aproximadamente más de 4,000 flavonoides en plantas y frutas, las cuales se han agrupado en: Chalconas, Flavonas, Flavonoles, Flavandioles, Antocianinas, Taninos condensados, Auronas y Flavononas. En este último grupo se encuentra la liquiritigenina, eriodictiol y la naringenina presente en la naringina. La estructura de la naringina se presenta en la figura 2. Estos compuestos podrían no solo participar en la mitigación de CH<sub>4</sub>, sino que pueden tener un efecto benéfico en la salud de los animales, mejorando la digestibilidad, la eficiencia alimenticia, reducción en la degradación de proteína a nivel ruminal, balance de la flora ruminal, reducción de acidosis y control de microorganismos patógenos.

### Ácido fumárico

El Ácido fumarico (AF) como aditivo, tiene potencial para disminuir la producción de CH<sub>4</sub> así como de incrementar la glucogénesis y por tanto el rendimiento de leche, pero la cantidad debe restringirse debido al riesgo de acidosis y al consecuente decremento en la digestibilidad de la fibra y del consumo de alimento. El AF es reducido a succinato por H<sub>2</sub> o 2H, el cual es convertido a su vez en propionato. Una mol de AF puede por tanto desviar un máximo de una mol de H<sub>2</sub> de la formación de CH<sub>4</sub>. Se ha suministrado AF encapsulado en una cubierta de aceite parcialmente hidrogenado, mediante la cual ocurrió liberación lenta del AF, con lo que fue posible disminuir en 76 % la producción de CH<sub>4</sub>; 24.6 vs 5.8 L día<sup>-1</sup> para la dieta testigo y la adicionada con AF encapsulado, respectivamente. Se han evaluado distintas dosis de fumarato en cultivos *in vitro*, sobre la fermentación de cinco alimentos concentrados: maíz, cebada, trigo, sorgo y harina de yuca, disminuyendo (P<0.05) linealmente la concentración de CH<sub>4</sub> en todos los sustratos, sin existir diferencia entre niveles de 7 y 10 mM, aunque la disminución fue modesta (2.3, 3.8 y 4.8 % para las dosis de 4, 7 y 10 mM, respectivamente. La mayor respuesta se observó en maíz, por lo que la utilización del fumarato *in vitro* fue dependiente del sustrato y de la dosis utilizada. Si los efectos observados *in vitro* son confirmados *in vivo*, en animales alimentados con dietas concentradas, este compuesto podría ser una alternativa a los antibióticos promotores de crecimiento, aunque serían necesarias otras pruebas para valorar adecuadamente la influencia del fumarato en diferentes condiciones de alimentación. Contrariamente, al ofrecer 80 g día<sup>-1</sup> de AF a becerros en crecimiento alimentados con dietas altas en forraje con base en ensilado de cebada, no se encontró



efecto en la emisión de CH<sub>4</sub>; 26 y 25 g Kg MS-1 consumida, para la dieta con AF y la dieta control, respectivamente.

Gran parte del H<sub>2</sub> producido en el rumen es removido en forma de CH<sub>4</sub> por los microorganismos. Estos microorganismos, reducen el CO<sub>2</sub> a CH<sub>4</sub> con ayuda de agentes reductores como la nicotinamida adenina dinucleótido (NADH). El CH<sub>4</sub> resultante a partir de la metanogénesis representa una pérdida energética para el animal y se convierte en un problema ambiental por ser un gas con significativo efecto invernadero.

Aceptores de H<sub>2</sub> diferentes al CO<sub>2</sub> han sido propuestos como estrategia para disminuir la síntesis ruminal de CH<sub>4</sub>. Estas sustancias incluyen ácidos orgánicos como el fumarato, que a nivel ruminal es reducido a ácido succínico, proceso que consume iones de H<sub>2</sub> en la vía de síntesis de propionato; los sulfatos que son reducidos y utilizados por bacterias sulfato reductoras como aceptores de electrones obteniendo como producto final sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) y finalmente, los nitratos, que pueden remplazar al CO<sub>2</sub> como aceptor de electrones y generar productos reducidos (amonio) diferentes al CH<sub>4</sub>. Sin embargo, la utilización de nitratos como fuente de nitrógeno en dietas para rumiantes es limitada, dado que en su proceso de reducción se forman nitritos, que al ser absorbidos a través del epitelio ruminal, pasan a sangre donde se unen a la hemoglobina y generan la condición conocida como metahemoglobinemia, que en algunos casos puede llegar a ser letal.

