



UNIVERSIDAD  
**SAN SEBASTIAN**  
VOCACIÓN POR LA EXCELENCIA

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA NATURALEZA  
ESCUELA DE MEDICINA VETERINARIA  
CARRERA MEDICINA VETERINARIA  
SEDE CONCEPCIÓN**

**INCLUSIÓN DE *ASPARAGOPSIS SPP.* COMO ESTRATEGIA DE  
MITIGACIÓN DE METANO ENTÉRICO EN RUMIANTES PARA UNA  
PRODUCCIÓN GANADERA SOSTENIBLE.**

**REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.**

Memoria para optar al título de Médico Veterinario.



Dr. Marcos Pedreros Díaz  
Médico Veterinario  
RUT: 5.731.529-6

Profesor Tutor: Mg. Marcos José Pedreros Díaz. MV

Estudiante: **Camila Javiera Salazar Aguilera.**

**® Camila Javiera Salazar Aguilera, Marcos José Pedreros Díaz.**

Se autoriza la reproducción parcial o total de esta obra, con fines académicos, por cualquier forma, medio o procedimiento, siempre y cuando se incluya la cita bibliográfica del documento.

Concepción, Chile  
2024

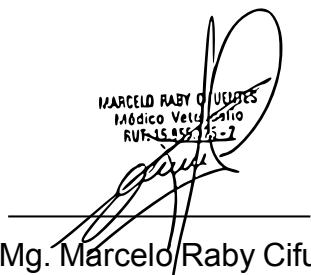
## CALIFICACIÓN DE LA MEMORIA

En Concepción, el día 9 de julio de 2024, los abajo firmantes dejan constancia que la estudiante **CAMILA JAVIERA SALAZAR AGUILERA** de la carrera de MEDICINA VETERINARIA ha aprobado la memoria para optar al título de MEDICO VETERINARIO con una nota **6.4**.



Mg. Mónica Araya Opitz

Profesor Evaluador



MARCELO RABY CIFUENTES  
Médico Veterinario  
RUF-15.455.735-7

Mg. Marcelo Raby Cifuentes

Profesor Evaluador



DR. MARCOS PEDREROS DIAZ  
MEDICO VETERINARIO  
RUT: 5.731.529-6

Mg. Marcos Pedreros Díaz

Profesor patrocinante

## TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS .....	5
3. MATERIAL Y MÉTODO.....	6
4. RESULTADOS.....	9
5. DISCUSIÓN.....	14
6. CONCLUSIONES .....	18
7. REFERENCIAS.....	19
8. ANEXOS.....	26

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Clasificación de revistas según su procedencia y peso bibliográfico .....	9
<b>Tabla 2.</b> Potencial de reducción de metano entérico de acuerdo con la dosis de <i>Asparagopsis spp.</i> como aditivo dietético en rumiantes según la fuente de información .....	11
<b>Tabla 3.</b> Implicancias en la salud y productividad animal del uso de <i>Asparagopsis spp.</i> como aditivo dietético para la mitigación de metano entérico, según la especie y fuente de información .....	12

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Emisiones globales de gases de efecto invernadero emitidos por la industria ganadera.....	26
--	----

**Figura 2.** La nueva pirámide propuesta para la medicina basada en la evidencia.....27

## RESUMEN

El panel intergubernamental de expertos sobre el cambio climático advirtió que nos encontramos en un momento crítico para enfrentar con éxito el desafío más importante de nuestro tiempo: el cambio climático. Este fenómeno, vinculado a las emisiones de gases de efecto invernadero, ha provocado un aumento en la temperatura global, generando una serie de impactos negativos para los humanos, animales y el medio ambiente. La ganadería juega un papel importante en este escenario, debido a que los rumiantes durante su digestión producen metano por lo que la incorporación de algas del género *Asparagopsis spp.* en la dieta ha surgido como una estrategia ecológica prometedora para mitigar dicho gas. Debido a la importancia de esta problemática y al creciente interés en torno al cambio climático, surgió la pregunta ¿Es efectiva la utilización de *Asparagopsis spp.* como aditivo dietético para la mitigación de metano entérico en rumiantes? Para responder a la pregunta anterior, en el presente estudio se realizó una búsqueda de información proveniente de revistas científicas, identificada mediante palabras clave y términos de búsqueda, la cual se organizó en nivel jerárquico según su relevancia académica, tipo de estudio, factor de impacto, autor(es) y año. Se utilizó el método descriptivo para la confección de una revisión bibliográfica de diseño no experimental, considerando las siguientes variables: especie, *Asparagopsis spp.*, dosis, eficacia de reducción de metano entérico y efectos en la salud y productividad animal; con el objetivo de fundamentar el uso de *Asparagopsis spp.* como aditivo dietético para la mitigación de metano entérico en rumiantes, identificando su potencial de reducción y su impacto en la salud y productividad animal. Los resultados indicaron que *Asparagopsis spp.* demostró una capacidad variable para mitigar el metano que pueden oscilar entre el 2% y el 98% dependiendo de la dosis administrada y la especie de rumiante. No obstante, dosis elevadas pueden provocar efectos indeseados como cambios en la composición de la leche, disminución en la producción láctea, presencia de residuos en subproductos, entre otros. A pesar de ello, se observó que el uso de dosis bajas de *Asparagopsis spp.* puede tener una alta tasa de éxito sin impactos significativos en la salud o la productividad animal, incluso podría asociarse con beneficios adicionales, como una mejora en la eficiencia de conversión energética.

**Palabras clave:** rumiantes, ganadería, metano, entérico, asparagopsis, GEI.

## ABSTRACT

The intergovernmental panel of experts on climate change warned that we are at a critical moment to successfully face the most important challenge of our time: climate change. This phenomenon, linked to greenhouse gas emissions, has caused an increase in global temperature, generating a series of negative impacts for humans, animals and the environment. Livestock plays an important role in this scenario, since ruminants produce methane during digestion, and the incorporation of algae of the genus *Asparagopsis* spp. in the diet has emerged as a promising ecological strategy to mitigate this gas. Due to the importance of this issue and the growing interest in climate change, the question arose: Is the use of *Asparagopsis* spp. as a dietary additive for the mitigation of enteric methane in ruminants effective? To answer the above question, a search for information from scientific journals, identified by keywords and search terms, was carried out in the present study, which was organized in hierarchical level according to academic relevance, type of study, impact factor, author(s) and year. The descriptive method was used for the preparation of a literature review of non-experimental design, considering the following variables: species, *Asparagopsis* spp, dose, enteric methane reduction efficacy and effects on animal health and productivity; with the objective of supporting the use of *Asparagopsis* spp. as a dietary additive for the mitigation of enteric methane in ruminants, identifying its reduction potential and its impact on animal health and productivity. The results indicated that *Asparagopsis* spp. demonstrated a variable capacity to mitigate methane that can range from 2% to 98% depending on the dose administered and the ruminant species. However, high doses can cause undesirable effects such as changes in milk composition, decrease in milk production, presence of residues in by-products, among others. In spite of this, it was observed that the use of low doses of *Asparagopsis* spp. can have a high success rate without significant impacts on animal health or productivity, and could even be associated with additional benefits, such as an improvement in energy conversion efficiency.

**Key words:** ruminants, livestock, methane, enteric, asparagopsis, GHG.

## 1. INTRODUCCIÓN

El panel intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC por sus siglas en inglés) advierte que nos encontramos en un momento crítico para enfrentar con éxito el desafío más importante de nuestro tiempo: el cambio climático (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023). Este fenómeno se caracteriza por modificaciones a largo plazo en la temperatura y patrones climáticos del planeta, que pueden ser atribuidos a factores naturales o a las acciones humanas (Mahmoud y Gan, 2018).

