

# Effectiveness of nutritional strategies for reducing methane gas emissions by cattle, in the period 2012-2022: a review of the scientific literature

Nicole Dalia Reyes Quispe<sup>1</sup>, Yeni Lucero Torres Tello<sup>1</sup>, and Magda Velasquez Marín<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Privada del Norte (UPN), Perú, N00170369@upn.pe, N00182075@upn.pe, magda.velasquez@upn.edu.pe

*Abstract– Livestock is one of the most important activities, however, it contributes to global warming, becoming one of the major sources of methane emissions. It should be taken into account that diet manipulation is one of the efficient alternatives that allows modifying ruminal fermentation, improving nutrient assimilation and, therefore, reducing methane. Therefore, in this systematic review, the efficacy of nutritional strategies for the reduction of methane gas emissions in cattle was determined by compiling research journals, undergraduate and doctoral theses published in scientific databases in the last 10 years. The databases consulted were Scopus, Dialnet, Redalyc, Science Direct and thesis repositories in Spanish, English and Portuguese. As a result, it was obtained that the variation of methane emissions is related to the amount of feed ingested and the quality, defined by digestibility and fiber content. It is concluded that sunflower oil, linseed oil, starch oil and *Leucaena leucocephala* present an efficiency of 21.5%, 38%, 12.8% and 61% respectively in reducing enteric CH<sub>4</sub> emission.*

*Keywords– Cattle, feed, methane, global warming.*

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).  
**DO NOT REMOVE**

# Eficacia de estrategias nutricionales para la disminución de emisiones de gas metano por bovinos, en el periodo 2012-2022: una revisión de la literatura científica

Nicole Dalia Reyes Quispe<sup>1</sup>, Yeni Lucero Torres Tello<sup>1</sup>, and Magda Velasquez Marín<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Privada del Norte (UPN), Perú, N00170369@upn.pe, N00182075@upn.pe, magda.velasquez@upn.edu.pe

**Resumen**– La ganadería es una de las actividades más importantes, sin embargo, contribuye con el calentamiento global, convirtiéndose en una de las mayores fuentes de emisión de metano. Se debe tomar en cuenta que la manipulación de la dieta es una de las alternativas eficientes que permite modificar la fermentación ruminal, mejorando la asimilación de nutrientes y, por ende, disminuir el metano. Por ello, en la presente revisión sistemática se determinó la eficacia de las estrategias nutricionales para la disminución de emisiones de gas metano en bovinos, mediante la recopilación de revistas de investigación, tesis de pregrado y doctorado publicadas en bases de datos científicas en los últimos 10 años. Las bases consultadas han sido Scopus, Dialnet, Redalyc, Science Direct y repositorios de tesis en idiomas español, inglés y portugués. Como resultado se obtuvo que la variación de las emisiones de metano se relaciona con la cantidad de alimento ingerido y la calidad, definido por la digestibilidad y el contenido de fibra. Se concluye que el aceite de girasol, aceite de linaza, aceite de almidón y *Leucaena leucocephala* presentan una eficacia de 21.5%, 38%, 12.8% y 61% respectivamente para reducir la emisión de CH<sub>4</sub> entérico.

**Palabras clave**– Bovinos, alimentación, metano, calentamiento global.

## I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la ganadería es causante de efectos ambientales en el agua, suelo, atmósfera y el descenso de especies predominantes en los bosques primarios y secundarios.

Los sistemas ganaderos han ocasionado el movimiento y extinción de especies vegetales, alterando de esta manera, la distribución en las comunidades y ecosistemas de las especies [1]. Las actividades ganaderas generan no sólo efectos a nivel local, sino que también a nivel global, puesto que están relacionadas con la emisión de elementos volátiles en el proceso de digestión de pastos y residuos orgánicos [2].

Asimismo, trae consecuencias adversas por su contribución a los sistemas globales de Gases de Efecto Invernadero (GEI), tales como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y metano (CH<sub>4</sub>) [3]. Siendo el metano el contaminante precursor al ozono troposférico que contribuye al cambio climático, especialmente a corto plazo [4].

Los sistemas ganaderos alteran considerablemente el ambiente puesto que al localizarse en zonas donde predominan los bosques naturales generan la expansión de la frontera agrícola, trayendo consigo el fraccionamiento y la pérdida de hábitats naturales, a raíz de ello, la disminución de árboles contribuye a la reducción en la captación de CO<sub>2</sub> atmosférico, puesto que los pastos no cuentan con la misma eficiencia que los árboles para dicha captación [5].

Pese a que el CO<sub>2</sub> presenta un aporte mayor al efecto invernadero, el metano se conserva en la atmósfera entre 9 a 15 años, reteniendo calor hasta 21 veces mayor al del CO<sub>2</sub> en un período superior a 100 años [1], pudiendo ocasionar un efecto hasta 30 veces mayor de absorción calórica que el CO<sub>2</sub> [5]. El potencial de calentamiento del metano es 28 veces el CO<sub>2</sub> [6], debido a que es 21 o 58 veces más eficiente por molécula o por masa como trampa de radiación infrarroja, a comparación del CO<sub>2</sub> [7]. Se atribuye como una de las causas principales del incremento del gas metano a través de los años a la expansión de la agricultura y ganadería, uso de combustibles fósiles y quema de biomasa [8].

Cabe resaltar, que los rumiantes contribuyen a la emisión de gases atmosféricos por medio de los procesos de fermentación llevados a cabo en el rumen [5]. El metano es producido principalmente por microorganismos del rumen durante la fermentación anaeróbica de carbohidratos solubles y estructurales, predominando en los pastos [9].

La fermentación entérica representa alrededor del 44% de las emisiones totales de GEI del sector ganadero a comparación de la gestión del estiércol, producción de piensos y consumo de energía [10]. Actualmente, la ganadería es una fuente dominante de GEI siendo la fermentación entérica la responsable de aproximadamente el 81% de las emisiones agrícolas de metano, mientras que, el estiércol y los cultivos de arroz representan el 17% y 1% respectivamente [11].

Los bovinos aprovechan el material fibroso que ingieren para convertirlos en alimentos como la carne y leche, además de producir metano [12]. Los procesos fermentativos del alimento que ingresa al rumen son los que principalmente producen el metano, dado que participan diferentes bacterias que realizan el proceso digestivo bajo condiciones anaeróbicas. El proceso se basa en que las bacterias degradan la celulosa a glucosa, para su posterior fermentación a ácido acético y reducción del dióxido de carbono, por lo que en el

proceso se forma metano [12]. Los principales factores responsables de variaciones en la producción de metano son los carbohidratos fermentados en el rumen, es decir, la alimentación y la producción de ácidos grasos volátiles que regulan la generación de hidrógeno y por ende el metano producido [13].