La dosis mínima letal de nitratos para rumiantes no puede ser fácilmente definida debido a que esta depende de variables como la composición de la dieta, consumo y método de administración. Las dosis tóxicas para rumiantes varían entre 198 y 998 mg de nitrato /kg de peso vivo. Sin embargo, los efectos negativos de los nitratos pueden ser reducidos a través de la adaptación gradual de los animales al consumo de esta fuente de nitrógeno y contribuir de esta manera a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

### **Nitratos**

Recientemente, se ha mencionado que los nitratos pueden usarse como fuente de N fermentable en el rumen, siempre y cuando el animal haya sido previamente adaptado, y sin que se observen signos de enfermedad y con el posible incremento en la eficiencia de crecimiento microbiano. Se dice que el uso de nitratos incrementa los requerimientos de azufre a fin de mantener la conversión a amonio sin producir nitritos en exceso. Esto se fundamentó en un estudio en el que la adición conjunta de nitratos y sulfatos a la dieta de ovinos produjo la mayor reducción en la producción de metano, sin ningún signo de metahemoglobinemia, sin embargo, es necesaria más investigación al respecto. La reducción de nitrato de amonio, con nitrito como intermediario, es energéticamente más favorable que la reducción de dióxido de carbono a metano y puede competir la



metanogénesis por reducción de equivalentes. Estequiometricamente, la reducción de nitrato a amonio debe bajar la producción de metano por 25.8 g/100 de  $\text{NO}_3$ . Sin embargo, si la reducción de nitrato a amonio es incompleta, el nitrito podría acumularse en el rumen, y ser absorbido en sangre, y reaccionar con la hemoglobina y formar metahemoglobina, cuya acumulación puede comprometer el transporte de oxígeno y la salud animal.

### **Resultados de la inclusión de nitratos en la alimentación de ganado**

Algunos investigadores han utilizado nitrato de calcio para reducir las emisiones de gas entérico, de hecho observaron una disminución de gas a las 48 h de fermentación con diferentes niveles de nitrato, a su vez, estos mismos investigadores registraron una disminución del 43 % en dietas con 2 % de nitrato de calcio en bovinos en crecimiento, este efecto posiblemente se debe a que los nitratos reducen el amoníaco y esto favorece las reacciones termodinámicas que se llevan a cabo en el rumen, utilizando al amoníaco como un sumidero de hidrógenos en lugar de sintetizar metano. Además, se sabe que los nitratos afectan la presencia de las arqueas las cuales hacen posible la metanogénesis. En investigaciones recientes se han observado una disminución en la relación de arqueas: bacterias, lo cual indica que la reducción en la producción de metano se debe a la acción colaborativa de reducir las bacterias metanogénicas y la promoción a diferentes rutas de captación de hidrógenos.

Además, los nitratos también pueden tener una acción sobre los protozoarios ya sea reduciendo el número de estos a nivel ruminal y promoviendo una reducción en la producción de hidrógenos. También se ha utilizado el propionato de calcio como un aditivo en corderos para reducir el uso de granos, lo cual promueve la formación de propionato ruminal. Además, el potencial para reducir el metano se explica porque durante su disociación captura el ion de hidrógeno reduciendo la disponibilidad para formar metano. Se ha reportado que para reducir las emisiones de GEI se puede favorecer si se mejora la digestibilidad, es decir por encima de los valores mínimos reportados de 60 %, sobre todo cuando los rumiantes están alimentados con dietas con forrajes de baja calidad. Se han sugerido diversas alternativas para administrar aditivos, como lo es incorporándolos en bloques multinutricionales. Algunos investigadores reportaron una disminución del 13 % en las emisiones de metano al suplementar con propionato de calcio en corderos en engorda.

Por su parte, Lee y Beauchemin después de revisar 24 trabajos científicos que emplearon nitratos como aditivos en la alimentación de rumiantes, concluyeron que estos compuestos reducen significativamente la producción de  $\text{CH}_4$  entérico sin afectar el consumo de materia seca y la ganancia de peso vivo. Sin embargo, resaltan que a pesar de que los nitratos reducen la pérdida de energía del alimento en forma de  $\text{CH}_4$ , no redireccionan la energía metabolizable adicional hacia la producción animal y pueden alterar la composición del nitrógeno urinario aumentando las emisiones de amonio y óxido



nitroso desde el estiércol. Es importante resaltar que el empleo de nitratos en dietas para rumiantes debe ser cuidadoso, una vez que los nitratos pueden inducir a una intoxicación por nitritos en el animal debido a la formación de la metahemoglobina (MetHb), compuesto que disminuye la capacidad en el transporte de oxígeno de la sangre. Para reducir el riesgo de intoxicación por nitritos, se sugiere otorgar a los animales un periodo de adaptación gradual al consumo de nitratos, incrementar gradualmente la participación de los nitratos en la ración y la encapsulación o protección de este compuesto, en procura de reducir su velocidad de liberación en rumen.

