



## SARGAZO PELÁGICO: UNA ALTERNATIVA NUTRICIONAL PARA LA GANADERÍA TROPICAL EN EL SURESTE MEXICANO

### PELAGIC SARGASSUM: A NUTRITIONAL ALTERNATIVE FOR TROPICAL LIVESTOCK IN SOUTHEASTERN MEXICO

Luis Alberto Canul-Ku<sup>1a</sup>, José Roberto Sanginés-García<sup>1b</sup>, Ingrid Abril Valdivieso-Pérez<sup>1c</sup>, Fernando Casanova-Lugo<sup>2</sup>, Edgar Aguilar Urquizo<sup>1d</sup>, Jorge Rodolfo Canul-Solís<sup>3</sup>, Einar Vargas-Bello-Pérez<sup>4</sup>, Carlos Alvarado-López<sup>1e</sup> y Ángel Trinidad Piñeiro-Vázquez<sup>1f\*</sup>

<sup>1a</sup> Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán, C.P. 97345, México  
<https://orcid.org/0009-0005-4412-5272>

<sup>1b</sup> Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán, C.P. 97345, México  
<https://orcid.org/0000-0002-1542-8072>

<sup>1c</sup> Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán, C.P. 97345, México  
<https://orcid.org/0000-0001-8033-8666>

<sup>1d</sup> Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán, C.P. 97345, México  
<https://orcid.org/0000-0003-4727-7894>

<sup>1e</sup> Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán, C.P. 97345, México  
<https://orcid.org/0000-0001-7442-8171>

<sup>1f</sup> Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán, C.P. 97345, México  
<https://orcid.org/0000-0002-8400-4046>

<sup>2</sup> Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de la Zona Maya, Othón P. Blanco, Quintana Roo, C.P. 77960, México  
<https://orcid.org/0000-0003-2485-9170>

<sup>3</sup> Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Tizimín, Yucatán, C.P. 97700, México  
<https://orcid.org/0000-0001-9934-4302>

<sup>4</sup> Facultad de Zoología y Ecología/ Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, C.P. 31031, México  
<https://orcid.org/0000-0001-7105-5752>

\* Autores de correspondencia: [pineiroiamc@gmail.com](mailto:pineiroiamc@gmail.com)

### RESUMEN

El sargazo pelágico es una mezcla de varias especies de macroalgas pardas que contienen fibra, minerales y metabolitos secundarios. Por lo tanto, el sargazo tiene el potencial de formar parte de las dietas de rumiantes como ingrediente no convencional. Por otro lado, los rumiantes contribuyen con el 24% de las emisiones globales de CH<sub>4</sub> provenientes de la fermentación entérica. Ante este desafío, los florotaninos y el bromoformo presentes en las macroalgas son eficientes inhibidores de la metanogénesis en los rumiantes, con reducciones de hasta un 95% en las emisiones de CH<sub>4</sub>. Sin embargo, los niveles de inclusión en dietas para rumiantes no sobrepasan el 10% debido a su contenido de sustancias potencialmente tóxicas y metales pesados. En la región tropical y el Caribe Mexicano, una posible alternativa es el uso de algas pardas como fuente de sustancias bioactivas que ayuden a reducir la producción de CH<sub>4</sub> a través de la modificación del microbioma ruminal. Esta

revisión describe el valor nutricional del sargazo pelágico y sus posibles implicaciones en la salud, productividad animal y calidad de los productos derivados. Hasta ahora, los estudios realizados con el sargazo pelágico son bajo condiciones *in vitro*. Sin embargo, no hay estudios *in vivo*, siendo un área de interés con un aporte valioso a la mitigación de CH<sub>4</sub> entérico proveniente de la industria ganadera.

**Palabras clave:** algas pardas, metabolitos secundarios, ingrediente no convencional, rumiantes, CH<sub>4</sub>.

## ABSTRACT

Pelagic sargassum is a mixture of several species of brown macroalgae containing fiber, minerals and secondary metabolites. Therefore, sargassum has the potential to be part of animal diets as a non-conventional ingredient. On the other hand, ruminants contribute 24% of global CH<sub>4</sub> emissions from enteric fermentation. To face this challenge, phlorotannins and bromoform present in macroalgae are efficient inhibitors of methanogenesis in ruminants, with reductions of up to 95% in CH<sub>4</sub> emissions. However, inclusion levels in ruminant diets do not exceed 10% due to their content of potentially toxic substances and heavy metals. In the tropical region and the Mexican Caribbean, a possible alternative is the use of brown algae as a source of bioactive substances that help reduce CH<sub>4</sub> production through modification of the rumen microbiome. This review describes the nutritional value of pelagic sargassum and its possible implications on health, animal productivity and quality of derived products. To date, studies with pelagic sargassum have been conducted under *in vitro* conditions. However, there are no *in vivo* studies, being an area of interest with a valuable contribution to the mitigation of enteric CH<sub>4</sub> from the livestock industry.

**Key words:** brown algae, secondary metabolites, unconventional ingredient, ruminants, CH<sub>4</sub>.

## INTRODUCCIÓN

Anualmente se presentan arribazones de sargazo a la Península de Yucatán en las costas mexicanas, lo cual representa un grave problema para el sector turístico debido a que esta actividad aporta un nivel significativo de divisas al país y, las medidas aplicadas para retirarlo de las zonas costeras han sido insuficientes (Rodríguez-Martínez et al., 2016; Espinosa y Li, 2020; Arellano-Verdejo y Lazcano-Hernández, 2021). El sargazo pelágico que llega a las costas del Caribe Mexicano está constituido predominantemente por dos especies de algas pardas: *Sargassum natans* y *Sargassum fluitans* (García-Sánchez et al., 2020). El sargazo puede ser una fuente alternativa de nutrientes para mejorar la fermentación de la materia orgánica (MO) en los rumiantes, como lo ha demostrado los estudios *in vitro* con otras especies de algas (Belanche et al., 2016a; Choi et al., 2019; Maia et al., 2019).

El valor nutricional de las algas marinas se relaciona con su contenido de minerales, polisacáridos, compuestos fenólicos como los florotaninos (agentes antimicrobianos) y compuestos halogenados como el bromoformo, y otros compuestos que pueden modificar el microbioma ruminal ayudando a reducir las emisiones de CH<sub>4</sub> (Evans y Critchley, 2014; Belanche et al., 2016b; Machado et al., 2018; Choi et al., 2020a; Shrestha et al., 2021). Además, las

algas marinas contienen una alta concentración de minerales importantes para la nutrición animal como el azufre, calcio, fósforo, potasio, magnesio, hierro, yodo, cobre, manganeso, selenio, entre otros (Machado et al., 2015; Cabrita et al., 2016; Vijay et al., 2017).

El manejo y aprovechamiento sustentable del sargazo podría traer grandes beneficios a la región del Caribe Mexicano; por un lado, se reduciría su impacto negativo al sector turístico, y por el otro, sería un potencial ingrediente en las dietas para rumiantes contribuyendo con la seguridad alimentaria y la mitigación de gases con efecto invernadero (GEI) (Belanche et al., 2016a; Roque et al., 2019; Chávez et al., 2020). Sin embargo, hasta el momento se tienen pocos reportes sobre el uso potencial del sargazo pelágico en la alimentación animal. El objetivo de esta revisión es analizar el potencial de las algas pardas que conforman el sargazo pelágico para la alimentación de rumiantes que coadyuven en la mitigación de los GEI provenientes de la fermentación entérica, sin afectar la salud animal y la calidad de los productos derivados.

## PROPIEDADES BIOACTIVAS Y USO POTENCIAL DE LAS ALGAS EN LA ALIMENTACIÓN DE RUMIANTES

Los metabolitos secundarios de las algas, pueden tener propiedades farmacológicas que coadyuven al tratamiento de algunos tipos de

cáncer, diabetes, control de la obesidad, entre otros (Sellimi et al., 2017; Pérez-Larrán et al., 2018; Rexliene, 2018). Entre los metabolitos secundarios que se han detectado están: guanidinoacetato, manitol y etilenglicol (Choi et al., 2019; Choi et al., 2020a); además, contienen polisacáridos como: el alginato, el fucoidan y el laminaran y compuestos fenólicos como los florotaninos; los cuales tienen propiedad antioxidante (Sathya et al., 2017; Amador-Castro et al., 2021), anticancerígena (Pérez-Larrán et al., 2018), antiviral (Cho et al., 2019), antimicrobiana (Ford et al., 2020; Frazzini et al., 2022), anticoagulante e inmuno reguladora (Kang et al., 2022), anti inflamatoria (Barbosa et al., 2019) y neuroprotectora (Lee et al., 2019).

El bromoformo presente en las algas rojas como *Asparagopsis taxiformis*, es un potente inhibidor de la metanogénesis en los rumiantes (Machado et al., 2018; Kinley et al., 2020; Roque et al., 2021). La concentración de bromoformo varía dependiendo de la especie de alga y la época de recolecta (Brooke et al., 2020; Bolkenov et al., 2021). En el campo de la nutrición animal, se ha observado que el consumo de algas contribuye al mantenimiento de la salud, mejoran la disponibilidad de los nutrientes y el estado oxidativo en los animales (Evans y Critchley, 2014; Tsiplakou et al., 2018). Pruebas realizadas en rumiantes indican mejoría en el estado antioxidante e inmunológico (Angulo et al., 2020), así como en la capacidad para modular los efectos perjudiciales del estrés calórico (de Lima et al., 2019; Ellamie et al., 2020; Lee et al., 2020; Maheswari et al., 2021). El sargazo pelágico podría tener este potencial termorregulador y contribuiría a mejorar el bienestar animal sobre todo en las regiones tropicales donde las temperaturas son extremas e impactan negativamente en la productividad y bienestar animal.

Sin embargo, el contenido de metales pesados (potencialmente tóxicos) del sargazo limitan su inclusión en la dieta de rumiantes, debido a su posible acumulación en los tejidos (Costa et al., 2021); por lo que es necesario realizar estudios de alimentación animal para definir los niveles máximos de inclusión y los efectos negativos sobre la fisiología y metabolismo de los rumiantes (Choi et al., 2019; Campbell et al., 2020). Estos ensayos requerirán pruebas específicas con diversas especies de rumiantes en diferentes etapas fisiológicas y regímenes de alimentación (tipos de dieta). Una evaluación previa para el uso de las macroalgas en la alimentación de rumiantes requiere: la determinación fisicoquímica de sus componentes, análisis proximal, análisis de metales pesados y su especiación, análisis de metabolitos secundarios (Carrillo-Domínguez et al., 2023), estudios *in vitro* y estudios *in situ*.