Las bacterias Archaea (metanogénicas), “un grupo microbial filogenéticamente diferente a las bacterias verdaderas” [5], [14] utilizan principalmente CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub> para la producción del metano, los cuales tras ser eliminados -especialmente el H<sub>2</sub>- suprimen un factor involucrado en la estabilidad del pH ruminal para la realización de una óptima fermentación [12]. Los efectos de las bacterias metanógenas dependen principalmente de los sustratos en las dietas de los rumiantes y de la manera en que interactúan con otras poblaciones [12], por tal motivo, la composición de la dieta del rumiante cumple un papel significativo en la contribución en la emisión de metano [5].

La gestión adecuada de las emisiones de metano puede llegar a tener un impacto significativo en la calidad del aire, salud y en la productividad de los cultivos [4]. Investigar y proponer soluciones para disminuir estas emisiones por parte de la actividad ganadera es una prioridad en la actualidad. Para ello, existen varias tecnologías para reducir las emisiones de metano entérico tales como la manipulación animal, manipulación de la alimentación y la manipulación del rumen [15].

La manipulación en la dieta se desarrolla a través de la calidad del forraje, nuevas variedades de plantas, suplementos en las dietas y componentes secundarios, mientras que, la manipulación del rumen se lleva a cabo por el control biológico, vacunación y defaunación química [15].

Manipular la alimentación de los rumiantes con el objetivo de disminuir la producción de metano resulta ser una alternativa muy eficiente [12]. Es posible modificar la fermentación ruminal a través del manejo de la dieta [16], permitiendo así, mejorar la conversión alimenticia, la productividad animal y, por ende, disminuir la emisión de metano. Por ejemplo, “una dieta con alto contenido de concentrados tiende a reducir la población de protozoarios en el rumen, reduce el pH ruminal, altera la proporción de acetato: propionato y disminuye la cantidad de metano producido por unidad de alimento consumido” [5], [17]. De la misma manera, una alimentación rica en nitrógeno fermentable mejora el desempeño productivo de los animales y contribuye a una baja emisión de metano [18].

Existen estudios que demuestran la efectividad de la manipulación alimenticia en los rumiantes, dado que evidencian en sus resultados que el consumo de *Lotus pedunculatus* en vacas Holstein produce una menor cantidad de metano en comparación con dietas de ensilado de raigrás [19]. Otro estudio informó a través de sus resultados la disminución de CH<sub>4</sub> en rumiantes a través de

la alimentación con *Calliandra calothyrsus* (leguminosas) con gran contenido de taninos [20].

A partir de lo señalado anteriormente, surge la pregunta ¿cuál es la eficacia de las estrategias nutricionales para la disminución de emisiones de gas metano por bovinos, de acuerdo con las revistas de investigación publicadas en bases de datos científicas en los últimos 10 años? Por ende, el objetivo de la presente investigación consiste en estudiar la eficacia de las estrategias nutricionales para la disminución de emisiones de gas metano por bovinos, de acuerdo con las revistas de investigación publicadas en bases de datos científicas en los últimos 10 años.

## II. METODOLOGÍA

### A. Criterios de selección

En la presente revisión sistemática se emplearon artículos de revistas indexadas a Scopus, Dialnet, Redalyc, Science Direct, además de tesis de pregrado y doctorado obtenidos de repositorios institucionales. La selección de estos estudios se debió a la confiabilidad de los datos y relevancia en comparación a otras investigaciones. Cabe señalar que, se consideraron estudios en el periodo de publicación (2012-2022) e información en español, inglés y portugués, debido a la mayor disponibilidad de investigaciones en esos idiomas.

### B. Recursos de información

Se observa que la mayoría de las investigaciones provienen del año 2019 con 8 estudios (25%), 2018 con 5 estudios (16%), 2017 y 2013 con 4 artículos de revistas publicados en cada uno.

Asimismo, los estudios seleccionados fueron hallados en diferentes bases de datos confiables para investigaciones, tal como se muestra en la Tabla I.

TABLA I  
TOTAL DE INVESTIGACIONES ENCONTRADAS

BASE DE DATOS	AÑO DE PUBLICACIÓN										TOTAL
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Alicia								1			1
Dialnet			1			1					2
DOAJ					1			1		1	3
Elsevier			1						1		2
Frontiers									1		1
Google scholar		1	1	3		1	3	3	1		13
National Library of Medicine						1		2	1		4
Redalyc								1			1
Scielo		1	1	1	1				2		6
Science direct		4	2	1	1	1	4	1	3		17
Scopus	2			1	1	1		1	2		8
TOTAL	2	6	6	6	4	5	7	10	11	1	58

Se encontraron un total de 58 estudios relacionados con el tema de investigación, los cuales provienen de fuentes confiables.

### C. Búsqueda

Se buscó información en bases de datos empleando diferentes estrategias. En primer lugar, se empleó palabras claves como “producción de metano”, “emisión de metano”, “dieta”, “estrategia nutricional”, “suplementos”, “bovinos”, “ganado” y “rumiantes”. Además, se usaron conectores como “AND”, “NOT” y “OR” para una mayor eficiencia en la búsqueda de los estudios, priorizando que su publicación presente como fecha límite de antigüedad el año 2012 y respondan a la pregunta de investigación planteada. Obteniendo un total de 58 investigaciones que cumplieron con los criterios anteriormente mencionados.

### D. Descarte e inclusión

Se descartaron aquellas investigaciones que no contenían información estadística del método utilizado, dado que era necesario para cumplir con el objetivo de la presente revisión sistemática, donde eran 45 investigaciones los restantes. También se descartaron las investigaciones cuya población de estudio era muy general como rumiantes o que no se incluían dentro de la subfamilia de mamíferos bovinos, siendo en total 44 investigaciones los que se alinearon.

### E. Selección de datos

En el proceso de selección de datos, se aplicó como estrategia escoger las investigaciones que brindaban información de la disminución del metano entérico y emisiones de metano, siendo un total de 40 investigaciones los restantes. Por último, se consideró investigaciones cuya experimentación fue de manera directa en un grupo de bovinos expuesto a una dieta alimenticia, ya sea mediante variaciones en la calidad del forraje, componentes de plantas secundarias como taninos y saponinas; suplementos en la dieta como aceites, probióticos, enzimas y ácido descaboxílico. De tal modo, que fueron 32 investigaciones, incluyendo artículos y tesis, los que se alinearon con lo solicitado.

## III. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### A. Características de los estudios

En la Fig. 1 se muestran las revistas y repositorios institucionales con mayor número de publicaciones. Las revistas con más publicaciones fueron Journal of Animal Science con 7 publicaciones, seguido de Journal of Dairy Science, Animal Production Science, Animals y Animal Feed Science and Technology con 5, 4, 3 y 2 publicaciones respectivamente.