En otros estudios, diferentes investigadores plantearon el uso de niveles altos de nitratos para reducir las emisiones de metano entérico en el ganado lechero, encontrando como resultado la disminución del 16 al 25 % por kilogramo de materia seca consumida al incluir 21 g de nitratos por kg de MS. Por otro lado, también se reporta que existe un comportamiento lineal en la reducción de metano al incrementar la concentración de nitratos en la dieta consumida por ganado lechero. Además, se comenta que los efectos sobre la producción de metano son evidentes hasta 5 h después de la alimentación; es decir, cuando el nitrato se reduce en el rumen, este desvía el hidrógeno disponible de la metanogénesis. Por lo anterior, la producción de metano puede presentar menos fluctuaciones a lo largo del día con el tratamiento con alto contenido de nitrato en comparación con el tratamiento que no contiene nitrato. La reducción de nitrato a amoníaco es energéticamente más favorable que la reducción de dióxido de carbono, este es un mecanismo por el cual el nitrato reduce la producción de metano.

### **Conclusiones**

El calentamiento global derivado de las emisiones de gases de efecto invernadero se ha incrementado por la actividad del ser humano, pero también el sector agropecuario contribuye de manera sustancial, por lo que es necesario implementar estrategias que ayuden a disminuir estas emisiones. En el caso del ganado bovino a quien se le atribuye el 85% de las emisiones de metano entérico producto de la actividad agropecuaria, se han establecido estrategias alimenticias, en lo particular, la inclusión de aditivos como los son los nitratos tanto de calcio como de amonía, los cuales de acuerdo a los resultados presentados en esta revisión han promovido una disminución de metano en sistemas pecuarios. Sin embargo, se recomienda que se siga haciendo investigación en relación a este tema y los resultados sean transmitidos al sector social.



---

## Referencias

- Klop, G., Hatew, B., Bannink, A., and Dijkstra, J. (2016). Feeding nitrate and docosahexaenoic acid affects enteric methane production and milk fatty acid composition in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 99, 1161–1172 <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2015-10214>
- Duthie, C.A., Troy, S.M., Hyslop, J.J., Ross, D.W., Roehe, R., and Rooke, J.A. (2018). The effect of dietary addition of nitrate or increase in lipid concentrations, alone or in combination, on performance and methane emissions of beef cattle. *Animal*, 12, 2, doi:10.1017/S175173111700146X
- IPCC. (2019). Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems. *Summary for Policy Makers* (Cambridge: IPCC, <https://www.ipcc.ch/srccl/>)
- Feng, X.Y., Dijkstra, J., Bannink, A., Van Gastelen, S., France, J., and Kebreab, E. (2020). Antimethanogenic effects of nitrate supplementation in cattle: A meta-analysis. *Journal Dairy Science*, 10, 11375–11385. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18541>.
- Lee, C., Araujo, R.C., Koenig, K.M., and Beauchemin, K.A. (2015). Effects of encapsulated nitrate on enteric methane production and nitrogen and energy utilization in beef heifers. *Journal Animal Science*, 93, 2391–2404. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8845>
- Li, L., Davis, J., Nolan, J. and Hegarty, R. (2012). An initial investigation on rumen fermentation pattern and methane emission of sheep offered diets containing urea or nitrate as the nitrogen source. *Animal Production Science*, 52, 653–658. <https://doi.org/10.1071/AN11254>
- Ungerfeld, E. M. (2015). Shifts in metabolic hydrogen sinks in the methanogenesis-inhibited ruminal fermentation: A meta-analysis. *Front. Microbiol*, 6, 37–17. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00037>
- Olijhoek, D.W., Hellwing, A.L.F., Brask, M., Weisbjerg, M.R, Højberg, O., Larsen, M.K., Dijkstra, J., Erlandsen, E.J., and Lund, P. (2015). Effect of dietary nitrate level on enteric methane production, hydrogen emission, rumen fermentation, and nutrient digestibility in dairy cows. *Journal Dairy Science*, 99, 6191–6205. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10691>