## EFFECTO DE LAS ALGAS SOBRE LA DEGRADABILIDAD, CINÉTICA DE PRODUCCIÓN DE GAS Y CH<sub>4</sub> *in vitro*

La producción total de gas (PTG) se relaciona con la degradabilidad de la MO (DMO) de los sustratos, la producción de ácidos grasos volátiles (AGV) y el crecimiento microbiano en el rumen (Molina-Alcaide et al., 2017; de la Moneda et al., 2019; Munde et al., 2021). Estos parámetros incluida la producción de CH<sub>4</sub> pueden ser modificados por las algas y, el efecto dependerá de la especie y el nivel de inclusión; asimismo, existe un efecto de la temporada de cosecha (de la Moneda et al., 2019). Además puede haber un efecto dosis dependiente y de interacción entre el sustrato base y la especie de alga (Choi et al., 2019; Choi et al., 2020b; Choi et al., 2020a; Widiawati y Hikmawan, 2021). La degradabilidad de la MS (DMS) de las algas rojas es mayor, con respecto a las especies de algas pardas y verdes (Molina-Alcaide et al., 2017). Esto está relacionado con la alta concentración (hasta el 34%) de proteína cruda (PC) y bajo contenido de ceniza (hasta el 20%) de las algas rojas comparadas con las algas pardas y verdes. Al respecto, se ha observado una disminución lineal en la DMS con el incremento del nivel (de 10 a 40 %) de algas verdes a un sustrato base de buena calidad (Rjiba-Ktita et al., 2017).

La suplementación con algas incrementa las poblaciones de bacterias fibrolíticas (Tabla 1) en el rumen (Choi et al., 2021a; Choi et al., 2021b). De acuerdo a Huang et al. (2023), los florotaninos favorecen el crecimiento de los géneros *Ruminococcus* y *Fibrobacter*, y de la familia Lachnospiraceae; estos cambios están correlacionados con una mayor DMS. En concordancia, la adición de algas pardas a raciones concentradas, incrementan la DMS y DMO; sin embargo, la degradabilidad del N puede disminuir (Maia et al., 2019). Belanche et al. (2016a), indican que los florotaninos afectan de manera diferencial el metabolismo del N según la especie de alga (Tabla 2).

La producción de CH<sub>4</sub> en el rumen puede ser mitigado con la inclusión de algas marinas con potencial antimetanogénico (Roque et al., 2019a; Abbott et al., 2020; Brooke et al., 2020; Hadrová et al., 2021). Al respecto, la adición de diferentes especies de algas a un heno reduce el CH<sub>4</sub> entre 25 y 38% (Maia et al., 2016). Sin embargo, cuando el sustrato base es de mejor calidad, no se observan efectos sobre la producción de CH<sub>4</sub> (Maia et al., 2019). En los estudios con *A. taxiformis*, la reducción de CH<sub>4</sub> puede estar acompañada de una disminución en el volumen de gas cuando la dosis es alta (Roque et al., 2019a; Brooke et al., 2020); así mismo, en concentraciones menores

Tabla 1. Efecto de las algas sobre el pH, NH<sub>3</sub> y poblaciones microbianas en líquido ruminal.  
Table 1. Effect of algae on pH, NH<sub>3</sub> and microbial populations in rumen fluid.

Especie	Dosis g/kg MS	Sustrato base	pH, NH <sub>3</sub> y poblaciones microbianas	Referencia
<i>A. taxiformis</i>	50	RSP	↓ <i>Methanobrevibacter</i> , <i>Methanosphaera</i> , <i>vadin</i> CA11 de la familia <i>Methanomassiliicoccaceae</i> , <i>Methanoplanus</i> y <i>Methanomicrococcus</i> .	(1)
<i>A. taxiformis</i>	20	Heno	↓ <i>Methanobacteriales</i> , <i>Methanomassiliicoccales</i> y <i>Methanomicrobiales</i> .	(2)
<i>S. fultellum</i>	10 - 100	Heno	↓ pH con ↑ dosis	(3)
<i>U. pinnatifida</i>	20 - 40	Con+H	↑ pH; ↓ NH <sub>3</sub>	(4)
<i>Ecklonia stolonifera</i>	50	Heno	↓ pH; ↑ NH <sub>3</sub> ; ↓ <i>R. albus</i> y <i>R. flavefaciens</i> y ↑ <i>F. succinogenes</i> , ↓ arqueas M., ↑ CAM.	(5)
<i>Eisenia bicyclis</i>	50	Heno	pH (↓ 24 y ↑ 48h); ↓ NH <sub>3</sub> ; ↓ <i>R. albus</i> y <i>R. flavefaciens</i> , ↓ arqueas M y CAM.	(5)
<i>S. fultellum</i>	50	Heno	pH (↓ 24 y ↑ 48h); ↓ NH <sub>3</sub> (6 y 72h); ↓ <i>R. albus</i> y <i>R. flavefaciens</i> y ↑ <i>F. succinogenes</i>	(5)
<i>U. pinnatifida</i>	50	Heno	↑ pH; ↑ NH <sub>3</sub>	(5)
<i>S. fusiforme</i>	50	Heno	pH (↓ 24, ↑ 48 y 72h); ↑ NH <sub>3</sub> (12 y 48h); ↓ <i>R. albus</i> y <i>R. flavefaciens</i> y ↑ <i>F. succinogenes</i> ; ↑ arqueas M; ↑ CAM	(5)
<i>A. nodosum</i>	0,5 - 2 g L <sup>-1</sup>	RTM	↓ actividad protozoaria con ↑ de la dosis	(6)
<i>L. digitata</i>	0,5 - 2 g L <sup>-1</sup>	RTM	s.e.	(6)
<i>A. nodosum</i>	50	50F:50C	↓ protozoarios	(7)
<i>L. digitata</i>	50	50F:50C	↓ protozoarios	(7)
<i>E. cottonii</i>	40 -120	Heno	↓ protozoos y ↑ bacterias totales con ↑ dosis	(8)
<i>A. nodosum</i>	50	Silo de cebada y heno	↓ <i>F. succinogenes</i> , ↓ <i>R. albus</i> y s.e. <i>R. flavefaciens</i> ; ↑ <i>S. ruminantium</i> , ↑ <i>R. amylophilus</i> y ↑ <i>P. bryantii</i>	(9)

RSP: ración super básica; Con+H: alimento concentrado más heno; 50F:50C: 50% forraje y 50% concentrado; RTM: ración total mixta; M: metanogénicas o metanógenos; CAM: ciliados asociados a metanógenos; s.e.: sin efecto.  
Roque et al. (2019a) (1); Machado et al. (2018) (2); Choi et al. (2020b) (3); Hong et al. (2015) (4); Choi et al. (2021a) (5); Belanche et al. (2016b) (6); Belanche et al. (2016a) (7); Widiawati y Hikmawan (2021) (8); Wan et al. (2009) (9).

Tabla 2. Efecto de la especie y dosis de algas sobre los parámetros de fermentación *in vitro* con respecto al sustrato base.  
Table 2. Effect of algae species and dosage on *in vitro* fermentation parameters with respect to the basal substrate.

Especie	Dosis (mL/g MS)	Sustrato base	PTG, PTAGV y degradabilidad	CH <sub>4</sub> g/kg MS	Referencia
<i>A. taxiformis</i>	50	RSP	PTG ↓ 51%; AGV: ↑ C2:C3	↓ 95%	(1)
<i>Ascophyllum nodosum</i>	50	50F:50C	s.e. PTG; s.e. AGV; ↓ DN	s.e.	(2)
<i>Laminaria digitata</i>	50	50F:50C	s.e. PTG; s.e. AGV; s.e. DN	s.e.	(2)
<i>Gracilaria vermiculophylla</i>	250	Heno	PTG ↓ 18%; s.e. PTAGV; ↑ C2, ↓ C4, ↑ C2:C3	↓ 59%	(3)
<i>Saccharina latissima</i>	250	Heno	PTG ↓ 11%; s.e. PTAGV; ↑ C2, ↓ C4; ↑ C2:C3	s.e.	(3)
<i>G. vermiculophylla</i>	250	Ensilado	PTG ↑; ↓ PTAGV	↓ 63%	(3)
<i>Saccharina latissima</i>	250	Ensilado	PTG ↑; s.e. AGV	s.e.	(3)
<i>Chaetomorpha linum</i>	100 - 400	Con	↓ PTG con ↑ dosis; ↓ DMS con ↑ dosis	-	(4)
<i>Ulva lactuca</i>	100 - 400	Con	↓ PTG con ↑ dosis; ↓ DMS con ↑ dosis	-	(4)
<i>Ulva rigida</i>	250	RTM	s.e. PTG; AGV: ↓ C3, ↓ isovalérico; ↑ DMS, ↑ DMO, ↓ DPC	s.e.	(5)
<i>G. vermiculophylla</i>	250	RTM	s.e. PTG; AGV: ↑ C2, ↓ C3, ↓ C4, ↑ C2:C3; ↑ DMS, ↑ DMO, ↓ DPC	s.e.	(5)
<i>S. latissima</i>	250	RTM	s.e. PTG; AGV: ↑ C2, ↓ C4; ↑ DMS, ↑ DMO	s.e.	(5)
<i>A. taxiformis</i>	5 - 100	Heno	PTG ↓ 30%; ↓ PTAGV con dosis >50, ↑ C2, ↑ C3; ↓ DMO	↓ 85%	(6)
<i>Undaria pinnatifida</i>	10 - 100	Heno	s.e. PTG; ↑ PTAGV con ↑ dosis, ↑ C2, C3 y C4 con ↑ dosis; ↑ DMS con ↑ dosis (3 y 12 h)	s.e.	(7)
<i>Sargassum fusiforme</i>	10 - 100	Heno	PTG ↓ a las 24h; ↑ PTAGV con ↑ dosis, ↑ C2, C3 y C4 con ↑ dosis; ↑ DMS (3h) y ↓ (24h) con ↑ dosis	↓ 7,5-43%	(8)
<i>Sargassum fulvellum</i>	10 - 100	Heno	PTG ↑ a las 3, 6 y 9h; ↑ PTAGV con ↑ dosis; PTAGV: ↑ C2, C3 y C4 con ↑ dosis; ↑ DMS (3, 6 y 9 h) con ↑ dosis	s.e.	(9)
<i>S. fulvellum</i>	50	Heno	PTG ↑; AGV: ↑ C2; ↑ DMS (12, 24 y 48h)	↓ 10,4%	(10)
<i>U. pinnatifida</i>	50	Heno	PTG ↑; AGV: ↑ C2, ↑ C2:C3; ↓ DMS (12) y ↑ (24 y 48h)	↓ 26,7%	(10)
<i>S. fusiforme</i>	50	Heno	PTG ↑; ↑ PTAGV, ↑ C2; ↑ DMS (12, 24 y 48h)	↓ 13,9%	(10)
<i>Eucheuma cottonii</i>	40 - 120	Heno	PTG ↑; ↑ DMS e ↑ DMO con ↑ dosis	↓ 6-16%	(11)
<i>A. taxiformis</i>	20	Heno	PTG ↓ 29-34%	↓ 99%	(12)

N/D: no determinado; RSP: ración super básica; 50F:50C: 50% forraje y 50% concentrado; Con: alimento concentrado; RTM: ración total mixta; C2: acético; C3: propiónico; C4: butírico; DN: degradabilidad del N; DPC: degradabilidad de la PC.