Los investigadores afirman que el clima se ha visto afectado en todo el mundo a una escala sin precedentes, la temperatura de la superficie de la Tierra ha sufrido un notorio aumento de 1,1 °C respecto a los niveles previos a la revolución industrial (Mukhtar, 2020). Este récord es impulsado por los gases de efecto invernadero (GEI), que atrapan el calor en el planeta impidiendo que se libere al espacio causando el efecto invernadero, que en su esencia no es nocivo, ya que sin él las condiciones en nuestro planeta serían extremadamente frías, lo que haría imposible la existencia de la vida como la conocemos (Ivanovich et al., 2023; Kweku et al., 2018).

El problema actual radica en que la concentración de estos gases ha alcanzado niveles alarmantes (Malhi et al., 2021), según el informe del estado del clima de la Organización Meteorológica Mundial, el sector agropecuario es una de las principales fuentes antropogénicas de GEI, contribuyendo con la emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), los cuales han alcanzado máximos históricos desde el año 1900 aumentado un 149%, 262% y 124% respectivamente (Tarasova et al., 2023). Este fenómeno puede atribuirse en parte al rápido crecimiento de la población que ha provocado un aumento en la demanda de productos animales para satisfacer las necesidades alimentarias de la población (Forabosco et al., 2017).

De acuerdo con las investigaciones, la producción ganadera aporta aproximadamente el 19,6% de las emisiones globales de GEI causadas por la actividad humana (Xu et al., 2021). Dentro de las especies de animales criadas para la producción, los rumiantes son los que contribuyen en mayor medida con la emisión de GEI, esto se debe principalmente



a que presentan un complejo sistema digestivo que les permite aprovechar al máximo los recursos alimenticios, caracterizándose por la presencia de un estómago con cuatro compartimentos: retículo, rumen, omaso y abomaso (Clauss et al., 2010; Clauss y Hummel, 2017). A diferencia de los animales monogástricos que degradan el alimento mediante enzimas secretadas por ellos mismos, los rumiantes albergan en el rumen una comunidad de microorganismos compuesta por bacterias, protozoos, arqueas y hongos que le permiten descomponer carbohidratos estructurales complejos presentes en el material vegetal a través de un proceso de fermentación para obtener ácidos grasos volátiles (AGV) que los animales utilizan como fuente de energía (Castillo et al., 2014). Durante este proceso se liberan subproductos que son utilizados por las arqueas del rumen para producir metano con el fin de obtener energía para el crecimiento microbiano (Bonilla et al., 2020; Newbold y Ramos, 2020), a pesar de que este proceso juega un rol fundamental para la degradación de los alimentos, el metano no es parte de la nutrición del animal y por ende debe ser expulsado al medio ambiente (Martínez et al., 2022). Los bovinos son los principales responsables de la generación de este gas que es 28 veces más potente que el dióxido de carbono en términos de calentamiento global (Króliczewska et al., 2023). En efecto, una sola vaca puede producir anualmente hasta 100 kg de CH<sub>4</sub>, equivalente a las emisiones de GEI de un automóvil a gasolina promedio que recorre alrededor de 11.500 km (Ormond, 2020; Meadowa, 2022). Con más de 1.500 millones de cabezas de ganado vacuno en el mundo esta contribución representa un valor significativo para la huella ambiental global (Meissner et al., 2023).

Las evidencias del cambio climático acelerado son irrefutables y cada vez son más frecuentes las alteraciones climáticas que perturban el equilibrio natural del planeta (Zhao et al. 2022). Las temperaturas en constante aumento provocan una mayor incidencia de fenómenos meteorológicos extremos y de manera más crítica conducen a la escasez de alimentos, aumento de enfermedades emergentes y/o zoonóticas e incluso a la extinción de algunas especies (Zinabu et al. 2018). En este contexto, el cambio climático representa una de las amenazas más importantes para la supervivencia de la humanidad, los animales y el medio ambiente en el siglo XXI (Chan, 2018).

Ante el progresivo aumento de los GEI por parte de la industria ganadera y a la urgencia para minimizar y compensar las consecuencias del cambio climático, se han propuesto estrategias de mitigación para reducir la contribución al calentamiento global y con ello la velocidad e intensidad del cambio climático (Reisinger et al., 2021). Estas medidas están orientadas principalmente a modular la fermentación ruminal ya que de este proceso es responsable de una gran emisión de gases de efecto invernadero dentro del sector (Figura 1) (Congio et al. 2021; Yan et al., 2024).

La utilización de algas rojas del género *Asparagopsis spp.* está recibiendo cada vez más atención por parte de la comunidad científica como una opción ecológica para la mitigación de metano entérico en rumiantes, su potencial de reducción puede atribuirse a varios compuestos, pero la molécula principal de interés es el bromoformo ( $\text{CHBr}_3$ ) (Lileikis et al. (2023) que es capaz de reaccionar con la vitamina  $\text{B}_{12}$  para bloquear la actividad de la enzima MTR, responsable de la síntesis de metil-CoM en la penúltima etapa de la metanogénesis limitando así la producción de metano (Machado et al. 2016). Esto ofrece resultados prometedores en las investigaciones in vitro logrando reducir hasta el 99% del metano emitido (Stefoni et al. 2021; O'Hara et al.,2023).

Las investigaciones en rumiantes han enfocado su atención principalmente en *Asparagopsis taxiformis*, debido a su alto contenido de  $\text{CHBr}_3$ , estudios complementarios se han llevado a cabo en *Asparagopsis armata*, otra especie con propiedades similares, pero con una menor eficacia (Roque et al., 2019; Roque et al., 2021). Además de su potencial mitigador de metano, estas algas ofrecen beneficios adicionales como el aumento de la eficiencia de conversión alimenticia y el aumento la producción de leche, carne o lana, sin alterar la calidad de estos productos cuando se utilizan dosis adecuadas (Black et al., 2021). Sin embargo, la variabilidad en la composición del alga, la palatabilidad, los costos y la biodisponibilidad obstaculizan el estudio y desarrollo de esta medida de mitigación (Hristov et al., 2022). Diversos estudios indican que esta estrategia de mitigación es superior a otros aditivos dietéticos investigadas, tales como 3-nitrooxipropanol, flavonoides, nitratos, aceites naturales y ionóforos, logrando niveles más de reducción con efectos no deseados bajos en comparación con las otras

alternativas (Black et al., 2021; Fouts et al., 2022; Baceninaite et al., 2022; Davidson et al., 2020).

Existen varios métodos para cuantificar las emisiones de metano entérico en rumiantes, entre de ellos el más implementado es la utilización de hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) como gas marcador, esta técnica se basa en colocar un dispositivo en el rumen del animal, luego se recoge una muestra de aire exhalado y se mide la concentración de metano y SF<sub>6</sub>, por lo tanto, la relación entre éstas permite calcular la cantidad de metano emitido por el animal sin causar ninguna alteración en la dieta o en su comportamiento (Montenegro et al., 2020; Tedeschi et al., 2022). También, se puede utilizar cámaras de respiración de animales ya sea con el animal completo o mascarar faciales, así como técnicas de muestreo puntual en donde se miden la concentración de metano en el aliento de animales durante periodos cortos de tiempo (Tedeschi et al., 2022)

A pesar de la importancia de reducir los GEI, la implementación de estrategias de mitigación suele enfrentar obstáculos en la práctica, la falta de incentivos económicos, la resistencia al cambio y las limitaciones tecnológicas son solo algunas de las barreras que deben superarse, por lo tanto, el uso de alternativas ecológicas, la formulación de políticas públicas favorables y la concientización de la sociedad son herramientas esenciales para impulsar la adopción de prácticas sostenibles en la industria ganadera puesto que reducir las emisiones de gases perjudiciales es fundamental no solo desde una perspectiva ética, sino también desde una perspectiva práctica, para preservar nuestro planeta y garantizar un futuro sostenible y resiliente para las futuras generaciones (Pryce y Makonnen, 2020; Velastegui, 2023).