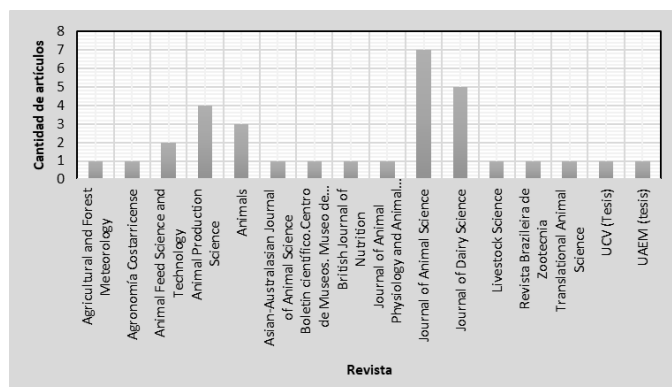


Fig. 1 Investigaciones por revista y repositorio

Nota. En el gráfico se observa un total de 14 revistas y 2 repositorios institucionales.

Del mismo modo, en la Fig. 2 se logra observar el porcentaje de los países donde se ha desarrollado la investigación de diferentes poblaciones de bovinos. El país que más predomina es Brasil con un total de 6 estudios (19%), seguido por Canadá y México con 5 estudios (16%) cada uno. Mientras que Australia tiene 3 estudios (10%) y Finlandia, Kenia y Colombia tienen 2 estudios (6%) cada uno.

También se encontró que los países con menos participación son Bélgica, Costa Rica, Estados Unidos, Italia, Perú, Sudáfrica y Tailandia con 1 estudio cada uno (3%).

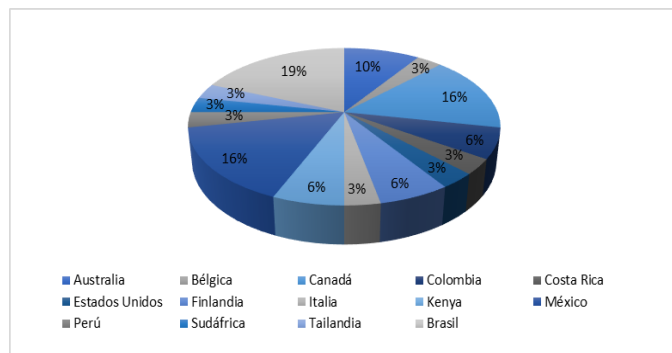


Fig. 2 Cantidad de investigaciones por país

Nota. El gráfico representa la cantidad de investigaciones seleccionadas por país donde se desarrolló el estudio.

### B. Análisis global de los estudios

En la presente revisión sistemática se tiene como pregunta de investigación ¿cuál es la eficacia de las estrategias nutricionales para la disminución de emisiones de gas metano por bovinos, mediante la recopilación de revistas de investigación, tesis de pregrado y doctorado publicadas en bases de datos científicas en los últimos 10 años?, en base a ello se evidencia que las investigaciones escogidas obtuvieron resultados positivos para la disminución de metano entérico, sin embargo, en otros el panorama no cambió tal y como se muestra a continuación en la Tabla II.

TABLA II  
COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Tipo de dieta	Metodología	Tamaño de la muestra	Resultados	Observación	Referencia
Ensilado de maíz, rastrojo de maíz, maíz molido, pasta de soya, canola, salvado.	Cámara de respiración tipo Head Box.	8 vacas de raza Holstein	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 390 g/d</li> <li>● 21.2 g/kg MS</li> </ul>	Disminuyó linealmente conforme incrementó el contenido de fibra en la dieta.	[21]
<i>Pennisetum clandestinum</i>	Punción ruminal directa	9 bovinos ( <i>Bos Taurus</i> )	-	No se encontraron diferencias	[22]
<i>Urochloa brizantha</i> R. D. Webster cv. Marandu y <i>Arachis pintoi</i> cv. Amarillo	Técnica de media de turbas	28 novillas lecheras cruzadas no lactantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 15.79 g/kg MS</li> </ul>	Los cambios en la composición química de la hierba no mostraron ninguna reducción en las emisiones de CH <sub>4</sub> entérico.	[23]
Harina de algas	Cámara de respiración	32 vacas multíparas Holstein.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 520 g/d</li> <li>● 24.4 g /kg MS</li> </ul>	El DHA de harina de algas no disminuye la producción de CH <sub>4</sub> a comparación del forraje sin DHA.	[24]
Grano de soja (aceite) con <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Xaraés	Técnica del trazador de SF <sub>6</sub>	44 toros Nellore	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 115g/d</li> <li>● 9.07 g/kg MS</li> </ul>	Se evidenció reducción de las emisiones de CH <sub>4</sub>	[25]
Harina de vaina de árbol de lluvia (RPM)	Cromatografía de gases	4 novillos lecheros	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 25.5 g/kg MS</li> </ul>	El suplemento disminuye la producción de CH <sub>4</sub> .	[26]
El heno de avena	Técnica de cámaras cerradas.	4 bovinos hembra Brown Swiss.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 417.30 g/d</li> </ul>	Redujo en mayor cantidad las emisiones de GEI.	[27]
Harina de semillas de algodón y melazas	Cámara de respiración de circuito abierto	12 novillos Boran ( <i>B.Indicus</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 133.3 g/d</li> <li>● 29.0 g /kg MS</li> </ul>	Una mayor proporción de comida asimilada resulta en la producción de metano.	[28]
Nitrato (Calcinit)	Técnica del trazador de SF <sub>6</sub>	16 bueyes Nellore x Guzera ( <i>Bos indicus</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 85 g/d</li> <li>● 13.3 g/kg MS</li> <li>●</li> </ul>	El nitrato mitigó la producción de metano entérico en un 87% del potencial teórico.	[29]
Nitrato amónico de calcio	Técnica del trazador de SF <sub>6</sub>	60 vacas Jersey multíparas	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 280 g/d</li> <li>● 18.7 g/kg de MS</li> </ul>	La producción de CH <sub>4</sub> y el rendimiento disminuyen con la adición de nitrato	[30]
NO <sub>3</sub> (calcio amónico encapsulado)	Sistema de Control de emisiones GreenFeed (GEM)	88 novillos mestizos	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 145.89 g/d</li> <li>● 17 g/kg MS</li> </ul>	Se redujo las emisiones de CH <sub>4</sub> , pero alteró el comportamiento alimenticio.	[31]
3-Nitrooxypropanol (NOP)	Sistema de Control de emisiones GreenFeed (GEM)	30 vacas Holstein Friesian	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 380 g/d</li> <li>● 18.1 g/kg MS</li> </ul>	Puede reducir las emisiones de CH <sub>4</sub> entérico al incorporarse a un gránulo concentrado.	[32]
	Cámaras metabólicas	8 vacas Angus	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 64.49 g/d</li> <li>● 9.16 g/kg MS</li> </ul>	Se redujo las emisiones de CH <sub>4</sub>	[33]
<i>Leucaena leucocephala</i> (DLL)	Cromatografía de gases	8 novillas lucerna.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 149.4 g/d</li> <li>● 2.46 % MS</li> </ul>	Reduce la huella de carbono de los productos bovinos.	[34]
	Cámara de respiración de circuito abierto	4 novillas cruzadas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 140 g/d</li> <li>● 16.4 g/kg MS</li> </ul>	Reduce las emisiones de CH <sub>4</sub> entérico a medida que se incrementaron los niveles de DLL.	[35]
	Cámara de respiración	5 novillas cruzadas ( <i>Bos taurus</i> x <i>Bos Indicus</i> ).	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 53.5 g/d</li> <li>● 7.7 g/ kg MS</li> </ul>	Se redujo las emisiones de CH <sub>4</sub>	[36]
	Cámara de respiración de circuito abierto	13 bovinos Brahman.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 21.4 g/kg MS</li> </ul>	La presencia de material lipídico podría reducir el rendimiento del metano.	[37]
Vainas molidas de <i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Cámara de respiración de circuito abierto	8 novillas mestizas ( <i>Bos taurus</i> x <i>Bos indicus</i> ).	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 140.3 g/d</li> <li>● 23.89 g/kg MS</li> </ul>	Reduce la producción de CH <sub>4</sub> sin efecto sobre la población microbiana.	[38]
Vainas molidas de <i>Samanea saman</i>	Cámara de respiración de circuito abierto	4 novillas cruzadas ( <i>Bos Taurus</i> x <i>B.indicus</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 59.30 g/d</li> <li>● 8.19 g/kg MS</li> </ul>	Las emisiones de CH <sub>4</sub> entérico mostraron una reducción lineal.	[39]
Aceite de girasol	Técnica del trazador de SF <sub>6</sub>	4 vacas lecheras nórdicas rojas multíparas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 335 g/d</li> <li>● 17.7 g/kg MS</li> </ul>	El aceite de girasol fue eficaz para reducir las emisiones diarias de CH <sub>4</sub> .	[40]
		16 vacas lactantes Holstein x Gyr. ( <i>Bos indicus</i> ).	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 228.3 g/d</li> <li>● 13.9 g/kg MS</li> </ul>	La emisión y el rendimiento de CH <sub>4</sub> disminuyeron.	[41]
		5 vacas lecheras nórdicas multíparas	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 488 g/d</li> <li>● 26.2 g/kg MS</li> </ul>	El aceite con una dieta basada en ensilado de pasto reduce la emisión ruminal de CH <sub>4</sub> .	[42]