Roque et al. (2019a) (1); Belanche et al. (2016a) (2); Maia et al. (2016) (3); Rjiba-Kitta et al. (2017) (4); Maia et al. (2019) (5); Kinley et al. (2016a) (6); Choi et al. (2019) (7); Choi et al. (2020a) (8); Choi et al. (2020b) (9); Choi et al. (2021a) (10); Widiawati y Hikmawan (2021) (11); Machado et al. (2018) (12).

(1%), se disminuyen los efectos negativos (Kinley et al., 2016). Las algas pardas adicionadas al 5% en sustratos fibrosos, reducen la generación de  $CH_4$  hasta un 27% (Bikker et al., 2020; Choi et al., 2019; Choi et al., 2021a; Choi et al., 2021b). Es posible que los florotaninos del sargazo pelágico posean este potencial antimetanoagénico, por lo que, se requiere determinar las dosis mínimas efectivas en rumiantes.

La adición de algas provoca cambios en la producción total de AGV (PTAGV) y en el perfil de AGV en líquido ruminal (Choi et al., 2021). Maia et al. (2016) al evaluar diversas especies de algas encontraron un efecto de sustrato base (silo de maíz y heno de pasto) y de interacción del sustrato base con la especie de alga sobre la PTAGV y la producción individual de AGV (PIAGV) en líquido ruminal (Tabla 2). Cuando el sustrato base es una ración total mixta (RTM), la PTAGV no se ve afectada por las algas, pero sí el perfil (Maia et al., 2019). Por otro lado, la adición de un 5% de *A. taxiformis* en dietas concentradas no afecta la PTAGV, pero mejora la relación

propionato: acetato e incrementan el propiónico y butírico, los cuales están relacionados con la reducción de  $CH_4$  (Roque et al., 2019; Kinley et al., 2021). Las dietas concentradas mitigan en parte los efectos negativos de las dosis altas de algas sobre la fermentación ruminal (Rjiba-Ktita et al., 2017). Por otro lado, las algas pardas: *U. pinnatifida*, *S. fusiforme* y *S. fulvellum*, han demostrado resultados positivos sobre PTAGV y PIAGV (Choi et al., 2019; Choi et al., 2020a; Choi et al., 2020b; Choi et al., 2021a; Choi et al., 2021b). Probablemente, estos resultados positivos con las algas pardas podrían estar relacionados con su contenido de polisacáridos (Choi et al., 2020b; Demarco et al., 2022; Michalak et al., 2022).

### EFFECTO DE LA ADICIÓN DE ALGAS MARINAS SOBRE LA DEGRADABILIDAD *in situ* DE LOS NUTRIENTES

El efecto de las algas sobre la degradabilidad *in situ* de los nutrientes está influenciada por la especie (Choi et al., 2019; Choi et al., 2020a; Choi et al., 2020b) y el sustrato base (Tabla 3). En las

**Tabla 3. Efecto de especie de alga y sustrato base sobre la degradabilidad *in situ*.**  
**Table 3. Effect of algae species and basal substrate on *in situ* degradability.**

Especie	Dosis g/kg MS	Sustrato base	Degradabilidad	Referencia
<i>U. pinnatifida</i>	1000	Heno	↑ DMS a las 24, 48 y 72 h	(1)
<i>S. fusiforme</i>	1000	Heno	↑ DMS a las 24 h	(2)
<i>S. fulvellum</i>	1000	Heno	↑ DMS a las 24 h	(3)
<i>C. linum</i>	1000	Forraje de Cebada	DMO: 55,8 %	(4)
<i>U. lactuca</i>	1000	Forraje de Cebada	DMO: 89,7 %	(4)
<i>C. linum</i>	100 - 400	Concentrado	s,e, DMS	(4)
<i>U. lactuca</i>	100 - 400	Concentrado	s,e, DMS	(4)
<i>Alaria esculenta</i>	1000	Sin control	DMS: 77,4%, DPC: 71,7%	(5)
<i>L. digitata</i>	1000	Sin control	DMS: 92,4%, DPC: 81,9%	(5)
<i>P. canaliculata</i>	1000	Sin control	DMS: 28,9%, DPC: 32,2%	(5)
<i>M. stellatus</i>	1000	Sin control	DMS: 38,8%, DPC: 41,7%	(5)
<i>P. palmata</i>	1000	Sin control	DMS: 91,3%, DPC: 80,4%	(5)
<i>Porphyra sp.</i>	1000	Sin control	DMS: 70,7%, DPC: 69,8	(5)
<i>Acrosiphonia sp.</i>	1000	Sin control	DMS: 64,8%, DPC: 66,1%	(5)
<i>Ulva sp.</i>	1000	Sin control	DMS: 43,2%, DPC: 44,8%	(5)
<i>L. digitata</i>	1000	Sin control	DTAA: 20,6%	(6)
<i>M. stellatus</i>	1000	Sin control	DTAA: 9,5%	(6)
<i>P. palmata</i>	1000	Sin control	DTAA: 51,8%	(6)
<i>Porphyra sp.</i>	1000	Sin control	DTAA: 35,1%	(6)
<i>Cladophora rupestris</i>	1000	Sin control	DTAA: 34,2%	(6)
<i>Ulva sp.</i>	1000	Sin control	DTAA: 27,4%	(6)
<i>Ulva sp.</i>	1000	Heno de Alfalfa	s.e. DMS, ↓ DMO, ↓ DPC	(7)
<i>Sargassum horneri</i>	1000	Heno de Alfalfa	↓ DMS, ↓ DMO, ↓ DPC	(7)

DPC: degradabilidad de la PC; DTAA: degradabilidad total de los aminoácidos.

Choi et al. (2019) (1); Choi et al. (2020a) (2); Choi et al. (2020b) (3); Rjiba-Ktita et al. (2017) (4); Tayyab et al. (2016) (5); Gaillard et al. (2018) (6); Park et al. (2022) (7).

algas verdes, la DMO de *U. lactuca* es mayor que la de *C. linum*; sin embargo, cuando estas dos especies son incluidas en un concentrado, no muestran diferencias (Rjiba-Ktita et al., 2017). Con respecto a la degradabilidad de la proteína cruda (DPC) en las algas pardas y rojas, *L. digitata* y *Palmaria palmata* tienen la mayor degradabilidad comparadas con *Pelvetia canaliculata* y *Mastocarpus stellatus* (Tayyab et al., 2016). La degradabilidad *in situ* de los aminoácidos de las algas rojas es mayor comparada con las algas pardas; esto está relacionado con la concentración de aminoácidos de cada especie (Gaillard et al., 2018). La baja degradabilidad de los aminoácidos en las algas pardas tiene que ver con su contenido de florotaninos y la estructura química de sus paredes celulares; sin embargo, también influyen las propiedades físicas (anatomía y morfología) y su composición de aminoácidos. De acuerdo a Rjiba-Ktita et al. (2017) y Park et al. (2022), los altos niveles de ceniza y de proteína insoluble en detergente neutro (PIDN) de las algas, reducen la DMO y DPC. Como consecuencia de este último, se incrementa el suministro de aminoácidos en el intestino delgado de los rumiantes, por lo que las algas podrían ser una fuente de proteína de sobrepeso (Gaillard et al., 2018).

## CONSUMO Y DIGESTIBILIDAD DE LAS ALGAS EN RUMIANTES

La alta concentración de algas en las dietas para

rumiantes, reducen el consumo de MS por los cambios negativos en la palatabilidad ocasionada por el alto contenido de minerales (Altomonte et al., 2018) y, por el incremento de hidrógeno metabólico en el rumen (Fig. 1), que resulta de la inhibición de la metanogénesis (Roque et al., 2019b). Sin embargo, este efecto depende de la especie de alga (Tabla 4) y la dosis; estudios con ovinos, cabras y vacas que recibieron algas en la dieta, reportan que el consumo y digestibilidad de los nutrientes no se vieron afectados (Singh et al., 2015; de Lima et al., 2019; Liu et al., 2020; Abu El-Kassim et al., 2021; Newton et al., 2021).

Por otro lado, los florotaninos modifican el consumo y el metabolismo del N en los rumiantes de manera diferencial. En ovinos, *S. latissima* no afecta el consumo de MS, pero incrementa la digestibilidad del N (Özkan Gülzari et al., 2019). Mientras que en bovinos, *U. pinnatifida* redujo el consumo sin afectar la productividad animal (Hwang et al., 2014). En vacas lactantes, *A. nodosum* incrementa el consumo de nutrientes y la digestibilidad de la PC, lo cual se refleja en el N urinario y fecal (Antaya et al., 2019). Probablemente, el efecto diferencial de los florotaninos en los estudios se deba: a las diferencias en las concentraciones y en la estructura química de estos compuestos fenólicos, como sucede con las plantas terrestres taniníferas, pero este efecto no es claro.