Por lo anteriormente expuesto, surge la siguiente pregunta investigativa: ¿Es efectiva la utilización de *Asparagopsis spp.* como aditivo dietético para la mitigación del metano entérico en rumiantes?

Para responder a la pregunta anterior, el objetivo de este estudio es recopilar reportes y datos científicos para identificar el potencial de reducción de metano de acuerdo con la dosis y el impacto en la salud y productividad de su uso de *Asparagopsis spp.* como estrategia de mitigación, para favorecer practicas ganaderas sostenibles para la preservación del planeta y así abordar de manera efectiva el cambio climático.

## 2. OBJETIVOS

### **Objetivo general**

Fundamentar el uso de *Asparagopsis spp.* como aditivo dietético para la mitigación de metano entérico en rumiantes en base a publicaciones científicas

### **Objetivos específicos**

1. Identificar datos cuantitativos sobre el potencial de reducción de metano del uso de *Asparagopsis spp.* como aditivo dietético en rumiantes.
2. Identificar el impacto en la salud y productividad animal del uso de *Asparagopsis spp.* como aditivo dietético para la mitigación de metano entérico en rumiantes.

### **3. MATERIAL Y MÉTODO**

#### **3.1.- Materiales**

- MacBook Pro-Apple
- Microsoft office

#### **3.2. Obtención y selección de material bibliográfico**

La localización del material bibliográfico se realiza mediante la búsqueda en las bases de datos proporcionadas por la Universidad San Sebastián, sede Concepción tales como Web of Science, Oxford Academic, Scopus y Science Direct. Así como el metabuscador Pubmed.

Para ello, se consideran las especies de rumiantes utilizadas en la producción ganadera que contribuyen en mayor medida en las emisiones de gases de efecto invernadero:

- Bovinos (Bos taurus) (Bos indicus)
- Ovinos (Ovis orientalis aries)
- Caprinos (Capra aegagrus hircus)

##### **3.2.1. Criterios de búsqueda**

Para ubicar los artículos en las bases de datos se utilizan los siguientes términos de búsqueda:

- Ganaderia / Livestock
- Rumiantes / Ruminants
- Metano / Methane
- Entérico / Enteric
- Asparagopsis

Dichos términos de búsqueda se utilizan bajo diferentes combinaciones, los cuales serán separados por los operadores booleanos “and” y “or” para así evitar que se excluyan aquellos artículos relevantes para el tema en cuestión. Las combinaciones que se utilizan para la localización del material bibliográfico fueron las siguientes:

-Ganadería AND mitigación AND metano AND asparagopsos/Livestock AND mitigation AND methane AND asparagopsis

-Rumiantes AND mitigación AND metano AND asparagopsis/Ruminants AND mitigation AND methane

Se seleccionan artículos en español e inglés, siendo este último el idioma de preferencia. La selección de material científico se limita a artículos con fecha desde el año 2019 en adelante, con la excepción de algunos estudios que se utilizan para poner en contexto los resultados que se ofrecen en esta revisión, en los casos en que no se dispone de datos actualizados en estos temas específicos.

### **3.2.2. Criterios de inclusión**

Se incluyen artículos científicos e investigaciones en idioma inglés y español provenientes de revistas científicas cuya temática esté relacionada al uso de *Asparagopsis spp.* en la dieta de rumiantes y su potencial de efectividad en la reducción de metano entérico, publicadas entre los años 2019 y 2024.

### **3.2.3. Criterios de exclusión**

Se excluyen datos sobre la eficacia de *Asparagopsis spp.* como aditivo dietético en la mitigación de metano entérico que estén expresados en términos distintos al porcentaje y que no se mencione la dosis utilizada, especies de rumiantes distintas a las de interés (bovinos, ovinos y caprinos) y el uso de otros aditivos o estrategias de mitigación en asociación con *Asparagopsis spp.* También se eliminan fuentes de información que excedan la ventana temporal exceptuando aquellos documentos utilizados para definiciones o para dar contexto.

### **3.2.4. Valorización de las referencias**

Las publicaciones seleccionadas se clasifican según nivel jerárquico (Figura 2) planteado por Murad et al. (2016).

### 3.3. Método

Esta investigación está basada en un formato de memoria de título teórica, en la que se recopila material bibliográfico proveniente de publicaciones y textos científicos, empleando el método descriptivo para la confección de una revisión bibliográfica de diseño no experimental, considerando las siguientes variables: especie, *Asparagopsis spp*, dosis utilizada, eficacia de reducción de metano entérico en términos de porcentaje y efectos en la salud y productividad animal. La metodología que se utiliza para la búsqueda del material bibliográfico se realiza a través de la lectura de aquellos artículos científicos que estuvieron en correspondencia el uso de *Asparagopsis spp* como aditivo dietético para la mitigación de metano entérico en rumiantes que se encuentren publicados en las bases de datos, metabuscadores y/o motores de búsqueda señalados. Se realiza la recopilación de la información y finalmente la selección del material que se incluye en esta revisión con el fin de fundamentar el uso de *Asparagopsis spp*. como aditivo dietético para la mitigación de metano entérico en rumiantes.

Para el cumplimiento de los objetivos específicos, se presentan datos cuantitativos sobre el potencial de reducción de metano de *Asparagopsis spp* añadido a la dieta de rumiantes y datos cualitativos respecto al impacto en la salud y productividad animal de acuerdo con la dosis utilizada. Para facilitar la comprensión y presentación de los resultados obtenidos, se ordenan en tablas para resumir los datos de manera clara y concisa. El presente corresponde a un estudio de carácter correlacional, observacional y descriptivo.

## 4. RESULTADOS

Una vez realizada la búsqueda se encuentran 303 publicaciones en las distintas bases de datos y metabuscadores utilizados, las cuales se seleccionan en primera instancia a través de título, palabras claves y resumen concordantes con los objetivos de esta revisión. Se estas, se seleccionan 53 artículos para luego realizar una lectura completa de estos, llegando así a un resultado de 20 artículos. La información que se utiliza se agrupa de acuerdo con los siguientes aspectos: peso académico, tipo de estudio, revista, autor (es), año de publicación y factor impacto detallado en tabla 1.

**Tabla 1:** Clasificación de revistas según su procedencia y peso bibliográfico

PESO ACADÉMICO	REVISTA	AUTOR (ES)	TÍTULO DE LA PUBLICACIÓN	FACTOR IMPACTO
Web of Science: Estudios experimentales	Journal of Cleaner Production	Roque et al. (2019)	Inclusion of <i>Asparagopsis armata</i> in lactating dairy cows' diet reduces enteric methane emission by over 50 percent	9.7
	Journal of Cleaner Production	Kinley et al., (2020)	Mitigating the carbon footprint and improving productivity of ruminant livestock agriculture using a red seaweed	9.7
	Journal of Dairy Science	Stefenoni et al. (2021)	Effects of the macroalga <i>Asparagopsis taxiformis</i> and oregano leaves on methane emission, rumen fermentation, and lactational performance of dairy cows	3.7
	Plos One	Roque et al. (2021)	Red seaweed ( <i>Asparagopsis taxiformis</i> ) supplementation reduces enteric methane by over 80 percent in beef steers	2.9
	Animal Feed Science and Technology	Williams et al. (2024)	The effects of feeding liquid or pelleted formulations of <i>Asparagopsis armata</i> to lactating dairy cows on methane production, dry matter intake, milk production and milk composition	2.5
	Livestock Science	Eikanger et al. (2024)	<i>Asparagopsis taxiformis</i> inclusion in grass silage-based diets fed to Norwegian red dairy cows: Effects on ruminal fermentation, milk yield, and enteric methane emission	1.8
Web of Science: Metaanálisis	Animals	Pepeta et al., 2024	Quantifying the Impact of Different Dietary Rumen Modulating Strategies on Enteric Methane Emission and Productivity in Ruminant Livestock: A Meta-Analysis	2.7
Web of Science: Revision bibliografica	Sustainable Production and Consumption	Nilsson y Martin. (2021)	Exploratory environmental assessment of large-scale cultivation of seaweed used to reduce enteric methane emissions	10.9