Aceite de linaza	Técnica del trazador de SF <sub>6</sub>	45 novillos Nellore.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 70.2 g/d</li> <li>● 7.26 g/kg MS</li> </ul>	Se redujo las emisiones de CH <sub>4</sub>	[43]
Aceite de soya	Técnica del trazador de SF <sub>6</sub>	44 toros Nellore	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 114.61 g/d</li> <li>● 15.45 g/kg MS</li> </ul>	Es efectivo para reducir la emisión de CH <sub>4</sub> entérico con poco almidón.	[44]
Aceite de pescado	Técnica del trazador de SF <sub>6</sub>	4 vacas frisonas italianas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 400 g/d</li> <li>● 18.3 g/kg MS</li> </ul>	Tiene tendencia a una menor emisión de CH <sub>4</sub>	[45]
Granos de maíz seco	Cámaras con flujo de aire controlado	12 vacas Holstein multiparas lactantes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 475 g/d</li> <li>● 18.9 g/kg MS</li> </ul>	La producción de CH <sub>4</sub> disminuyó linealmente con niveles crecientes.	[46]
Aceite de canola	Cámara de respiración de circuito abierto	4 novillos canulados en el rumen	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 118.4 g/d</li> <li>● 17.4 g/kg MS</li> </ul>	La dieta permitirá mantener altos niveles de mitigación del CH <sub>4</sub> con una menor dosis de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	[47]
<i>Chloris gayana</i>	Cámaras respiratorias	12 novillos Brahman ( <i>Bos indicus</i> ).	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 73.7 g/d</li> <li>● 19.9 g/kg MS</li> </ul>	El CH <sub>4</sub> por kg de masa seca no fue influenciado por la dieta.	[48]
Tanino hidrolizable (ácido gálico)	Cámaras de control	8 novillos	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 204 g/d</li> <li>● 20.4 g/kg MS</li> </ul>	Se muestra potencial de disminuir las emisiones de CH <sub>4</sub>	[49]
Taninas hidrolizable (castaña y quebracho 1.5%)	Técnica del trazador de SF <sub>6</sub>	75 novillos mestizos	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 20.6 g/kg MS</li> </ul>	Disminuye las emisiones de CH <sub>4</sub> sin afectar negativamente el rendimiento.	[50]
Maíz molido, pellets, harina de soya, silopaca, paja de arroz	Técnica del trazador de SF <sub>6</sub>	9 vacas Holstein	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 390 kg/d</li> <li>● 20.5 g/kg MS</li> </ul>	Se determinó menos emisiones de CH <sub>4</sub> en vacas secas y parto.	[51]
Forraje y bloques de urea de melaza	Cámaras de respiración	6 novillas	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 85.3 g/d</li> <li>● 30.6 g/kg MS</li> </ul>	Tiene el potencial de reducir las emisiones de CH <sub>4</sub>	[52]

Nota. Producción CH<sub>4</sub>= g/d, Rendimiento CH<sub>4</sub>= g/kg MS , MS: Materia seca

La presente revisión sistemática tiene como objetivo estudiar la eficacia de las estrategias nutricionales para la disminución de emisiones de gas metano por bovinos, mediante la recopilación de revistas de investigación, tesis de pregrado y

doctorado publicadas en bases de datos científicas en los últimos 10 años. En la fig.3 se muestra los principales resultados.