Con las algas rojas del género *Asparagopsis*,

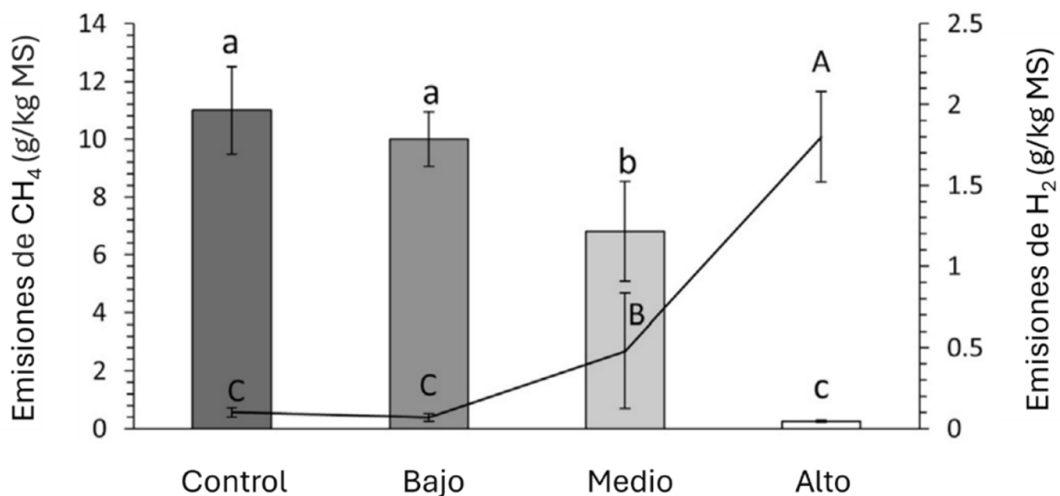


Fig. 1. Producción de CH<sub>4</sub> entérico e hidrógeno (H<sub>2</sub>) en novillos alimentados con una dieta mixta alta en grano con inclusión creciente de *A. taxiformis*: 0,00 (Control), 0,05 (Bajo), 0,10 (Medio) y 0,20% (Alto). Fuente: Kinley et al. (2020).

Fig. 1. Enteric CH<sub>4</sub> and hydrogen (H<sub>2</sub>) production in cattle fed a mixed diet high in grain with increasing inclusion of *A. taxiformis*: 0.00 (Control), 0.05 (Low), 0.10 (Medium), and 0.20% (High). Source: Kinley et al. (2020).

**Tabla 4. Efecto de las algas sobre el consumo, digestibilidad y parámetros de fermentación en los rumiantes.**  
**Table 4. Effect of algae on intake, digestibility and fermentation parameters in ruminants.**

Especie	Especie de rumiante	Dosis g/kg MS	Dieta base	Consumo	Digestibilidad	CH <sub>4</sub> y AGV	Referencia
<i>A. nodosum</i>	Vacas	6.40	F+RTM	↑ MS, ↑MO, ↑FDN, ↑FDA y ↑PC	↓PC, ↓FDA, ↓NU/C y ↑NF/C	s.e. CH <sub>4</sub>	(1)
<i>Halimeda opuntia</i>	Corderos	10	RTM	s.e.	↑MS, ↑MO, ↑PC, ↑FC y ↑ELN	s.e. AGV	(2)
<i>Gracilaria birdiae</i>	Cabras	40 - 120	F60:40C	s.e.	-	-	(3)
<i>S. latissima</i>	Ovinos	162	Heno	s.e.	s.e.	↓PTAGV	(4)
<i>Porphyra spp.</i>	Ovinos	108	Heno	s.e.	↑N, ↑NU/C y ↓NF/C	s.e. AGV	(4)
<i>U. pinnatifida</i>	Novillos	20	DC	s.e.	-	-	(5)
<i>Sargassum wightii</i>	Vacas	200	RTM	s.e.	s.e.	-	(6)
<i>A. armata</i>	Vacas	5 y 10	RTM	↓ MS con ↑ dosis	-	↓ CH <sub>4</sub> con ↑ dosis	(7)
<i>A. taxiformis</i>	Novillos	2.5 y 5	RTM	↓ MS con ↑ dosis	-	↓ CH <sub>4</sub> con ↑ dosis	(8)
<i>A. taxiformis</i>	Novillos	5 - 20	RTM	s.e.	-	↓ CH <sub>4</sub> con ↑ dosis; AGV: ↓ C <sub>2</sub> , ↑ C <sub>3</sub> , ↓ C <sub>2</sub> :C <sub>3</sub> con ↑ dosis	(9)
<i>Sargassum latifolium</i>	Corderos	20 y 40	Con+H	s.e.	-	-	(10)
<i>A. taxiformis</i>	Ovejas	5 - 30	Con+ lupino	s.e.	-	↓ CH <sub>4</sub> con ↑ dosis; ↓ PTAGV con ↑ dosis, ↓ C <sub>2</sub> , ↑ C <sub>3</sub> , ↓ C <sub>2</sub> :C <sub>3</sub>	(11)
<i>Porphyra spp.</i>	Ovejas	97	FE+AV	MS, ↑MO, ↑FDN y ↑PC	-	s.e. CH <sub>4</sub> ; s.e. AGV	(12)
<i>Sargassum johnstonii</i>	Vacas	80	RTM	↓ MS, ↓ PC	-	s.e. CH <sub>4</sub> ;	(13)
<i>A. nodosum</i>	Ovinos	10 - 50	RTM	-	-	↑ C <sub>2</sub> con ↑ dosis, ↓ C <sub>3</sub> , C <sub>4</sub> , ↓ C <sub>2</sub> :C <sub>3</sub> con ↑ dosis	(14)

RTM: ración total mixta; F+RTM: Forraje más ración total mixta; F60:40C: 60% de forraje y 40% de concentrado; DC: dieta con 8% de PC y 41% de FDN; Con: concentrado; Con+H: alimento concentrado más heno; FE+AV: forraje ensilado más avena; C<sub>2</sub>: acético; C<sub>3</sub>: propiónico; C<sub>4</sub>: butírico.  
 Antaya et al. (2019) (1); Abu El-Kassim et al. (2021) (2); de Lima et al. (2019) (3); Özkan Gulzari et al. (2019) (4); Hwang et al. (2014) (5); Singh et al. (2015) (6); Roque et al. (2019b) (7); Roque et al. (2021) (8); Kinley et al. (2020) (9); Ibrahim et al. (2020) (10); Li et al. (2018) (11); Lind et al. (2020) (12); Katwal et al. (2021) (13); Zhou et al. (2018) (14)



también se observa un efecto diferencial. La inclusión de hasta un 3% de *A. taxiformis* en la dieta fibrosa de corderos no afecta el consumo y las emisiones de CH<sub>4</sub> se redujeron linealmente (Li et al., 2018). Estos valores concuerdan con lo reportado por Kinley et al. (2020) en novillos que recibieron niveles bajos de *A. taxiformis* (0,05; 0,10 y 0,20%) en una dieta alta en granos, donde el consumo de MS no se vio afectado y el CH<sub>4</sub> disminuyó en 9, 38 y 98%, respectivamente (Fig. 1). Por el contrario, en vacas lecheras la inclusión de 0,5 y 1% de *Asparagopsis armata* en la dieta, redujo el CH<sub>4</sub> y el consumo de MS en 26,4 y 67,2% y 10 y 38%, respectivamente (Roque et al., 2019b). La respuesta de las algas sobre las emisiones de CH<sub>4</sub> depende de la especie de alga y la calidad de la dieta (Antaya et al., 2019; de la Moneda et al., 2019; Lind et al., 2020; Molina-Alcaide et al., 2017).

### CAMBIOS EN LOS PATRONES DE FERMENTACIÓN EN RUMIANTES SUPLEMENTADOS CON ALGAS

Las algas modifican el microbioma y en consecuencia la fermentación ruminal (Abbott et al., 2020; Michalak et al., 2021). Los escasos estudios *in vivo*, indican que la dieta basal juega un importante rol; Li et al. (2018) argumentan que la inclusión de *A. taxiformis* en ovinos, disminuye la PTAGV y el CH<sub>4</sub>, pero incrementa la proporción de ácido propiónico. Por el contrario, la inclusión de *A. taxiformis* en bovinos de carne, no solo no modifica la PTAGV, sino que tiende a disminuir el acetato y a incrementar el propionato como una consecuencia de la inhibición de la metanogénesis en el rumen (Kinley et al., 2020). Estos cambios sobre las proporciones molares de los AGV han sido demostrados en estudios *in vitro* con algas ricas en bromoformo (Kinley et al., 2016; Machado et al., 2016a; Machado et al., 2016b).

El mecanismo de acción de este compuesto halogenado es a través de su unión competitiva a la coenzima M metiltransferasa, inhibiendo la transferencia de metilo en la ruta metanogénica; además de bloquear la actividad de la metil coenzima M reductasa, que cataliza el último paso y limita la tasa de producción de CH<sub>4</sub> (Glasson et al., 2022; Roque et al., 2019b).

Algunas especies utilizadas como fuentes de proteína como *S. latissima* en dietas para ovinos, han mostrado efectos diferenciales donde *S. latissima* reduce la PTAGV y el NH<sub>3</sub> en el rumen (Tabla 4 y 1); mientras que *Porphyra sp.* no tiene respuesta (Özkan Gülzari et al., 2019). Lind et al. (2020) al evaluar *Porphyra sp.* en corderos, encontró que la concentración de NH<sub>3</sub> y el acetato en el rumen incrementó comparado con el control. Otro estudio con *A. nodosum* en ovinos,

reporta que no hubo cambios en la PTAGV, pero la concentración de acetato aumentó y las de propionato y butirato disminuyeron con el nivel de inclusión (Zhou et al., 2018). Otros factores que hay que considerar son: época de recolecta y procesamiento postrecolecta ya que influyen en la composición química de las algas (Saldarriaga-Hernandez et al., 2021; Bolkenov et al., 2021; Regal et al., 2020).

### CAMBIOS EN EL MICROBIOMA RUMINAL POR EFECTO DE LAS ALGAS MARINAS

La producción de CH<sub>4</sub> está relacionada con el tamaño de la población metanógena en el rumen, aunque podría ser la constitución más que el tamaño de la comunidad lo que más influye en la metanogénesis (Abbott et al., 2020). El bromoformo provoca cambios en la estructura de las poblaciones de arqueas metanogénicas (Roque et al., 2019a). Al respecto, *A. taxiformis* adicionada al 2% disminuye entre 72 y 75% la población de metanógenos (Tabla 1), correlacionándose con una reducción de 77 y 99% en la producción de CH<sub>4</sub> (Machado et al., 2018).