Journal of Cleaner Production	Ridoutt et al. (2022)	Potential GHG emission benefits of <i>Asparagopsis taxiformis</i> feed supplement in Australian beef cattle feedlots	9.7
Science of The Total Environment	Wanapat et al. (2024)	Potential use of seaweed as a dietary supplement to mitigate enteric methane emission in ruminants	8.2
Animal	Beauchemin et al. (2020)	Fifty years of research on rumen methanogenesis: lessons learned and future challenges for mitigation	4
Agriculture	Króliczewska et al., 2023	Strategies Used to Reduce Methane Emissions from Ruminants: Controversies and Issues	3.3
Sustainability	Seyedin et al. (2022)	Methane Emission: Strategies to Reduce Global Warming in Relation to Animal Husbandry Units with Emphasis on Ruminants	3.3
Sustainability	Palangi et al., 2022	Strategies to Mitigate Enteric Methane Emissions in Ruminants: A Review	3.3
Animal Frontiers	Davidson et al., 2020	Red meat—an essential partner to reduce global greenhouse gas emissions	3.2
Animals	Bacenaite et al. (2022)	Global Warming and Dairy Cattle: How to Control and Reduce Methane Emission	2.7
Animals	Black et al. (2021)	Methane Emissions from Ruminants in Australia: Mitigation Potential and Applicability of Mitigation Strategies	2.7
Frontiers in Animal Science	Ungerfeld et al., 2022	Current Perspectives on Achieving Pronounced Enteric Methane Mitigation from Ruminant Production	2.1
Translational Animal Science	Fouts et al. (2022)	Enteric methane mitigation interventions	1.3
Animal Production Science	Honan et al., 2022	Feed additives as a strategic approach to reduce enteric methane production in cattle: modes of action, effectiveness and safety	1.3

Nota: El factor impacto cuantifica el promedio de cuantas veces ha sido citado un artículo en el periodo de un año y se utiliza para evaluar la influencia o prestigio de una revista.

Para cumplir con el primer y tercer objetivo específico, cada artículo científico seleccionado proporciona información sobre la especie utilizada, dosis y porcentaje de reducción de metano entérico, tal como se muestra en la tabla 2.

**Tabla 2:** Potencial de reducción de metano entérico de acuerdo con la dosis de *Asparagopsis spp.* como aditivo dietético en rumiantes según la fuente de información

ESPECIE	DOSIS EN BASE A LA MS	REDUCCIÓN DE CH <sub>4</sub>	AUTOR (ES)
Bovinos lecheros	0,5% 1%	26,4% 67,2%	Roque et al. (2019)
Bovinos de carne	0,05% 0,1% 0,2%	9% 38% 98%	Kinley et al., (2020)
Bovinos lecheros	0,5%	65%	Stefenoni et al. (2021)
Bovinos de carne	0,25% 0,5%	45% 68%	Roque et al. (2021)
Bovinos lecheros	284 mg/día 289 mg/día	21% 23%	Williams et al. (2024)
Bovinos lecheros	0,125% 0,25%	15% 22%	Eikanger et al. (2024)
Bovinos lecheros	1,84% 0,5%	43% 80%	Pepeta et al. (2024)
Bovinos lecheros	0,5%	80%	Nilsson y Martin. (2021)
Bovinos, ovinos y caprinos	0,5%	98%	Ridoutt et al. (2022)
Bovinos, ovinos y caprinos	5%	95%	Wanapat et al. (2024)
Ovinos	3%	80%	Beauchemin et al. (2020)
Bovinos lecheros	3 mg/kg 51 mg/kg	9% 98%	Króliczewska et al. (2023)
Bovinos lecheros	0,5% 1%	43% 60%	Seyedin et al. (2022)
Bovinos lecheros	0,5% 1%	26,4% 67,2%	Palangi et al. (2022)
Bovinos de carne	0,2%	98%	Davidson et al. (2020)
Bovinos lecheros	1%	67%	Bacenaite et al. (2022)
Ovinos	3%	80%	Bacenaite et al. (2022)
Bovinos lecheros	0,5%	55-80%	Black et al. (2021)
Ovinos	3%	80%	Black et al. (2021)
Ovinos	1% 5,7%	15% 81%	Pepeta et al. (2024)
Bovinos de carne	2,3 g/kg 4,7 g/kg	87% 82%	Ungerfeld et al. (2022)
Ovinos	27 g/kg	81%	Ungerfeld et al. (2022)
Bovinos lecheros	5 g/kg	80%	Fouts et al. (2022)
Ovinos	78,4 g/kg	80%	Fouts et al. (2022)
Bovinos lecheros	18,3 g/kg	67,2%	Honan et al. (2022)
Bovinos de carne	3,25 g/kg	98%	Honan et al. (2022)
Ovinos	67,5 g/kg	80%	Honan et al. (2022)

MS: materia seca, CH<sub>4</sub>: metano

Según lo observado en la Tabla 2, el uso de *Asparagopsis spp.* en rumiantes puede ser una estrategia eficaz para reducir las emisiones de metano. La efectividad de esta estrategia varía en función de la especie animal y la dosis administrada.

Para abordar el objetivo específico dos y tres, los artículos científicos seleccionados proporcionan información acerca del impacto en la salud y productividad del uso de *Asparagopsis spp.* como aditivo dietético para la mitigación de metano entérico en rumiantes tal como se detalla en la tabla 3.

**Tabla 3:** Implicancias en la salud y productividad animal del uso de *Asparagopsis spp.* como aditivo dietético para la mitigación de metano entérico, según la especie y fuente de información

ESPECIE	IMPACTO	AUTOR (ES)
Bovinos lecheros	Disminución de CMS, aumento de bromoformo en la leche, disminución de la producción de leche, disminución del PV,	Roque et al. (2019)
Bovinos de carne	Disminución del CMS, pero no la ganancia de peso, sin residuos de bromoformo ni yodo, no altero calidad ni propiedades organolépticas de la carne	Kinley et al., (2020); Roque et al. (2021)
Bovinos lecheros	Disminución del CMS, producción de leche, lactosa. Aumento de las concentraciones de yodo y bromuro en la leche	Stefenoni et al. (2021)
Bovinos lecheros	Sin efectos en la producción de leche, presencia de bromoformo y bromo en la leche	Williams et al. (2024)
Bovinos lecheros	Dosis bajas no afecta el CMS, pero disminuyo la producción de leche. En dosis altas disminución del CMS, proteínas y grasa láctea, aumento de la lactosa	Eikanger et al. (2024)
Bovinos, ovinos y caprinos	Sin efecto nocivo sobre la fermentación ruminal	Wanapat et al. (2024)
Bovinos lecheros	Suplementación excesiva detecto yodo y bromuro en la leche. Exposición prologada en animales pueden provocar toxicidad y tumores hepáticos e intestinales debido al bromoformo presente en las algas.	Króliczewska et al. (2023)
Bovinos lecheros	Disminución de la producción de leche	Palangi et al. (2022)
Bovinos de carne	No se han identificado niveles detectables de bromoformo o dibromoclorometano en músculo o grasa ni se han producido efectos adversos en la salud animal	Davidson et al. (2020)
Bovinos lecheros	Sin residuos de bromoformo o yodo en la leche	Bacenaite et al. (2022)
Ovinos	Sin efectos sobre la ganancia de peso o CMS	Bacenaite et al. (2022); Fouts et al. (2022)
Bovinos	Aumento del yodo y bromuro en la leche. En dosis sobre el 6,5% reducción de la palatabilidad	Black et al. (2021)

Ovinos	Aumento del peso vivo sin efectos sobre la ingesta de alimento o función ruminal	Black et al. (2021)
Ovinos	Inflamación de la mucosa ruminal, disminución de la producción animal en altas dosis	Ungerfeld et al. (2022); Honan et al. (2022)
Bovinos lecheros	Disminución del CMS y de la producción de leche	Fouts et al. (2022)
Bovinos lecheros y de carne	Mejora en la ganancia diaria de peso, sin residuos detectables en carne y leche	Honan et al. (2022)

CMS: consumo de materia seca; MS: materia seca; PV: peso vivo

Conforme a lo observado en la tabla 3, los efectos observados al *utilizar Asparagopsis spp.* como aditivo dietético en rumiantes muestran resultados positivos o negativos dependiendo de la especie del animal.