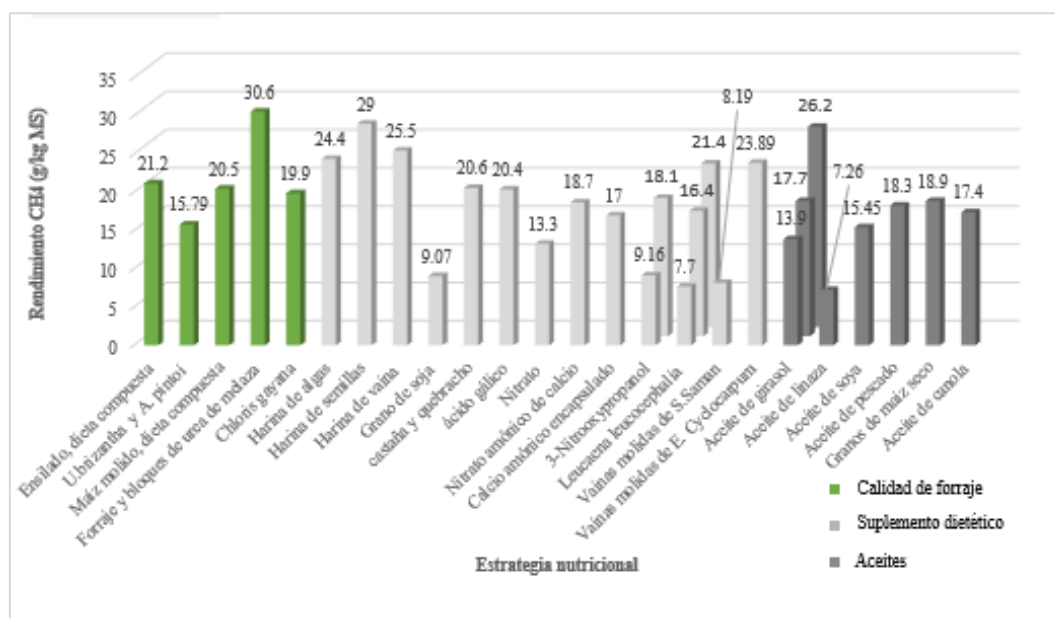


Fig. 3 Eficacia de estrategias nutricionales

Nota. En la gráfica presentada se observa que la *Leucaena leucocephala* y el NOP presentan mayor eficacia.

En la presente investigación se resalta que 3 artículos mostraron resultados neutrales para la dieta analizada [22], [23], [24]; mientras que 29 fueron los estudios que obtuvieron resultados positivos en desarrollar dietas y estrategias de manejo para mitigar las emisiones de CH<sub>4</sub> de la fermentación entérica. Por ende, la figura muestra que el aceite de linaza incorporado en la dieta de los bovinos presenta una mayor disminución de metano entérico, luego de *Leucaena*

*leucocephala* (DLL) y por último el 3-Nitrooxipropanol (NOP) también ayuda a disminuir el CH<sub>4</sub> entérico.

Se resalta que la mayoría de los estudios analizados se basan en la disminución de las emisiones de metano entérico de los bovinos a través de suplementos dietéticos como aceites y nitratos, en cambio hay una menor investigación en la calidad del forraje como estrategia nutricional. Además, se señala que



existe una limitada investigación en América a comparación de otros países respecto al tema en cuestión.

Respecto a la calidad del forraje se muestra que la variación de las emisiones de metano está relacionada con la cantidad del alimento ingerido y la calidad de este, por ende, estaría definido por la digestibilidad y el contenido de fibra [25], [37]. Es decir, que a mayor concentración de fibra y menor digestibilidad del alimento se estaría reduciendo la producción de CH<sub>4</sub>. En [50] se analiza que la alfalfa con contenido de castaño y quebracho al 1.5% disminuye el rendimiento de CH<sub>4</sub>. Del mismo modo, [26] señala que se disminuye la medición de metano a la proporción de forraje en alta concentración.

En otras de las investigaciones, [27] plantean que el heno de avena y el ensilado de avena tienen una eficacia de 29% y 16% respectivamente en la emisión de CH<sub>4</sub>. Caso contrario, [28] señala que una mejora en la alimentación del rumiante sometido a un déficit nutricional contribuye a reducir la producción de gases de efecto invernadero como el CH<sub>4</sub>.

Respecto a los suplementos dietéticos, se señala que en muchos de ellos su eficacia depende del alimento base, ya que no se podrían mezclar con otros alimentos. Por ejemplo, [29] señala que el nitrato tiene un rendimiento de CH<sub>4</sub> de 13.3 g/kg MS mientras que [30] señala un rendimiento de CH<sub>4</sub> de 18.7 g/kg de MS., sin embargo, debe limitarse a dietas naturalmente bajas en proteínas donde añadir este componente sea favorable.

Del mismo modo, [31] señala que el nitrato encapsulado reduce las emisiones de CH<sub>4</sub>, pero no tiene un impacto positivo en el rendimiento. Incluso, estudios como [32] y [33] señalan que el 3-nitrooxipropanol (NOP) mezclado con la dieta basal tiene un rendimiento de 18.1 g/kg MS y 9.16 g/kg MS respectivamente para reducir las emisiones de CH<sub>4</sub>, pero puede causar un daño al organismo.

Por otro lado, [34] señala que la inclusión de *Leucaena leucocephala* (DLL) en pasto estrella, muestra una eficacia de 9.4%, siendo una alternativa viable para los sistemas de pastoreo intensivo en condiciones tropicales. De la misma manera, [35] y [36] mencionan que incluir el DLL en la ración de crecimiento del bovino disminuye las emisiones de CH<sub>4</sub> entérico y mejora el N fermentable en el rumen para el crecimiento de la población microbiana teniendo un rendimiento de 16.4 g/kg MS y 7.7 g/kg MS respectivamente.

Otros estudios como [38] señalan que la adición de *G.sepium* mezclada con vainas de *E.cyclocarpum* reduce la producción de CH<sub>4</sub> teniendo un rendimiento de 23.89 g/kg MS. También se menciona la incorporación de vainas molidas de *S. Saman* en las raciones, por ejemplo [39] plantea una reducción lineal de las emisiones de CH<sub>4</sub> entérico a medida que el porcentaje de inclusión aumenta del 10 al 30% de la ingesta con pasto *P.purpureum* picado en los sistemas silvopastoriles, mostrando un rendimiento de 8.19 g/kg MS.

Al analizar los estudios basados en aceites como suplemento nutricional se evidencia resultados positivos, por ejemplo, [40] y [41] señalan que el aceite de girasol reduce las emisiones de CH<sub>4</sub> en dietas bajas en concentrado, mostrando un rendimiento de 13.9 g/kg MS para el último estudio

mencionado, sin afectar negativamente el rendimiento o la composición de la leche de vaca. Del mismo modo, [42] señalan que los aceites vegetales disminuyen la emisión de CH<sub>4</sub> siendo más eficaz el aceite de girasol de todo lo evaluado en su investigación. En cuanto a otros aceites, [43] señala que el aceite de linaza tiene un rendimiento de 7.26 g/kg MS y [44] muestra que el aceite de soya tiene un rendimiento de 15.45 g/kg MS para reducir la emisión de CH<sub>4</sub> entérico.