Por otro lado, los florotaninos afectan selectivamente la abundancia de las bacterias celulolíticas y reducen las arqueas metanogénicas sin comprometer la utilización de la fibra del alimento (Choi et al., 2021a; Choi et al., 2021b). Wang et al. (2009) reportan incrementos en las poblaciones bacterianas no celulolíticas, indicando que el efecto de los florotaninos sobre el microbioma ruminal depende del tipo de dieta. Por otro lado, se observan disminuciones en la población de protozoarios en líquido ruminal por la adición de algas rojas a un sustrato fibroso (Widiawati y Hikmawan, 2021).

El contenido de florotaninos y polisacáridos sulfatados de las algas pardas tienen propiedades antioxidantes, antimicrobianas y antiprotozoarias (Belanche et al., 2016b; Choi et al., 2021a; Choi et al., 2020a; Makkar et al., 2016; Pradhan et al., 2022). Belanche et al. (2016b) y Canul-Ku et al. (2023) con *A. nodosum* y sargazo pelágico observaron una disminución sobre la actividad y población de protozoarios, mientras que la producción de gas y CH<sub>4</sub> se redujeron. El mecanismo de acción antibacteriano de estos compuestos fenólicos se relaciona con su capacidad de afectar la permeabilidad de la pared celular, provocando lisis celular y por la supresión de la reproducción bacteriana (Pradhan et al., 2022).

*In vivo*, los efectos de las algas sobre el ambiente ruminal dependen de: la especie de alga, nivel de inclusión, especie de rumiante y tipo de dieta basal (Tabla 5). Algunos estudios con algas pardas adicionados en niveles de 1 a 16% en la dieta de ovinos no afectan el pH y el N-NH<sub>3</sub> en el rumen

**Tabla 5. Efecto de las algas sobre el pH, NH<sub>3</sub> y poblaciones microbianas en el rumen.**  
**Table 5. Effect of algae on pH, NH<sub>3</sub> and microbial populations in rumen.**

Especie de alga	Especie de rumiante	Dosis g/kg MS	Dieta basal	pH, NH <sub>3</sub> y poblaciones microbianas	Referencia
<i>H. opuntia</i>	Ovinos	10	RTM	s.e.	(1)
<i>S. latissima</i>	Ovinos	162	Heno	s.e.	(2)
<i>Porphyra spp.</i>	Ovinos	108	Heno	s.e.	(2)
				↑ NH <sub>3</sub> ; ↓ bacterias y arqueas totales, ↑ protozoos con ↑ dosis; ↑ familias:	
<i>A. nodosum</i>	Ovinos	10 - 50	RTM	<i>Veillonellaceae</i> , <i>Blautia producta</i> y <i>Entodinium</i> ; ↓ familias: <i>Coriobacteriaceae</i> , <i>Roseburia sp.</i> , <i>Coprococcus sp.</i> y <i>Prevotella copri</i>	(3)
<i>A. taxiformis</i>	Ovinos	5 - 30	Con + Lupino	s.e.	(4)

RTM: ración total mixta; s.e.: sin efecto

Abu El-Kassim et al. (2021) (1); Özkan Gulzari et al. (2019) (2); Zhou et al. (2018) (3); Li et al. (2018) (4).

(Özkan Gülzari et al., 2019; El-Kassim et al., 2021). Las algas rojas del género *Asparagopsis*, se han utilizado en dietas para bovinos en bajos niveles de inclusión que no rebasan el 1% con buenos resultados (Roque et al., 2019b; Kinley et al., 2020; Roque et al., 2021; Bolkenov et al., 2021). En ovinos se ha incluido en niveles un poco más altos (0,5; 1; 2 y 3%), donde el pH ruminal no se ha visto afectado mientras que el N-NH<sub>3</sub> ha tendido a disminuir con el incremento del nivel en la dieta (Li et al., 2018). Con base en los pocos estudios *in vivo*, la adición de algas en dietas para rumiantes no provoca cambios sustanciales en el pH ruminal que pudieran afectar negativamente otros parámetros fermentativos y comprometer la productividad animal.

Por otro lado, Zhou et al. (2018) demostraron que la inclusión de *A. nodosum* en ovinos, redujo las poblaciones de arqueas totales e incrementó la población de protozoos. Esto podría deberse a que los cambios provocados por las algas sobre las comunidades microbianas son lentas y podrían no estar relacionados con la reducción en la producción de gas (Roque et al., 2019a). Antaya et al. (2019), sugieren la existencia de un efecto temporal o una adaptación de la comunidad metanogénica a la dosis suministrada a lo largo del tiempo. En concordancia, Min et al. (2021) afirman que la duración de los ensayos de alimentación animal podría explicar las discrepancias de los resultados, principalmente porque algunos trabajos con algas son muy cortos en duración y no consideran la diferencia en el tiempo de adaptación de los metanógenos con respecto a las bacterias a los cambios dietarios.

#### EFFECTO DE LAS ALGAS MARINAS SOBRE EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO

Las algas marinas mejoran el crecimiento y la calidad de la carne en rumiantes debido a su actividad prebiótica en el intestino y a su efecto positivo sobre el estado oxidativo de los animales (Costa et al., 2021). Ellamie et al. (2020) e Ibrahim et al. (2020) observaron un incremento en la ganancia de peso (GP) en ovejas alimentadas con niveles de 2 y 4% de *S. latifolium*. Del mismo modo, la suplementación de bovinos con *U. pinnatifida*, mejora el estado inmunitario, la GP y la eficiencia alimenticia (Hwang et al., 2014). Mientras que otros estudios en pequeños rumiantes, indican que la GP y el peso vivo final no son afectados por la adición de bajos a moderados niveles de algas (Rjiba-Ktita et al., 2019; Lind et al., 2020; Sharma y Datt, 2020; El-Kassim et al., 2021). De acuerdo a Evans y Critchley (2014), niveles de hasta 2% de algas producen efectos benéficos en la fisiología digestiva de los rumiantes, mientras que niveles por encima de 10% de la MS de la dieta reducen el rendimiento animal.

Las especies de algas rojas del género *Asparagopsis*, son consideradas como potentes inhibidores de CH<sub>4</sub> en los rumiantes y se han evaluado sus efectos sobre el rendimiento animal (Tabla 6). Al respecto, cuando se incluyen niveles crecientes (0,05 a 3%) de *A. taxiformis* en dietas para ovinos y bovinos de carne no se observan diferencias sobre la GP, aunque la conversión alimenticia puede verse mejorada (Li et al., 2018; Roque et al., 2021). Cuando esta misma especie de alga se evaluó en bovinos alimentados con una dieta alta en granos con niveles de inclusión de 0,05; 0,1 y 0,20%, la GDP incrementó por arriba de

Tabla 6. Efecto de las algas sobre el rendimiento productivo y calidad de los productos en los rumiantes.  
Table 6. Effect of algae on productive performance and product quality in ruminants.

Especie de alga	Especie de rumiante	Dosis g/kg MS	Dieta basal	Rendimiento productivo	Calidad de la carne y leche	Referencia
<i>S. latifolium</i>	Corderos	20 - 40	Con+H	↑GPC	-	(1)
<i>S. latifolium</i>	Corderos	20 - 40	Con+H	↑GDP, ↑CA	-	(2)
<i>H. opuntia</i>	Corderos	10	RTM	↑CA	-	(3)
<i>U. pinnatifida</i>	Novillos	20	DC	↑GDP, ↑CA	En músculo longísimo ↓ C14:0 y C16:1 n-7; ↑ C18:0 y C18 n-3; ↓ AGPI/AGS y n-6/n-3; ↓ colesterol en carne	(4)
<i>Ulva</i> sp.	Corderos	200 - 400	Con	s.e.	-	(5)
<i>Chaetomorpha</i> sp.	Corderos	200 - 400	Con	s.e.	-	(5)
<i>Porphyras</i> sp.	Corderos	97	FE+AV	↑GDP	-	(6)
<i>A. taxiformis</i>	Novillos	5 - 20	RTM	↑GDP	s.e.	(7)
<i>A. taxiformis</i>	Novillos	2,5 - 5	RTM	↑CA con ↑ dosis	↑ el I con ↑ dosis en canal	(8)
<i>A. taxiformis</i>	Ovejas	5 - 30	Con + Lupino	s.e.	-	(9)
<i>S. wrightii</i>	Vacas	200	RTM	↑PDL	-	(10)
<i>U. pinnatifida</i>	Vacas	20 - 40	Con+H	s.e.	s.e.	(11)
<i>A. nodosum</i> y <i>L. digitata</i>	Vacas 1	0,89 y 3,46	FE+Con	s.e.	↓ Se, ↑ I; ↓ Cu, ↑ As, ↓ proteína y ↓ caseína en leche	(12)
<i>A. nodosum</i>	Vacas	6,40	F+RTM	s.e.	↑ I en la leche	(13)
<i>G. birdiae</i>	Cabras	40 - 120	F60:40C	s.e.	s.e.	(14)
<i>A. armata</i>	Vacas	5 - 10	RTM	↓PDL	↓ la proteína de la leche con ↑ dosis	(15)
<i>S. johnstonii</i>	Vacas	80	RTM	↓PDL	s.e.	(16)
<i>A. taxiformis</i>	Novillos	2,5 - 5	RTM	-	↓ luminosidad del músculo, ↑ población microbiana en los filetes (oscurecimiento)	(17)
<i>A. nodosum</i>	Vacas	23	RTM	-	↑ I y ↓ AAL, ↑ <i>Lactococcus lactis</i> y ↓ <i>Pseudomonas</i> en leche.	(18)

Con+H: alimento concentrado más heno; RTM: ración total mixta; DC: dieta con 8% de PC y 41% de FDN; Con: concentrado; FE+AV: forraje ensilado más avena; FE+Con: forraje ensilado más concentrado; F+RTM: Forraje más ración total mixta; F60:40C: 60% de forraje y 40% de concentrado; C14:0: ácido mirístico; C16:1 n-7: ácido palmítico; C18:0: ácido esteárico; y C18 n-3: ácido linoléico; AGS: ácidos grasos saturados; AGPI: ácidos grasos polinsaturados; n-3: omega 3 n-6: omega 6; AAL: aminoácidos libres; GDC: ganancia de peso corporal; GDP: ganancia diaria de peso; CA: conversión alimenticia; PDL: producción de leche; Ellamie et al. (2020) (1); Ibrahim et al. (2020) (2); Abu El-Kassim et al. (2021) (3); Hwang et al. (2014) (4); Rjiba-Kita et al. (2019) (5); Lind et al. (2020) (6); Kimley et al. (2020) (7); Roque et al. (2021) (8); Li et al. (2018) (9); Singh et al. (2015) (10); Hong et al. (2015) (11); Newton et al. (2021) (12); Antaya et al. (2019) (13); de Lima et al. (2019) (14); Roque et al. (2019b) (15); Katwal et al. (2021) (16); Bolkenov et al. (2021) (17); Chaves Lopez et al. (2016) (18).