## 5. DISCUSIÓN

En la presente revisión se busca fundamentar el uso de las algas *Asparagopsis spp.*, como una alternativa ecológica considerada efectiva para la mitigación de metano entérico en rumiantes debido a sus altas concentraciones de bromoformo. En este contexto se han realizado una serie de investigaciones en las cuales se busca registrar el potencial de reducción de metano entérico al añadir *Asparagopsis spp.* a la dieta de rumiantes y documentar las implicancias en la salud y productividad animal considerando la dosis y especie de rumiante. En estudios con bovinos lecheros, Roque et al. (2019) demostraron en una investigación experimental con 12 vacas Holstein que al añadir 0,5% y 1% de *Asparagopsis spp.*, en base a la materia seca (MS), se observaron reducciones del 26,4% y 67,2% en la producción de metano respectivamente, aunque también se reportó una disminución del consumo de materia seca (CMS) y peso vivo (PV), detectándose en la leche la presencia de bromoformo. Estas cifras coinciden con lo mencionado por Palangi et al. (2022) quienes también reportaron una disminución en la producción de leche, y con Honan et al. (2022) quienes observaron una reducción del 67,2% de metano al incluir 18,3 g/kg de *Asparagopsis spp.* del total de MS ingerida, con una mejora en la ganancia diaria de peso sin residuos detectables en la leche. Baceninaite et al. (2022) proporcionaron resultados similares, mostrando que una dosis del 1% resultó en una reducción del 67% de metano sin residuos de bromoformo o yodo en la leche. Seyedin et al. (2022) en su estudio indicaron datos similares con reducciones del 43% y 60% al administrar dosis de 0.5% y 1%, respectivamente. Estos datos se asemejan a lo obtenido por Stefenoni et al. (2021) en su estudio experimental en 20 vacas Holstein con una inclusión del 0,5% de *Asparagopsis spp.* a la dieta en donde obtuvo resultados en la mitigación de metano que alcanzaron el 65% en 28 días, aunque reportaron una disminución del CMS, producción de leche y detectó la presencia de yodo y bromoformo en la leche. En contraste, una revisión bibliográfica realizada por Nilsson y Martin (2021), menciona que una dosis del 0,5% en la dieta es capaz de mitigar hasta el 80% de las emisiones de metano, cifra que coincide con lo mencionado por Fouts et al. (2022) al incluir 18,3 g/kg de *Asparagopsis spp.* del total de MS en la dieta de los animales, pero disminuyendo el CMS y de la producción de leche. Pepeta et al. (2024),

reportaron que la adición del 0,5% de alga a la dieta también redujo las emisiones de metano en un 80%, pero al añadir 1,84% el potencial de mitigación de metano disminuyó al 43%. Resultados más prometedores se mencionaron en el estudio de Króliczewska et al. (2023) donde se indica que al administrar dosificaciones de 3 mg/kg y 51 mg/kg se puede reducir las emisiones en un 9% y 98% respectivamente, aunque para alcanzar estas cifras se utilizó una suplementación excesiva de *Asparagopsis spp.* lo cual se reflejó en la detección de yodo y bromuro en la leche, además se reportó que la exposición prolongada de bromoformo en animales puede provocar toxicidad y tumores intestinales. En el estudio experimental realizado por Eikanger et al. (2024) en 15 vacas lecheras, se determinó que al aplicar dosis de 0,125% se logró reducir solo un 15% de metano, mientras que la dosis al 0,25%, logró reducir el 22%, respectivamente, no obstante, se observó que la administración de bajas dosis no afecta el CMS pero si disminuyen la producción de leche, en cambio de dosis altas reducen el CMS, la concentración de proteínas y grasa láctea con un aumento de la lactosa. Por otro lado, Williams et al. (2024) investigaron el uso de *Asparagopsis spp.* en 40 vacas Holstein Frisian, en donde administraron dosis de 284 mg/día, lo que resultó en una reducción del 21%, y dosis de 289 mg/día, que alcanzaron una reducción del 23%, detectando la presencia de bromo y bromoformo en la leche, pero no tuvo efectos sobre la producción de leche. En cuanto a los bovinos utilizados para la producción de carne, Kinley et al. (2020) en su investigación experimental con 20 novillos Brahman-Angus obtuvo que al incluir dosis de 0,05%, 0,1% y 0,2% de *Asparagopsis spp.* las emisiones de metano se redujeron en 9%, 38% y 98% respectivamente en 90 días, sin embargo, en las dosis más altas se observó disminución del CMS, pero no de la ganancia de peso y no se reportaron alteraciones en la calidad o propiedades organolépticas de la carne. Esto concuerda con lo mencionado por Davidson et al. (2020), quienes indicaron que una dosis del 0,2% es capaz de reducir hasta un 98% sin identificar niveles detectables de bromoformo o dibromoclorometano en músculo o grasa, ni de efectos adversos en la salud animal. Estas cifras concuerdan con lo expuesto por Honan et al. (2022), quienes observaron la misma reducción, pero con una dosis de 3,25 g/kg, mejorando la ganancia diaria de peso y sin residuos detectables en la carne. Por el contrario, en el estudio de Roque et al. (2021) con 21

novillos Angus-Hereford, al que se administró una dosificación de 0,25% y 0,5% en 147 días, se mostraron disminuciones de metano del 45% al 68% respectivamente.

Además, Black et al. (2021) indicaron que al aumentar la dosis al 6,5% en bovinos lecheros y de carne, se reducía la palatabilidad del alimento y aumentaban considerablemente las concentraciones de yodo y bromuro en los subproductos de origen animal.

En cuanto al uso de *Asparagopsis spp.* en la dieta de ovinos, los estudios de Beauchemin et al. (2020), Baceninaite et al. (2022) y Black et al. (2021) coinciden en que una dosis del 3% puede reducir hasta un 80% de las emisiones de metano en 72 días sin efectos en el CMS, aunque se reportaron efectos contrarios como aumento o mantención del peso vivo. Este resultado se corresponde con lo indicado por Fouts et al. (2022) pero no evidenciaron efectos sobre la ganancia de peso o CMS y con el estudio realizado por Honan et al. (2022), donde la inclusión de 78,4 g/kg y 67,5 g/kg del alga en la dieta también logra una reducción del 80%. Resultados muy similares se indican en la publicación de Ungerfeld et al. (2022) quienes utilizaron una dosis de 27 g/kg y alcanzaron un potencial de mitigación del metano del 81%, datos consistentes con los hallazgos de Pepeta et al. (2024) quienes describieron reducciones del 5,7%, 15% y 81% en las emisiones de metano con dosis del 1% y 3%, respectivamente, además de inflamación de la mucosa ruminal y disminución de la producción animal

Algunos estudios no especificaron el tipo de rumiante, pero ofrecieron una visión general del potencial de mitigación en estos animales. Ridoutt et al. (2022) indicaron que la inclusión del 0,5% de *Asparagopsis spp.* resultó en una reducción del 98% en las emisiones de metano entérico. En contraste, Wanapat et al. (2024) observaron una reducción del 95% al incluir un 5% del alga en la dieta, sin efectos nocivos sobre la fermentación ruminal.