Otro suplemento fue la harina de algas con un contenido suficiente de DHA, donde [24] señala que en una dieta basada en heno de alfalfa no reduce las emisiones de CH<sub>4</sub>. De igual manera, [45] señala que el aceite de pescado como suplemento de lípidos no es aconsejable en dietas con alto contenido de almidón por sus efectos negativos en la grasa de leche.

Al realizar la comparación con revisiones sistemáticas se muestran coincidencias, tal es el caso de lo que reporta [53] quienes señalan que los aceites esenciales presentan ventajas en reducir la degradación de proteínas y por ende el metano, siendo esta una alternativa viable. Además, reportan que el nitrato mitiga el CH<sub>4</sub> en dietas bajas en proteínas. Por otro lado, [54] señala que la utilización de especies arbustivas y arbóreas forrajeras son eficaces, siendo *Tithonia diversifolia* la que muestra mayor potencial para disminuir la síntesis de metano entérico.

#### IV. CONCLUSIONES

En la presente investigación se logró identificar que la mayoría de los estudios analizados se basan en la disminución de las emisiones de metano entérico de los bovinos a través de suplementos dietéticos como aceites y nitratos, en cambio hay una menor investigación en la calidad del forraje como estrategia nutricional. Como factores para la eficacia de las estrategias nutricionales se encontraron a las condiciones climáticas, contenido del alimento base y digestibilidad.

Con respecto a la pregunta denominada ¿cuál es la eficacia de las estrategias nutricionales para la disminución de emisiones de gas metano por bovinos, mediante la recopilación de revistas de investigación, tesis de pregrado y doctorado publicadas en bases de datos científicas en los últimos 10 años? Se señala que los aceites como el aceite girasol, aceite de linaza y aceite de almidón presentan una eficacia de 21.5%, 38% y 12.8% respectivamente para reducir la emisión de CH<sub>4</sub> entérico. Del mismo modo, la inclusión de *Leucaena leucocephala* en la dieta presenta una eficacia de 61%. Para el caso del nitrato presenta una eficacia de 27% pero reduce el rendimiento del organismo vivo.

La importancia de la presente revisión sistemática radica en que se puede dar a conocer la eficacia de las estrategias nutricionales para la disminución de metano emitido por los bovinos, de tal manera que ciudadanos que cuentan con un sistema de producción ganadero alto puedan disminuir su contribución de GEI y se puedan beneficiar económicamente de modo que el alimento sea de fácil acceso.

Dentro de las limitaciones, se evidencia la escasez de investigación en América acerca del tema presentado. Otra dificultad fue la limitación en el acceso a artículos, ya que en su

mayoría fueron artículos de acceso cerrado y en idioma extranjero, lo cual dificultó una exacta traducción.

Finalmente, con respecto a las recomendaciones se considera necesario realizar investigaciones donde la metodología no sea aplicada en animales vivos como vacas canuladas. Se requiere más investigación sobre formas de mitigar simultáneamente las emisiones de CH<sub>4</sub> de la producción láctea y mejorar la calidad de la leche. Asimismo, se recomienda estudiar los efectos a largo plazo del nitrato en la dieta respecto al rendimiento y calidad de vida de los animales y evaluar los cambios en la dinámica de la población a nivel del filo u otras poblaciones microbianas que podrían haber influido en los resultados mostrados. Por último, se recomienda evaluar las estrategias nutricionales en condiciones de pastoreo, su efecto en el microbioma del rumen, rendimiento animal y excreción de N resultante en el estiércol para una mejor evaluación del impacto ambiental.