20% (Kinley et al., 2020). Es de vital importancia elegir cuidadosamente los niveles a utilizar en los estudios de alimentación animal; si bien se busca reducir las emisiones de  $\text{CH}_4$ , también es necesario buscar un punto de inflexión donde se obtenga una reducción considerable de este GEI sin comprometer los parámetros productivos.

### EFEECTO DEL CONSUMO DE ALGAS SOBRE LA CALIDAD DE LA CARNE Y LECHE

Las algas marinas pueden ser ingredientes potenciales de dietas para rumiantes (Campbell et al., 2020; Choi et al., 2019). Algunas especies de algas, pueden modificar el contenido de ácidos grasos en el rumen y mejorar la calidad de los productos (Maia et al., 2019). En el caso de las algas pardas como *A. nodosum* y *U. pinnatifida* mejoran la puntuación de marmoleo, la terneza, la uniformidad del color y el enrojecimiento, además de mejorar el perfil de ácidos grasos de la carne (Costa et al., 2021). Dichos efectos pueden estar relacionados con el alginato, fucosterol, fibra dietética y a los florotánicos (Hwang et al., 2014).

En los estudios realizados con *A. taxiformis* en bovinos en niveles de 0,05 a 0,50%, la calidad, composición química de la canal y los atributos sensoriales de la carne no fueron afectados, y tampoco se detectaron residuos de bromoformo en carne, riñón y grasa a diferencia del yodo que sí incrementó (Kinley et al., 2020; Roque et al., 2021). Sin embargo, el bromoformo puede excretarse en orina y leche y, el mecanismo exacto de excreción, la formación de metabolitos y su potencial toxicidad son desconocidos; por lo tanto, se requiere de estudios que evalúen el bienestar animal y el metabolismo del bromoformo en el corto y largo plazo, para dilucidar su tasa de transferencia en los productos derivados (Muizelaar et al., 2021). Por otro lado, Bolkenov et al., (2021), al evaluar los mismos niveles de *A. taxiformis* en bovinos, observaron efectos negativos sobre las características microbianas y fisicoquímicas de la carne (Tabla 6). Esto puede ser debido a un efecto de época de recolecta; por esta razón, es de suma importancia tomar en cuenta la época de recolecta de las algas y la cuantificación específica del contenido de metabolitos secundarios (bromoformo, florotánicos, etc.) (Roskam et al., 2022).

Desde el punto de vista de la salud animal y del consumidor, es importante tener cuidado cuando se utilizan especies de algas ricas en I y As, para evitar un suministro excesivo en los animales y por ende en la leche (Newton et al., 2021). La concentración máxima de yodo y arsénico tolerable por los rumiantes es de 50 mg/kg MS; por lo tanto, dietas por encima

de este nivel, incrementan los niveles de I en la leche por encima del umbral de 500  $\mu\text{g/L}$  recomendado para el consumo humano (Antaya et al., 2019). Por otro lado, la inclusión de 2,3% de *A. nodosum* tomando como referencia los niveles recomendados de I, mejora el contenido de yodo de la leche y la calidad de la leche (Chaves Lopez et al., 2016). Con respecto al bromoformo, se ha observado que los niveles en la leche están muy por debajo (0,15  $\mu\text{g/L}$ ) de los límites establecidos para el consumo humano (80  $\mu\text{g/L}$ ) cuando las vacas reciben de 0,5 a 1,0% de *A. armata* (Roque et al., 2019b).

### FUTURO DEL USO DE ALGAS MARINAS EN LA NUTRICIÓN DE RUMIANTES

A nivel Latinoamérica, el estudio de Canul-Ku et al. (2023) sobre el uso del sargazo pelágico en la nutrición de rumiantes es pionero y es un parteaguas para la promoción de este valioso recurso no convencional. En las zonas tropicales de México donde la ganadería genera más  $\text{CH}_4$  entérico, el uso del sargazo como una estrategia alimenticia para la mitigación de  $\text{CH}_4$  traería beneficios ambientales. Sin embargo, se requiere de estudios sobre la concentración y especiación de arsénico y otros compuestos potencialmente tóxicos del sargazo por época y su tasa de transferencia a los productos (Muizelaar et al., 2021; Carrillo-Domínguez et al., 2023); para esto es necesario realizar ensayos de alimentación en rumiantes con dosis crecientes de inclusión bajo diferentes regímenes de alimentación, que evalúen el microbioma ruminal asociado con la eficiencia alimenticia y los parámetros inmunológicos asociados con el bienestar animal (Min et al., 2021), con la finalidad de descartar efectos nocivos en la salud animal y en los productos derivados. Además del contenido de arsénico, otra de las limitantes en su uso a gran escala en la alimentación animal sería los costos que conlleva el método de recolección, secado y molienda para convertirlo en harina, preservando la calidad de los compuestos bioactivos. No obstante, este costo es justificable si se toma en cuenta que un 1,0 km de playa/año tiene un costo de limpieza de sargazo de entre 300.000-1.000.000 de dólares (Rodríguez-Martínez et al., 2023). Finalmente, el área de oportunidad en torno al aprovechamiento del sargazo permitiría el surgimiento de economías circulares especializadas en la recolecta, conservación y valorización (Chávez et al., 2020). Al respecto, la creación de alimentos funcionales a base de algas pardas para la nutrición animal y humana; contribuiría a múltiples objetivos de desarrollo sustentable de la agenda 2030: acción por el clima, salud y bienestar, hambre cero, trabajo decente y crecimiento económico (Dijkstra et al., 2021).

## CONCLUSIONES

El sargazo pelágico representa una oportunidad como fuente de nutrientes y compuestos bioactivos de importancia para la nutrición animal. Se concluye que el sargazo pelágico tiene potencial para su incorporación en la dieta de rumiantes como un aditivo con propiedades antimetabólicas, prebióticas, inmuno-moduladoras y mejoradoras de la calidad de la carne y leche.

## AGRADECIMIENTOS

Al programa de Doctorado en Ciencias en Agricultura Tropical Sustentable de la División de Estudios de Postgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán, México. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conahcyt) por el apoyo económico brindado durante este periodo.

## Contribución de autores

Los autores presentes en este manuscrito participaron activamente en el desarrollo metodológico de esta revisión: Luis Alberto Canul-Ku, José Roberto Sanginés-García, Ingrid Abril Valdivieso-Pérez, Fernando Casanova-Lugo, Edgar Aguilar Urquizo, Jorge Rodolfo Canul-Solís y Ángel Trinidad Piñeiro-Vázquez participaron en el diseño metodológico y desarrollo de este trabajo. Luis Alberto Canul-Ku, Vargas-Bello-Pérez, Carlos Alvarado-López y Ángel Trinidad Piñeiro-Vázquez en la escritura, revisión y discusión del manuscrito, así como la aprobación de la versión final del escrito.

## LITERATURA CITADA

- Abbott, D.W., I.M. Aasen, K.A. Beauchemin, F. Grondahl, R. Gruninger, M. Hayes, et al. 2020. Seaweed and seaweed bioactives for mitigation of enteric methane: Challenges and opportunities. *Animals* 10(12): 1–28. <https://doi.org/10.3390/ani10122432>
- Abu El-Kassim M., S. Abdou, E. Hassan, and M. Abdullah. 2021. Effect of macroalgae and yeast culture on body performance, blood metabolites, ruminal fermentation and digestibility coefficients of Ossimi lambs. *Archives of Agriculture Sciences Journal* 4(1): 156–167. <https://doi.org/10.21608/aasj.2021.77678.1065>
- Altomonte I., F. Salari, R. Licitra, and M. Martini. 2018. Use of microalgae in ruminant nutrition and implications on milk quality – A review. *Livestock Science* 214: 25–35. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.05.006>
- Amador-Castro F., T. García-Cayuela, H. S. Alper, V. Rodriguez-Martinez, and D. Carrillo-Nieves. 2021. Valorization of pelagic sargassum biomass into sustainable applications: Current trends and challenges. *Journal of Environmental Management* 283: 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112013>
- Angulo, Chavez-Infante, Reyes-Becerril, Angulo, Romero-Geraldo, Llinas-Cervantes, et al. 2020. Immunostimulatory and antioxidant effects of supplemental feeding with macroalga *Sargassum* spp. on goat kids. *Tropical Animal Health and Production* 52(4): 2023–2033. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02218-5>
- Antaya N. T., M. Ghelichkhan, A. B. D. Pereira, K. J. Soder, and A. F. Brito. 2019. Production, milk iodine, and nutrient utilization in Jersey cows supplemented with the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* (kelp meal) during the grazing season. *Journal of Dairy Science* 102(9): 8040–8058. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16478>
- Arellano-Verdejo J., and H. E. Lazcano-Hernández. 2021. Collective view: mapping *Sargassum* distribution along beaches. *PeerJ Computer Science*, 7: e528. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.528>
- Barbosa M., G. Lopes, P. B. Andrade, and P. Valentão. 2019. Bioprospecting of brown seaweeds for biotechnological applications: Phlorotannin actions in inflammation and allergy network. *Trends in Food Science and Technology* 86: 153–171. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.037>
- Belanche A., E. Jones, I. Parveen, and C. J. Newbold. 2016a. A metagenomics approach to evaluate the impact of dietary supplementation with *Ascophyllum nodosum* or *Laminaria digitata* on rumen function in Rusitec fermenters. *Frontiers in Microbiology* 7: 1–14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00299>
- Belanche A., E. Ramos-Morales, and C. J. Newbold. 2016b. *In vitro* screening of natural feed additives from crustaceans, diatoms, seaweeds and plant extracts to manipulate rumen fermentation. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 96(9): 3069–3078. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7481>
- Bikker P., L. Stokvis, M. M. van Krimpen, P. G. van Wijkelaar, and J. W. Cone. 2020. Evaluation of seaweeds from marine waters in Northwestern Europe for application in animal nutrition. *Animal Feed Science and Technology* 263: 114460. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114460>