Esta revisión resalta las diversas perspectivas en el uso de *Asparagopsis spp.* como aditivo dietético en rumiantes para la mitigación de metano. Se han realizado estudios que investigan los efectos de diferentes dosis de *Asparagopsis spp.* en la reducción de las emisiones de metano entérico. Los resultados muestran variaciones en la eficacia dependiendo de la especie animal y la dosificación. Aunque el uso de *Asparagopsis spp.* como aditivo dietético para reducir la emisión de metano entérico en rumiantes está

emergiendo como una estrategia de mitigación en la medicina veterinaria, los estudios existentes se centran en vacas y ovejas, sin mencionar explícitamente la utilización en cabras. Esto subraya la necesidad de más investigaciones con un mayor número de muestras para determinar datos precisos sobre su eficacia y las implicaciones de su uso. Es crucial realizar estudios adicionales que abarquen los efectos a largo plazo en la salud animal, la calidad de los productos derivados y el impacto ambiental.

La variabilidad en los resultados está influenciada por diversos factores, tales como el tipo de estudio realizado, el tamaño de la muestra, la dosis administrada de *Asparagopsis spp.* y la especie animal utilizada. Además, otros factores específicos de cada investigación, como las interacciones con la dieta base, las condiciones ambientales y el estado fisiológico de los animales, también juegan un papel crucial en la interpretación y la consistencia de los hallazgos obtenidos.

Las limitaciones de este estudio incluyen la disponibilidad comercial de la producción de *Asparagopsis spp.*, la aprobación regulatoria para su uso en algunos países, el costo de implementación y la factibilidad de emplearlo en sistemas de producción a gran escala, así como la falta de información sobre los posibles efectos a largo plazo en los animales por lo que se necesitan más estudios en para confirmar todos estos beneficios potenciales.



## 6. CONCLUSIONES

La producción de metano por los rumiantes representa una preocupación ambiental significativa debido a su contribución al cambio climático. En esta revisión, se ha explorado la inclusión de *Asparagopsis spp.* en la dieta como una alternativa ecológica para la mitigación de metano entérico. Los estudios revisados indican que la adición de *Asparagopsis spp.* puede disminuir notablemente las emisiones de metano, alcanzando reducciones que van del 9% al 98%, dependiendo de la dosis y la especie de rumiante. Sin embargo, se observaron efectos adversos como la disminución del consumo de materia seca y la producción de leche, además de la presencia detectable de bromoformo y otros compuestos en productos animales como la leche y la carne. A pesar de estos hallazgos, dosis controladas mostraron resultados prometedores al lograr reducciones sustanciales sin efectos adversos significativos en la salud animal ni en la calidad de los subproductos. No obstante, se reportaron posibles efectos tóxicos y cancerígenos en uno de los estudios revisados. En resumen, la inclusión de *Asparagopsis spp.* en la dieta de rumiantes representa una prometedora estrategia para mitigar las emisiones de metano entérico, contribuyendo así a la sostenibilidad ambiental de la producción ganadera. Sin embargo, se requieren más investigaciones para optimizar su uso, asegurando que se maximicen los beneficios ambientales sin comprometer el bienestar animal ni la eficiencia productiva.

Se logra dar cumplimiento a todos los objetivos específicos planteados en esta revisión bibliográfica

## 7. REFERENCIAS

- Bacenaite, D., Dzermeikaite, K. y Antanaitis, R. (2022). Global Warming and Dairy Cattle: How to Control and Reduce Methane Emission. *Animals*, 12(19), 1-22. <https://doi.org/10.3390/ani12192687>
- Black, J., Davidson, T. y Box, I. (2021). Methane Emissions from Ruminants in Australia: Mitigation Potential and Applicability of Mitigation Strategies. *Animals*, 11(4). 1-20. <https://doi.org/10.3390/ani11040951>
- Beauchemin, Ks., Ungerfeld, E., Eckard, R. y Wang, M. (2020). Review: Fifty years of research on rumen methanogenesis: lessons learned and future challenges for mitigation. *Animals*, 14, 2-16. <https://doi.org/10.1017/S1751731119003100>
- Bonilla, D., Noboa, J., Portuguez, V., Quinto, F. y Rojas, J. (2020). Metanogénesis microbiana en animales poligástricos. *Nutrición Animal Tropical*, 14(1), 36-40. <https://doi.org/10.15517/nat.v14i1.42578>
- Castillo, A., Burrola, M., Dominguez, J. y Chavez, A. (2014). Rumen microorganisms and fermentation. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 46(3), 349-361. <http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2014000300003>
- Chan, E. (2018). Climate change is the world's greatest threat – In Celsius or Fahrenheit?. *Journal of Environmental Psychology*, 60, 21-26. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2018.09.002>
- Clauss, M., Hume, I. y Hummel, J. (2010). Evolutionary adaptations of ruminants and their potential relevance for modern production systems. *Animal*, 4(7), 979-992. <https://doi.org/10.1017/S1751731110000388>
- Clauss, M. y Hummel, J. (2017). Physiological adaptations of ruminants and their potential relevance for production systems. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46(7). <https://doi.org/10.1590/S1806-92902017000700008>
- Congio, G., Bannink, A., Mogollón, O. y Hristov, A. (2021). Enteric methane mitigation strategies for ruminant livestock systems in the Latin America and Caribbean region: A meta-analysis. *Journal of Cleaner Production*, 312, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127693>

- Davidson, T., Black, J. y Moss, J. (2020). Red meat-an essential partner to reduce global greenhouse gas emissions. *Animal Frontiers*, 10(4), 14-21. <https://doi.org/10.1093/af/vfaa035>
- Eikanger, K., Kjaer, S., Dorsch, P., Iwaasa, D., Alemu, A., Schei, I., Pope, P., Hagen, L. y Kidane, A. (2024). Asparagopsis taxiformis inclusion in grass silage-based diets fed to Norwegian red dairy cows: Effects on ruminal fermentation, milk yield, and enteric methane emission. *Livestock Science*, 285, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2024.105495>
- Forabosco, F., Chitchyan, Zh. y Mantovani, R. (2017). Methane, nitrous oxide emissions and mitigation strategies for livestock in developing countries: A review. *South African Journal of Animal Science*, 47(3), 268-280. <http://doi.org/10.4314/sajas.v47i3.3>
- Fouts, J., Honan, M., Roque, B., Tricarico, J. y Kebreab, E. (2022). Enteric methane mitigation interventions. *Translational Animal Science*, 6(2), 1-16. <https://doi.org/10.1093/tas/txac041>
- Honan, M., Feng, X., Tricarico, J. y Kebreab, E. (2022). Feed additives as a strategic approach to reduce enteric methane production in cattle: modes of action, effectiveness and safety. *Animal Production Science*, 62(14), 1303-1317. <https://doi.org/10.1071/AN20295>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>
- Ivanovich, E., Tianyi, S., Gordon, D. y Ocko, I. (2023). Future warming from global food consumption. *Nature Climate Change*, 13, 297-302. <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01605-8>
- Kinley, R., Martinez, G., Matthews, M., De Nys, R., Magnusson, M. y Tomkins, N. (2020). Mitigating the carbon footprint and improving productivity of ruminant livestock agriculture using a red seaweed. *Journal of Cleaner Production*, 259, 4157-4173. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120836>