#### REFERENCIAS

- [1] FAO. (2009). La larga sombra del ganado, problemas ambientales y opciones. [Internet]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/a0701s/a0701s.pdf>
- [2] L. Mahecha, L. Gallego, y F. Peláez. Situación actual de la ganadería de carne en Colombia y alternativas para impulsar su competitividad y sostenibilidad. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias [Internet]. 2002, 15(2), 213-225. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3242901>
- [3] J. Rodríguez, F. Paz Pellat, C. Watts, C. Lizárraga, E. Yépez, G. Jiménez, A. Castellanos, C. Hinojo, y C. Macías. Mediciones de metano y bióxido de carbono usando la técnica de covarianza de vórtices en ganado lechero semiestabulado en Sonora, México. Terra Latinamericana [Internet]. 2019, 37(1), 69-80. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792019000100069](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792019000100069)
- [4] R. Van Dingenen, M. Crippa, G. Maenhout, D. Guizzardi, y F. Dentener. (2018). Global trends of methane emissions and their impacts on ozone concentrations, EUR 29394 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg [Internet]. Disponible en: <https://doi.org/10.2760/820175>
- [5] L. Santacoloma. Las dietas en las emisiones de metano durante el proceso de rumia en sistemas de producción bovina. Revista de Investigación Agraria y Ambiental [Internet]. 2011, 2(1), 55-64. Disponible en: <https://www.proquest.com/scholarly-journals/las-dietas-en-emisiones-de-metano-durante-el/docview/1190518550/se-2>
- [6] IPCC. (2013). Climate change 2013: The physical Science Basis. Contribution of working group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>
- [7] J. Steed. (1993). Methane Emissions From Typical Manure Management Systems [Tesis de Maestría, Oregon State University]. Disponible en: <https://ir.library.oregonstate.edu/downloads/t148fm061>
- [8] L. Ruiz, y E. González. Modelling methane emissions from cattle in Mexico. Science of The Total Environment [Internet]. 1997, 206(2-3), 177-186. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(97\)80008-3](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(97)80008-3)
- [9] M. Kurihara, T. Magner, R. Hunter, y G. McCrabb. Methane production and energy partition of cattle in the tropics. British Journal of Nutrition [Internet]. 1999, 81(3), 227-234. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/S0007114599000422>
- [10] FAO. (2010). Assessment of greenhouse gas emissions and mitigation potential. Disponible en: <https://www.fao.org/gleam/results/en/>
- [11] European Environment Agency. (2018). Annual European Union greenhouse gas inventory 1990-2016 and inventory report 2018. Submission to the UNFCCC Secretariat. <https://www.eea.europa.eu/publications/european-union-greenhouse-gas-inventory-2018>
- [12] J. Carmona, D. Bolívar, y L. Giraldo. El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias [Internet]. 2005, 18(1), 49-63. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rccpv18n1/v18n1a06.pdf>
- [13] K. Johnson, y D. Johnson. Methane emissions from cattle. Journal of Animal Science [Internet]. 1995, 73(8), 2483-2492. Disponible en: <https://doi.org/10.2527/1995.7382483x>
- [14] P. Van Soest. (1994). Nutritional Ecology of the Ruminant. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=mwUu6PL1UgC&pg=PP1&pg=PA1#v=onepage&q&f=false>
- [15] R. Eckard, C. Grainger, y C. Klein. Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: A review. Livestock Science [Internet]. 2010, 130(1-3), 47-56. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.02.010>
- [16] A. Leip, G. Billen, J. Garnier, B. Grizzetti, L. Lassaletta, S. Reis, D. Simpson, M. Sutton, W. Vries, y F. Weiss. Impacts of European livestock production: nitrogen, sulphur, phosphorus and greenhouse gas emissions, land-use, water eutrophication and biodiversity. Environmental Research Letters [Internet]. 2015, 10(11), 1-13. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/10/11/115004>
- [17] K. Blaxter, y J. Clapperton. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. British Journal of Nutrition [Internet]. 1965, 19(1), 511-522. Disponible en: <https://doi.org/10.1079/BJN19650046>
- [18] L. Monsalve. (2003). Suplementación de una gramínea tropical con leguminosas y Sapindus saponaria: Efectos sobre la fermentación ruminal y la metanogénesis in vitro [Tesis de Grado, Universidad Santa Rosa de Caball].
- [19] S. Woodward, G. Waghorn, M. Ulyatt, y K. Lassey. Early indications that feeding Lotus will reduce methane emissions from ruminants. Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production [Internet]. 2001, 61, 23-26. Disponible en: <https://www.nzsap.org/system/files/proceedings/2001/ab01007.pdf>
- [20] H. Hess, T. Tiemann, F. Noto, S. Franzel, C. Lascano, y M. Kreuzer. The effects of Cultivation Site on Forage Quality of Calliandra Turus (Bovidae). Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural [Internet]. 2013, 17(1), 73-80. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10457-006-9010-0>
- [21] B. Mohammed. (2018). Efecto de la calidad de la dieta y el nivel de la fibra en la cinética de digestión y la producción de metano en bovino lechero (tesis de doctorado). Universidad Autónoma del Estado de México, Estado de México, México. Disponible en: <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/79746>
- [22] J. Albarracín, F. Henao, y J. Estrada. Impacto de tres dietas basadas en forrajes sobre la producción de metano y ácidos grasos volátiles en Bos Turus (Bovidae). Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural [Internet]. 2013, 17(1), 73-80. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-30682013000100007&lang=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-30682013000100007&lang=es)
- [23] A. Berça, A. Cardoso, V. Longhini, L. Tedeshi, R. Boddey, A. Berndt, R. Reis, y A. Ruggieri, A. Methane production and nitrogen balance of dairy heifers grazing palisade grass cv. Marandu alone or with forage peanut. Journal of Animal Science [Internet]. 2019, 97(11), 4625-4634. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/jas/skz310>
- [24] Moate, S. Williams, M. Hannah, R. Eckard, M. Auld, B. Ribaux, J. Jacobs, W. Wales. Effects of feeding algal meal high in docoheaxaenoic acid on feed intake, milk production, and methane emissions in dairy cows. Journal of Dairy Science [Internet]. 2013, 96(5), 3177-3188. Disponible en: <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6168>
- [25] A. Neto, J. Messana, L. Rossi, I. Carvalho, y T. Berchielli. Methane emissions from Nelore bulls on pasture fed two levels of starch-based supplement with or without a source of oil. Animal Production Science [Internet]. 2018, 59(4), 654-663. Disponible en: <https://doi.org/10.1071/AN16095>
- [26] N. Anantasook, M. Wanapat, y A. Cherdthong. Manipulation of ruminal fermentation and methane production by supplementation of rain tree pod meal containing tannins and saponins in growing dairy steers. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition [Internet]. 2013, 98(1), 50-55. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/jpn.12029>