- Bolkenov, B., T. Duarte, L. Yang, F. Yang, B. Roque, E. Kebreab et al. 2021. Effects of red macroalgae *Asparagopsis taxiformis* supplementation on the shelf life of fresh whole muscle beef. *Translational Animal Science* 5(2): 1–9. <https://doi.org/10.1093/tas/txab056>
- Brooke, C.G., B.M. Roque, C. Shaw, N. Najafi, M. Gonzalez, A. Pfefferlen et al. 2020. Methane reduction potential of two pacific coast macroalgae during *in vitro* ruminant fermentation. *Frontiers in Marine Science* 7: 1–7. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00561>
- Cabrita, A.R.J., M.R.G. Maia, H.M. Oliveira, I. Sousa-Pinto, A.A. Almeida, E. Pinto et al. 2016. Tracing seaweeds as mineral sources for farm-animals. *Journal of Applied Phycology* 28(5): 3135–3150. <https://doi.org/10.1007/s10811-016-0839-y>
- Campbell, M., J. Ortuño, L. Ford, D.R. Davies, A. Koidis, P.J. Walsh et al. 2020. The effect of ensiling on the nutritional composition and fermentation characteristics of brown seaweeds as a ruminant feed ingredient. *Animals* 10(6): 1–17. <https://doi.org/10.3390/ani10061019>
- Canul-Ku, L.A., J.R. Sanginés-García, E. Aguilar Urquizo, J.R. Canul-Solís, I.A. Valdivieso-Pérez, E. Vargas-Bello-Pérez et al. 2023. Effect of pelagic sargassum on *in vitro* dry matter and organic matter degradation, gas production, and protozoa population. *Animals* 13(11): 1–13. <https://doi.org/10.3390/ani13111858>
- Carrillo-Domínguez S., R. E. Rodríguez-Martínez, M. Díaz-Martínez, E. Magaña-Gallegos, and M. Cuchillo-Hilario. 2023. Potential application of pelagic *Sargassum* spp. in animal feeding. *Journal of Applied Phycology* 35(1): 433–444. <https://doi.org/10.1007/s10811-022-02877-x>
- Chaves Lopez, C., A. Serio, C. Rossi, G. Mazzarrino, S. Marchetti, F. Castellani et al. 2016. Effect of diet supplementation with *Ascophyllum nodosum* on cow milk composition and microbiota. *Journal of Dairy Science* 99(8): 6285–6297. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10837>
- Chávez, V., A. Uribe-Martínez, E. Cuevas, R.E. Rodríguez-Martínez, B.I. van Tussenbroek, V. Francisco et al. 2020. Massive influx of pelagic *Sargassum* spp. on the coasts of the mexican caribbean 2014–2020: Challenges and opportunities. *Water (Switzerland)* 12(10): 1–24. <https://doi.org/10.3390/w12102908>
- Cho, H.M., T.P. Doan, T.K. Quy Ha, H.W. Kim, B.W. Lee, H.T. Tung Pham et al. 2019. Dereplication by High-Performance Liquid Chromatography (HPLC) with Quadrupole-Time-of-Flight Mass Spectroscopy (qTOF-MS) and antiviral activities of phlorotannins from *Ecklonia cava*. *Marine Drugs* 17(3): 1–18. <https://doi.org/10.3390/md17030149>
- Choi, Y.Y., S.J. Lee, Y.J. Lee, H.S. Kim, J.S. Eom, S.U. Jo et al. 2019. *In vitro* and *in situ* evaluation of *Undaria pinnatifida* as a feed ingredient for ruminants. *Journal of Applied Phycology* 32(1): 729–739. <https://doi.org/10.1007/s10811-019-01910-w>
- Choi, Y.Y., S.J. Lee, Y.J. Lee, H.S. Kim, J.S. Eom, S.Ch. Kim et al. 2020a. New challenges for efficient usage of *Sargassum fusiforme* for ruminant production. *Scientific Reports* 10(1): 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76700-3>
- Choi Y. Y., S. J. Lee, H. S. Kim, J. S. Eom, D. H. Kim, and S. S. Lee. 2020b. The potential nutritive value of *Sargassum fulvellum* as a feed ingredient for ruminants. *Algal Research*, 45: 101761. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101761>
- Choi, Y.Y., N.H. Shin, S.J. Lee, Y.J. Lee, H.S. Kim, J.S. Eom et al. 2021a. *In vitro* five brown algae extracts for efficiency of ruminal fermentation and methane yield. *Journal of Applied Phycology* 33(2): 1253–1262. <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02361-4>
- Choi, Y., S.J. Lee, H.S. Kim, J.S. Eom, S.U. Jo, L.L. Guan et al. 2021b. Effects of seaweed extracts on *in vitro* rumen fermentation characteristics, methane production, and microbial abundance. *Scientific Reports*, 11(1): 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03356-y>
- Costa M., C. Cardoso, C. Afonso, N. M. Bandarra, and J. A. M. Prates. 2021. Current knowledge and future perspectives of the use of seaweeds for livestock production and meat quality: a systematic review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 105: 1–28. <https://doi.org/10.1111/jpn.13509>
- de la Moneda, A., M.D. Carro, M.R. Weisbjerg, M.Y. Roleda, V. Lind, M. Novoa-Garrido et al. 2019. Variability and potential of seaweeds as ingredients of ruminant diets: An *in vitro* study. *Animals*, 9(10): 1–19. <https://doi.org/10.3390/ani9100851>
- de Lima, R.N., J.B.F. de Souza, N.V. Batista, A.K.S. de Andrade, E.C.A. Soares, C.A. dos Santos Filho et al. 2019. Mitigating heat stress in dairy goats with inclusion of seaweed *Gracilaria birdiae* in diet. *Small Ruminant Research* 171: 87–91. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2018.11.008>

- Demarco M., J. Oliveira de Moraes, Â. P. Matos, R. B. Derner, F. de Farias Neves, and G. Tribuzi. 2022. Digestibility, bioaccessibility and bioactivity of compounds from algae. *Trends in Food Science and Technology* 121: 114–128. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.02.004>
- Dijkstra, J. W., K. D. Rojas, C. de Roeck, and T. Vanagt. 2021. Sustainability Analysis of Cultivated Seaweed Valorisation Concepts.
- Ellamie A. M., W. A. Fouda, W. M. Ibrahim, and G. Ramadan. 2020. Dietary supplementation of brown seaweed (*Sargassum latifolium*) alleviates the environmental heat stress-induced toxicity in male Barki sheep (*Ovis aries*). *Journal of Thermal Biology* 89: 102561. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102561>
- Espinosa L. A., and J. J. Li Ng. 2020. El riesgo del sargazo para la economía y turismo de Quintana Roo y México. *BBVA Research* 20(2): 1–35. issn: 2594-1704
- Evans F. D., and A. T. Critchley. 2014. Seaweeds for animal production use. *Journal of Applied Phycology* 26(2): 891–899. <https://doi.org/10.1007/s10811-013-0162-9>
- Ford, L., A. Ch. Stratakos, K. Theodoridou, J.T.A. Dick, G.N. Sheldrake, M. Linton et al. 2020. Polyphenols from Brown Seaweeds as a Potential Antimicrobial Agent in Animal Feeds. *ACS Omega* 5(16): 9093-9103. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b03687>
- Frazzini, S., E. Scaglia, M. Dell'Anno, S. Reggi, S. Panseri, C. Giromini et al. 2022. Antioxidant and antimicrobial activity of algal and cyanobacterial extracts: An *in vitro* study. *Antioxidants* 11(5): 992. <https://doi.org/10.3390/antiox11050992>
- Gaillard C., H. S. Bhatti, M. Novoa-Garrido, V. Lind, M. Y. Roleda, and M. R. Weisbjerg. 2018. Amino acid profiles of nine seaweed species and their *in situ* degradability in dairy cows. *Animal Feed Science and Technology* 241: 210–222. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.05.003>
- García-Sánchez M., C. Graham, E. Vera, E. Escalante-Mancera, L. Álvarez-Filip, and B. I. van Tussenbroek. 2020. Temporal changes in the composition and biomass of beached pelagic *Sargassum* species in the Mexican Caribbean. *Aquatic Botany* 167: 103275 <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2020.103275>
- Glasson, C.R.K., R.D. Kinley, R. de Nys, N. King, S.L. Adams, M.A. Packer et al. 2022. Benefits and risks of including the bromoform containing seaweed *Asparagopsis* in feed for the reduction of methane production from ruminants. *Algal Research* 64: 102673. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102673>
- Hadrová S., K. Sedláková, L. Křížová, and S. Malyugina. 2021. Alternative and unconventional feeds in dairy diets and their effect on fatty acid profile and health properties of milk fat. *Animals* 11(6): 1–32. <https://doi.org/10.3390/ani11061817>
- Hong Z. S., E. J. Kim, Y. C. Jin, J. S. Lee, Y. J. Choi, and H. G. Lee. 2015. Effects of supplementing brown seaweed by-products in the diet of Holstein cows during transition on ruminal fermentation, growth performance and endocrine responses. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 28(9): 1296–1302. <https://doi.org/10.5713/ajas.15.0235>
- Huang Q., Y. Chen, X. Wang, Y. Wei, M. Pan, and G. Zhao. 2023. Effects of phlorotannins from sargassum on *in vitro* rumen fermentation, microbiota and fatty acid profile. *Animals* 13(18): 2854. <https://doi.org/10.3390/ani13182854>
- Hwang, J.A., M.M. Islam, S.T. Ahmed, H.S. Mun, G.M. Kim, Y.J. Kim et al. 2014. Seamustard (*Undaria pinnatifida*) improves growth, immunity, fatty acid profile and reduces cholesterol in hanwoo steers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 27(8): 1114–1123. <https://doi.org/10.5713/ajas.2014.14072>
- Ibrahim N., A. Ellamie, W. Fouda, and F. Younis. 2020. Physiological and behavioral responses of growing barki ram lambs exposed to heat stress and fed brown seaweed as additives under semi-arid conditions. *Journal of Animal and Poultry Production* 11(2): 55–65. <https://doi.org/10.21608/jappmu.2020.84566>
- Kang, J., X. Jia, N. Wang, M. Xiao, S. Song, S. Wu et al. 2022. Insights into the structure-bioactivity relationships of marine sulfated polysaccharides: A review. *Food Hydrocolloids* 123: 107049. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107049>
- Kinley R. D., R. De Nys, M. J. Vucko, L. MacHado, and N. W. Tomkins. 2016. The red macroalgae *Asparagopsis taxiformis* is a potent natural antimethanogenic that reduces methane production during *in vitro* fermentation with rumen fluid. *Animal Production Science* 56(3): 282–289. <https://doi.org/10.1071/AN15576>
- Kinley R. D., G. Martinez-Fernandez, M. K. Matthews, R. de Nys, M. Magnusson, and N. W. Tomkins. 2020. Mitigating the carbon footprint and improving productivity of ruminant livestock agriculture using a red seaweed. *Journal of Cleaner Production* 259: 120836. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120836>