- Króliczewska, B., Pecka-Kielb, E. y Bujok J. (2023). Strategies Used to Reduce Methane Emissions from Ruminants: Controversies and Issues. *Agriculture*, 13(3), 1-26. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030602>
- Kweku, D., Bismark, O., Maxwell, A., Desmond, K., Danso, K., Oti-Mensah, E., Quachie, A. y Adormaa, B. (2018). Greenhouse Effect: Greenhouse Gases and Their Impact on Global Warming. *Journal of Scientific Research and Reports*, 17(6), 1–9. <https://doi.org/10.9734/JSRR/2017/39630>
- O'Hara E, Terry S, Moote P, Beauchemin K, McAllister T, Abbott D, y Gruninger, R. (2023) Comparative analysis of macroalgae supplementation on the rumen microbial community: *Asparagopsis taxiformis* inhibits major ruminal methanogenic, fibrolytic, and volatile fatty acid-producing microbes in vitro. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1-16. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1104667>
- Lileikis, T., Nainiene, R. y Uchockis, V. (2023). Dietary Ruminant Enteric Methane Mitigation Strategies: Current Findings, Potential Risks and Applicability. *Animals*, 13 (16), 1-29. <https://doi.org/10.3390/ani13162586>
- Machado, L., Tomkins, N., Magnusson, M., Midgley, D., De Nys, R. y Rosewarne, C. (2018). In Vitro Response of Rumen Microbiota to the Antimethanogenic Red Macroalga *Asparagopsis taxiformis*. *Microbial Ecology*, 75(3), 811-818. <https://doi.org/10.1007/s00248-017-1086-8>
- Mahmoud, S. y Gan, T. (2018). Impact of anthropogenic climate change and human activities on environment and ecosystem services in arid regions. *Science of The Total Environment*, 633, 1329-1344. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.290>
- Malhi, G., Kaur, M. y Kaushik, P. (2021). Impact of Climate Change on Agriculture and Its Mitigation Strategies: A Review. *Sustainability*, 13(3), 1-21. <https://doi.org/10.3390/su13031318>
- Martínez, S., Rivera, F., Palacios, I., Molina, B. y Moguel, B. (2022). Metagenómica y metatranscriptómica para mitigar las emisiones de metano por animales rumiantes. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 25, 1-8. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.430>

- Meadowa, R. (2022). Scientists Try to Curb Livestock Emissions. *ACS Central Science*, 8(10), 1366-1368. <https://doi.org/10.1021/acscentsci.2c01060>
- Meissner, H., Blignaut, J., Smith, H. y Du Toit, C. (2023). The broad-based eco-economic impact of beef and dairy production: A global review. *South African Journal of Animal Science*, 53 (2), 250-275. <http://dx.doi.org/10.4314/sajas.v53i2.11>
- Montenegro, J., Barrantes, E. y Ivankovich, S. (2020). Cuantificación de metano entérico según estado fisiológico en vacas lecheras de alta producción en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 44(1), 79-92. <http://dx.doi.org/10.15517/rac.v44i1.40003>
- Mukhtar, A. (2020). Introduction to Modern Climate Change. *Science of the Total Environment*, 734, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139397>
- Murad, M., Asi, N., Alsawas M. y Alahdab F. (2016). New evidence pyramid. *BMJ Journal*, 21(4), 125-127. <https://doi.org/10.1136/ebmed-2016-110401>
- Newbold, C. y Ramos, E. (2020). Review: Ruminant microbiome and microbial metabolome: effects of diet and ruminant host. *Animal Journal*, 14(1), 78-86. <https://doi.org/10.1017/S1751731119003252>
- Nilsson, J. y Martin, M. (2022). Exploratory environmental assessment of large-scale cultivation of seaweed used to reduce enteric methane emissions. *Sustainable Production and Consumption*, 30, 413-423. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.12.006>
- Ormond, J. (2020). Geoengineering super low carbon cows: food and the corporate carbon economy in a low carbon world. *Climatic Change*, 163, 135–153. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02766-7>
- Palangi, V., Taghizadeh, A., Abadhi, S. y Lackner, M. (2022). Strategies to Mitigate Enteric Methane Emissions in Ruminants: A Review. *Sustainability*, 14(20). <https://doi.org/10.3390/su142013229>
- Pepeta, B., Hassen, A. y Tesfamariam, E. (2024). Quantifying the Impact of Different Dietary Rumen Modulating Strategies on Enteric Methane Emission and Productivity in Ruminant Livestock: A Meta-Analysis. *Animals*, 14(5), 1-25. <https://doi.org/10.3390/ani14050763>

- Pryce, J. y Makonnen H. (2020). Symposium review: Genomic selection for reducing environmental impact and adapting to climate change. *Journal of Dairy Science*, 103 (6), 5366-5375. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17732>
- Reisinger, A., Clark, H., Cowie, A., Emmet, J., Gonzalez, C., Herrera, M., Howden, M. y Leahy, S. (2021). How necessary and feasible are reductions of methane emissions from livestock to support stringent temperature goals?. *The Royal Society*, 379 (1), 1-18. <https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0452>
- Ridoutt, B., Lehnert, S., Denman, S., Charmley, E., Kinley, R. y Dominik, S. (2022). Potential GHG emission benefits of *Asparagopsis taxiformis* feed supplement in Australian beef cattle feedlots. *Journal of Cleaner Production*, 337. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130499>
- Roque, B., Salwen, J., Kinley, R. y Kebreab, E. (2019). Inclusion of *Asparagopsis armata* in lactating dairy cows' diet reduces enteric methane emission by over 50 percent. *Journal of Cleaner Production*, 234, 132-138. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.193>
- Roque, B., Venegas, M., Kinley, R., De Nys, R., Duarte, T., Yang, X. y Kebreab, E. (2021). Red seaweed (*Asparagopsis taxiformis*) supplementation reduces enteric methane by over 80 percent in beef steers. *Plos one*, 16(3), 1-20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247820>
- Seyedin, S., Zeidi, A., Chamanehpour, E., Nasri, M. y Vargas, E. (2022). Methane Emission: Strategies to Reduce Global Warming in Relation to Animal Husbandry Units with Emphasis on Ruminants. *Sustainability*, 14(24), 1-23. <https://doi.org/10.3390/su142416897>
- Stefenoni, H., Raisanen, S., Cueva, S., Wasson, D., Lage, C., Melgar, S., Fetter, M., Smith, P., Hennessy, M., Vecchiarelli, B., Bender, J., Pitta, D., Cantrell, C., Yarish, C. e Histrov, A. (2021). Effects of the macroalga *Asparagopsis taxiformis* and oregano leaves on methane emission, rumen fermentation, and lactational performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 104(4). <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19686>
- Tarasova, O., Vermeulen, A., Sawa, Y., Houweling, S. y Dlugokencky. (2023). The state of greenhouse gases in the atmosphere using global observations through 2021.

- Geophysical Research Abstracts*, 21, 1-10. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-15201>
- Tedeschi, L., Abdalla, A., Álvarez, C., Weniga, S., Arango, J., Beauchemin, K., Becquet, P., Berndt, A., Burns, R., De Camillis, C., Chará, J., Echazarreta, J., Hassouna, M., Kenny, D., Mathot, M., Mauricio, R., McClelland, S., Niu, M., Anyango, A., ...Kebreab, E. (2022). Quantification of methane emitted by ruminants: a review of methods. *Journal of Animal Science*, 100(7), 1-22. <https://doi.org/10.1093/jas/skac197>
- Ungerfeld, E., Beauchemin, K. y Muñoz, C. (2022). Current Perspectives on Achieving Pronounced Enteric Methane Mitigation From Ruminant Production. *Frontiers in Animal Science*, 2, 1-16. <https://doi.org/10.3389/fanim.2021.795200ho>
- Velastegui, B. (2023). El medio ambiente y su importancia para la humanidad. *Pentaciencias*, 5 (7), 296-304. <https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v5i7.938>
- Wanapat, M., Prachumchai, R., Dagaew, G., Matra, M., Phupaboon, S., Sommai, S. y Suriyapha, C. (2024). Potential use of seaweed as a dietary supplement to mitigate enteric methane emission in ruminants. *Science of the Total Environment*, 931. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173015>
- Williams, S., Neachtain, A., Chandra, S., Burgess, R., Labaf, S., Aylward, G., Alvarez, P. y Jacobs, J. (2024). The effects of feeding liquid or pelleted formulations of *Asparagopsis armata* to lactating dairy cows on methane production, dry matter intake, milk production and milk composition. *Animal Feed Science And Technology*, 309, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2024.115891>
- Xu, X., Sharma, P., Shu, S., Lin, T., Ciais, P., Tubiello, F., Smith, P., Campbell, N. y Jain, A. (2021). Global Greenhouse gas emissions from animal-based foods are twice those of plant-based foods. *Nature Food*, 2, 724-732. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00358-x>
- Yan, X., Ying, Y., Li, K., Zhang, Q. y Wang, K. (2024). A review of mitigation technologies and management strategies for greenhouse gas and air pollutant emissions in livestock production. *Journal of Environmental Management*, 352, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120028>