- [27] M. Cajaleon y T. Salvador. (2019). Dieta alimenticia em bovinos de crianza extensiva para reducir gases de efecto invernadero en la ganadería Campo Dorado, Huallanca, 2019 (Tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/49602>
- [28] J. Goopy, D. Korir, I. Ali, S. Wassie, E. Schlecht, U. Dickhoefer, Merbold, y K. Butterbach. Severe below-maintenance feed intake increases methane yield from enteric fermentation in cattle. *British Journal of Nutrition* [Internet]. 2020, 123(11), 1239-1246. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/S0007114519003350>
- [29] R. Hulshof, A. Berndt, W. Gerrits, J. Dijkstra, S. Van Zijderveld, J. Newbold, y H. Perdok. Dietary nitrate supplementation reduces methane emission in beef cattle fed sugarcane-based diets. *Journal of Animal Science* [Internet]. 2012, 90(7), 2317-2323. Disponible en: <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4209>
- [30] J. Van Wyngaard, R. Meeske y L. Erasmus. Effect of dietary nitrate on enteric methane emissions, production performance and rumen fermentation of dairy cows grazing kikuyu-dominant pasture during summer. *Animal Feed Science and Technology* [Internet]. 2018, 244, 76-87. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2018.08.005>
- [31] A. Alemu, A. Romero, R. Araujo, y K. Beauchemin. Effect of encapsulated nitrate and microencapsulated blend of essential oils on growth performance and methane emissions from beef steers fed backgrounding diets. *Animals* [Internet]. 2019, 9(1), 1-19. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ani9010021>
- [32] D. Van Wesemael, L. Vandaele, B. Ampe, H. Cattryse, S. Duval, M. Kindermann, V. Fievez, S. De Campeneere, y N. Peiren. Reducing enteric methane emissions from dairy cattle: Two ways to supplement 3-nitrooxypropanol. *Journal of Dairy Science* [Internet]. 2019, 102(2), 1780-1787. Disponible en: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14534>
- [33] A. Romero, E. Okine, S. McGinn, L. Guan, M. Oba, D. Duval, M. Kindermann, y K. Beauchemin. Sustained reduction in methane production from long-term addition of 3-nitrooxypropanol to a beef cattle diet. *Journal of Animal Science* [Internet]. 2015, 93(4), 1780-1791. Disponible en: <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8726>
- [34] I. Molina, E. Angarita, O. Mayorca, J. Chará, y R. Barahona. Effect of *Leucaena leucocephala* on methane production of lucerna heifers fed a diet based on *Cynodon plectostachyus*. *Livestock Science* [Internet]. 2016, 185, 24-29. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.01.009>
- [35] M. Montoya, I. Molina, J. Arango, J. Romano, F. Solorio, C. Aguilar, y J. Ku-Vera. Effect of dried leaves of *Leucaena leucocephala* on Rumen Fermentation, Rumen Microbial Population, and Enteric Methane Production in Crossbred Heifers. *Animals* [Internet]. 2020, 10(2), 300. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/ani10020300>
- [36] A. Piñeiro, J. Canul, G. Jimenez, J. Alayón, A. Chay, A. Ayala, C. Aguilar, J. Ku-Vera. Effect of condensed tannin from *Leucaena leucocephala* on rumen fermentation, methane production and population of rumen protozoa in heifers fed low-quality forage. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* [Internet]. 2017, 31(11), 1738-1746. Disponible en: <https://doi.org/10.5713/ajas.17.0192>
- [37] P. Kennedy y E. Charmley. Methane yields from Brahman cattle fed tropical grasses and legumes. *Animal Production Science* [Internet]. 2012, 52(4), 225-239. Disponible en: <https://doi.org/10.1071/AN11103>
- [38] I. Molina, M. Montoya, L. Zavala, R. Barahona, J. Arango, y J. Ku-Vera. Effects of long-term diet supplementation with *Gliricidia sepium* foliage mixed with *Enterolobium cyclocarpum* pods on enteric methane, apparent digestibility, and rumen microbial population in crossbred heifers. *Journal of Animal Science* [Internet]. 2019, 97(4), 1619-1633. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/jas/skz067>
- [39] S. Valencia, A. Piñeiro, I. Molina, B. Lazos, J. Uuh, M. Segura, L. Ramírez, F. Solorio, y K. Ku. Potential of *Samanea saman* pod meal for enteric methane mitigation in crossbred heifers fed low-quality tropical grass. *Agricultural and Forest Meteorology* [Internet]. 2018, 258, 108-116. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.12.262>
- [40] A. Bayat, L. Ventto, P. Kairenius, T. Stefanski, H. Leskinen, I. Tapio, E. Negussie, J. Vilkkki, y K. Shingfield. Dietary forage to concentrate ratio and sunflower oil supplement alter rumen fermentation, ruminal methane emissions, and nutrient utilization in lactating cows. *Translational Animal Science* [Internet]. 2017, 1(3), 277-286. Disponible en: <https://doi.org/10.2527/tas2017.0032>
- [41] B. Mata e Silva, F. Lopes, L. Pereira, T. Tomich, M. Morenz, C. Martins, C. Gomide, D. Paciullo, R. Mauricio, A. Chaves. Effect of sunflower oil supplementation on methane emissions of dairy cows grazing *Urochloa brizantha cv. marandu*. *Animal Production Science* [Internet]. 2017, 57(7), 1431-1436. Disponible en: <https://doi.org/10.1071/AN16470>
- [42] A. Bayat, I. Tapio, J. Vilkkki, K. Shingfield, y H. Leskinen. Plant oil supplements reduce methane emissions and improve milk fatty acid composition in dairy cows fed grass silage-based diets without affecting milk yield. *Journal of Dairy Science* [Internet]. 2017, 101(2), 1136-1151. Disponible en: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13545>
- [43] I. Carvalho, C. De Fiorentini, A. Berndt, P. Castagnino, J. Messana, R. Shiraiishi, R. Andrade, y T. Berchielli. Performance and methane emissions of Nellore steers grazing tropical pasture supplemented with lipid sources. *Revista Brasileira de Zootecnia* [Internet]. 2016, 45(12), 760-767. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/S1806-92902016001200005>
- [44] A. Neto, J. Messana, L. Rossi, I. Carvalho, y T. Berchielli. Effect of starch-based supplementation level combined with oil on intake, performance, and methane emissions of growing Nellore bulls on pasture. *Journal of Animal Science* [Internet]. 2015, 59(4), 654-663. Disponible en: <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8500>
- [45] M. Pirondini, S. Colombini, M. Mele, L. Malagutti, L. Rapetti, G. Galassi, y G. Croveto. Effect of dietary starch concentration and fish oil supplementation on milk yield and composition, diet digestibility, and methane emissions in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* [Internet]. 2014, 98(1), 357-372. Disponible en: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8092>
- [46] F. Benchaar, R. Hassanat, P. Gervais, Y. Chouinard, C. Julien, H. Petit, y D. Massé. Effects of increasing amounts of corn dried distillers grains with solubles in dairy cow diets on methane production, ruminal fermentation, digestion, N balance, and milk production. *Journal of Dairy Science* [Internet]. 2013, 96(4), 2413-2427. Disponible en: <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6037>
- [47] M. Villar, R. Hegarty, J. Nolan, I. Godwin, y M. McPhee. The effect of dietary nitrate and canola oil alone or in combination on fermentation, digesta kinetics and methane emissions from cattle. *Animal Feed Science and Technology* [Internet]. 2020, 259, 114294. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2019.114294>
- [48] L. Perry, R. Al Jamin, J. Gaughan, y N. Tomkins. Effect of feeding forage characteristic of wet-or dry-season tropical C4 grass in northern Australia, on methane production, intake and rumen outflow rates in Boss indicus steers. *Animal Production Science* [Internet]. 2016, 57(10), 2033-2041. Disponible en: <https://doi.org/10.1071/AN15314>
- [49] I. Aboagye, M. Oba, K. Koenig, G. Zhao, y K. Beauchemin. Use of gallic acid and hydrolyzable tannin to reduce methane emission and nitrogen excretion in beef cattle fed a diet containing alfalfa silage. *Journal of Animal Science* [Internet]. 2019, 97(5), 2230-2244. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/jas/skz101>
- [50] I. Aboagye, M. Oba, A. Ramon, K. Koenig, A. Iwaasa y K. Beauchemin. Effects of hydrolyzable tannin with or without condensed tannin on methane emissions, nitrogen use, and performance of beef cattle fed a high-forage diet. *Journal of Animal Science* [Internet]. 2018, 96(12), 5276-5286. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/jas/sky352>
- [51] J. Montenegro, E. Barrantes, y S. Ivankovich. Cuantificación de metano entérico según estado fisiológico en vacas lecheras de alta producción en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* [Internet]. 2019, 44(1), 79-92. Disponible en: <https://doi.org/10.15517/RAC.V44I1.40003>
- [52] A. Ali, S. Wassie, D. Korir, L. Merbold, J. Goopy, K. Butterbach, U. Dickhoefer, y E. Schlecht. Supplementing Tropical Cattle for Improved Nutrient Utilization and Reduced Enteric Methane Emissions. *Animals* [Internet]. 2019, 9(5), 1-17. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.3390/ani9050210>
- [53] N. Martín, G. de Jesús, N. Arenas, y V. Herrera. Alternativas nutricionales para disminuir emisiones de gas metano por bovinos y su efecto en el calentamiento global. *Revista de la Facultad de Ciencias Agropecuarias* [Internet]. 2020, 3(1), 8-17. Disponible en: <https://doi.org/10.36436/24223484.216>
- [54] J. Cardona, L. Mahecha, y J. Angulo. Arbustivas forrajeras y ácidos grasos: estrategias para disminuir la producción de metano entérico en bovinos. *Agronomía Mesoamericana* [Internet]. 2016, 28(1), 273-288. Disponible en: <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.21466>