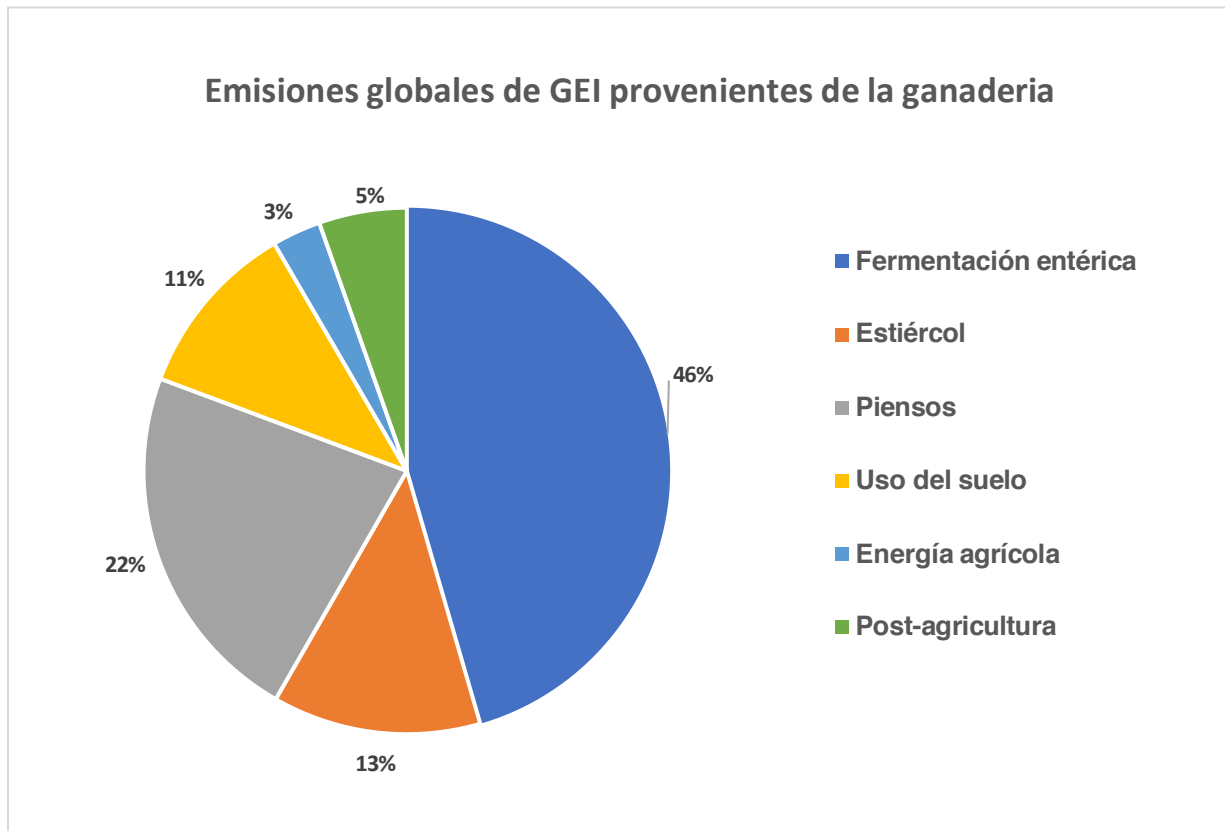
Zhao, Q., Yu, P., Mahendran, R., Huang, W., Gao, Y., Yang, Z., Ye, T., Wen, B., Wu, Y. y Li, S. (2022). Global climate change and human health: Pathways and possible solutions. *Eco-Environment & Health*, 1(2), 53-62. <https://doi.org/10.1016/j.eehl.2022.04.004>

Zinabu, S., Kebede, A., Ferade, B. y Dugassa, J. (2018). Review on the relationship of climate change and prevalence of animal diseases. *Climate Change*, 4 (15), 248-258. <https://doi.org/10.12970/2310-0796.2018.06.02>



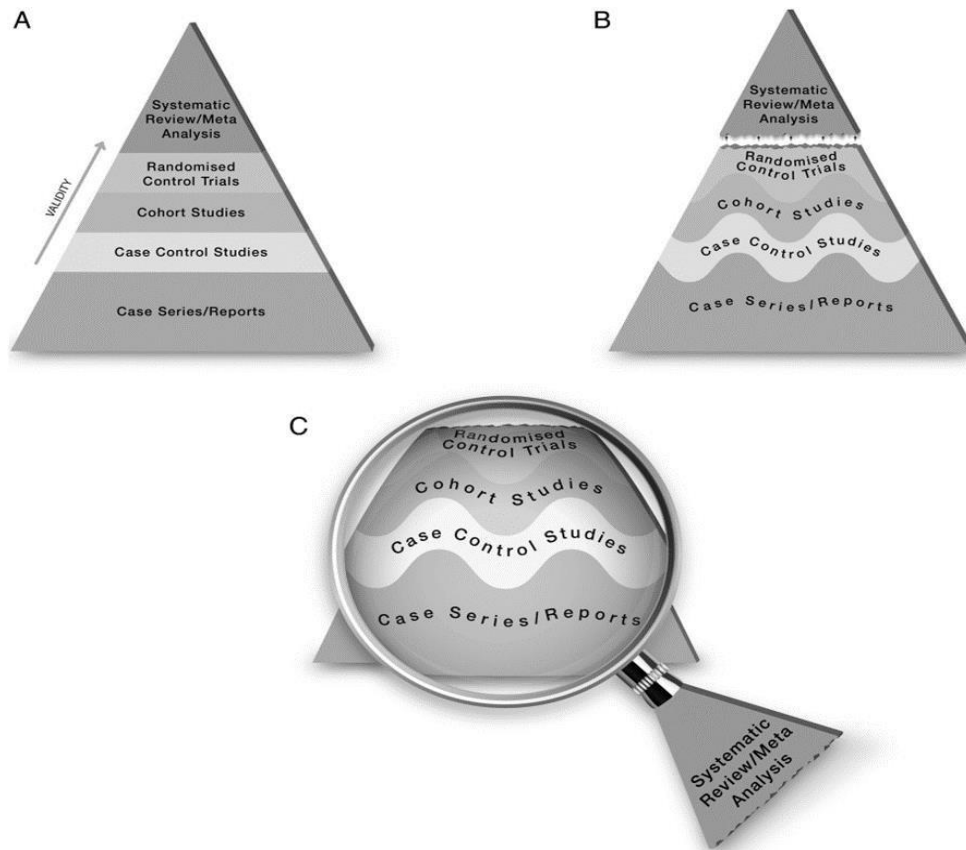
## 8. ANEXOS

**Figura 1:** Emisiones globales de gases de efecto invernadero emitidos por la industria ganadera



(Adaptado y traducido de Yan et al., 2024)

**Figura 2.** La nueva pirámide propuesta para la medicina basada en la evidencia



(A) La pirámide tradicional. (B) Revisión de la pirámide: (1) las líneas que separan los diseños de los estudios se vuelven onduladas (Calificación de las recomendaciones, evaluación, desarrollo y evaluación), (2) las revisiones sistemáticas se "cortan" de la pirámide. (C) La pirámide revisada: las revisiones sistemáticas son una lente a través de la cual se ve (aplica) la evidencia.

(Traducido de Murad et al., 2016)