- Kinley R. D., S. Tan, J. Turnbull, S. Askew, and B. M. Roque. 2021. Changing the proportions of grass and grain in feed substrate impacts the efficacy of *Asparagopsis taxiformis* to inhibit methane production *in vitro*. *American Journal of Plant Sciences* 12: 1835–1858. <https://doi.org/10.4236/ajps.2021.1212128>
- Lee J. S., S. Kang, M. J. Kim, S. G. Han, and H. G. Lee. 2020. Dietary supplementation with combined extracts from garlic (*Allium sativum*), brown seaweed (*Undaria pinnatifida*), and pinecone (*Pinus koraiensis*) improves milk production in Holstein cows under heat stress conditions. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 33(1): 111–119. <https://doi.org/10.5713/ajas.19.0536>
- Lee S., K. Youn, D.H. Kim, M.-R. Ahn, E. Yoon, O.-Y. Kim et al. 2019. Anti-neuroinflammatory property of phlorotannins from ecklonia cava on Aβ<sub>25-35</sub>-induced damage in PC12 cells. *Marine Drugs* 17(1): 1–16. <https://doi.org/10.3390/md17010007>
- Li, X., H.C. Norman, R.D. Kinley, M. Laurence, M. Wilmot, H. Bender et al. 2018. *Asparagopsis taxiformis* decreases enteric methane production from sheep. *Animal Production Science* 58(4): 681–688. <https://doi.org/10.1071/AN15883>
- Lind V., M. R. Weisbjerg, G. M. Jørgensen, J. E. Fernandez-yepes, L. Arbes, and E. Molina-Alcaide. 2020. Ruminal fermentation, growth rate and methane production in sheep fed diets including white clover, soybean meal or *Porphyra* sp. *Animals* 10: 1–14. <https://doi.org/10.3390/ani10010079>
- Liu, Y., Y. Ma, Z. Chen, D. Li, W. Liu, L. Huang et al. 2020. Antibacterial activity of sulfated galactans from *Eucheuma serra* and *Gracilaria verrucosa* against diarrheagenic *Escherichia coli* via the disruption of the cell membrane structure. *Marine Drugs* 18(8): 397. <https://doi.org/10.3390/MD18080397>
- Machado L., R. D. Kinley, M. Magnusson, R. de Nys, and N. W. Tomkins. 2015. The potential of macroalgae for beef production systems in Northern Australia. *Journal of Applied Phycology* 27(5): 2001–2005. <https://doi.org/10.1007/s10811-014-0439-7>
- Machado L., M. Magnusson, N. A. Paul, R. Kinley, R. de Nys, and N. Tomkins. 2016a. Dose-response effects of *Asparagopsis taxiformis* and *Oedogonium* sp. on *in vitro* fermentation and methane production. *Journal of Applied Phycology* 28(2): 1443–1452. <https://doi.org/10.1007/s10811-015-0639-9>
- Machado L., M. Magnusson, N. A. Paul, R. Kinley, R. de Nys, and N. Tomkins. 2016b. Identification of bioactives from the red seaweed *Asparagopsis taxiformis* that promote antimethanogenic activity *in vitro*. *Journal of Applied Phycology* 28(5): 3117–3126. <https://doi.org/10.1007/s10811-016-0830-7>
- Machado L., N. Tomkins, M. Magnusson, D. J. Midgley, R. de Nys, and C. P. Rosewarne. 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>
- Maheswari M., A. Das, M. Datta, and A. K. Tyagi. 2021. Supplementation of tropical seaweed-based formulations improves antioxidant status, immunity and milk production in lactating Murrah buffaloes. *Journal of Applied Phycology* 33(4): 2629–2643. <https://doi.org/10.1007/s10811-021-02473-5>
- Maia M. R. G., A. J. M. Fonseca, H. M. Oliveira, C. Mendonça, and A. R. J. Cabrita. 2016. The potential role of seaweeds in the natural manipulation of rumen fermentation and methane production. *Scientific Reports* 6: 1–10. <https://doi.org/10.1038/srep32321>
- Maia M. R. G., A. J. M. Fonseca, P. P. Cortez, and A. R. J. Cabrita. 2019. *In vitro* evaluation of macroalgae as unconventional ingredients in ruminant animal feeds. *Algal Research* 40: 101481. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101481>
- Makkar, H.P.S., G. Tran, V. Heuzé, S. Giger-Reverdin, M. Lessire, F. Lebas et al. 2016. Seaweeds for livestock diets: A review. *Animal Feed Science and Technology* 212: 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.09.018>
- Michalak, I., R. Tiwari, M. Dhawan, M. Alagawany, M. Farag, K. Sharun et al. 2022. Antioxidant effects of seaweeds and their active compounds on animal health and production—a review. *Veterinary Quarterly* 42(1): 48–67. <https://doi.org/10.1080/01652176.2022.2061744>
- Michalak M., K. Wojnarowski, P. Cholewińska, N. Szeligowska, M. Bawej, and J. Pacoń. 2021. Selected alternative feed additives used to manipulate the rumen microbiome. *Animals* 11(6): 1542. <https://doi.org/10.3390/ani11061542>



- Min, B.R., D. Parker, D. Brauer, H. Waldrip, C. Lockard, K. Hales et al. 2021. The role of seaweed as a potential dietary supplementation for enteric methane mitigation in ruminants: Challenges and opportunities. *Animal Nutrition* 7(4): 1371–1387. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.10.003>
- Molina-Alcaide E., M. D. Carro, M. Y. Roleda, M. R. Weisbjerg, V. Lind, and M. Novoa-Garrido. 2017. *In vitro* ruminal fermentation and methane production of different seaweed species. *Animal Feed Science and Technology* 228: 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2017.03.012>
- Muizelaar W., M. Groot, G. van Duinkerken, R. Peters, and J. Dijkstra. 2021. Safety and transfer study: Transfer of bromoform present in *Asparagopsis taxiformis* to milk and urine of lactating dairy cows. *Foods* 10: 584. <https://doi.org/10.3390/foods10030584>
- Munde, V.K., A. Das, P. Singh, A.K. Verma, N. Muwel, A. Mishra et al. 2021. Influence of *Kappaphycus Alvarezii* and *Gracilaria Salicornia* supplementation on *in vitro* fermentation pattern, total gas and methane production of mixed substrates. *Research Square* 1–19.
- Newton, E.E., A.H. Pétursdóttir, G. Ríkharrðsson, C. Beaumont, N. Desnica, K. Giannakopoulou et al. 2021. Effect of dietary seaweed supplementation in cows on milk macrominerals, trace elements and heavy metal concentrations. *Foods* 10(7): 1526. <https://doi.org/10.3390/foods10071526>
- Núñez-Sánchez, Avilés Ramírez, Peña Blanco, Gómez-Cortés, de la Fuente, Vioque Amor et al., 2021. Effects of algae meal supplementation in feedlot lambs with competent reticular groove reflex on growth performance, carcass traits and meat characteristics. *Foods* 10(4): 857. <https://doi.org/10.3390/foods10040857>
- Özkan Gülzari S., V. Lind, I. M. Aasen, and H. Steinshamn. 2019. Effect of supplementing sheep diets with macroalgae species on *in vivo* nutrient digestibility, rumen fermentation and blood amino acid profile. *Animal* 13(12): 2792–2801. <https://doi.org/10.1017/S1751731119001502>
- Park K. Y., Y. H. Jo, J. Ghassemi Nejad, J. C. Lee, and H. G. Lee. 2022. Evaluation of nutritional value of *Ulva sp.* and *Sargassum horneri* as potential eco-friendly ruminants feed. *Algal Research* 65: 102706. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102706>
- Pérez-Larrán P., E. M. Balboa, M. D. Torres, and H. Domínguez. 2018. Antioxidant and antitumoral properties of aqueous fractions from frozen *Sargassum muticum*. *Waste and Biomass Valorization* 11(4): 1261–1269. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0456-x>
- Pradhan, B., R. Nayak, P.P. Bhuyan, S. Patra, C. Behera, S. Sahoo et al. 2022. Algal phlorotannins as novel antibacterial agents with reference to the antioxidant modulation: Current advances and future directions. *Marine Drugs* 20: 403. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9228090/>
- Regal A. L., V. Alves, R. Gomes, J. Matos, N.M. Bandarra, C. Afonso, and C. Cardoso. 2020. Drying process, storage conditions, and time alter the biochemical composition and bioactivity of the anti-greenhouse seaweed *Asparagopsis taxiformis*. *European Food Research and Technology* 246(4), 781–793. <https://doi.org/10.1007/s00217-020-03445-8>
- Rekliene J. 2018. Sargassum – A resource of necessity. *Shanlax International Journal of Arts, Science and Humanities* 5(4): 163–171.
- Rjiba-Ktita S., A. Chermiti, R. Bodas, J. France, and S. López. 2017. Aquatic plants and macroalgae as potential feed ingredients in ruminant diets. *Journal of Applied Phycology* 29(1): 449–458. <https://doi.org/10.1007/s10811-016-0936-y>
- Rjiba-Ktita S., A. Chermiti, C. Valdés, and S. López. 2019. Digestibility, nitrogen balance and weight gain in sheep fed with diets supplemented with different seaweeds. *Journal of Applied Phycology* 31(5): 3255–3263. <https://doi.org/10.1007/s10811-019-01789-7>
- Rodríguez-Martínez, Medina-Valmaseda, Blanchon, Monroy-Velázquez, Almazán-Becerril, Delgado-Pech et al. 2019. Faunal mortality associated with massive beaching and decomposition of pelagic Sargassum. *Marine Pollution Bulletin* 146: 201–205. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.015>
- Rodríguez-Martínez R. E., E. G. Torres-Conde, and E. Jordán-Dahlgren. 2023. Pelagic Sargassum cleanup cost in Mexico. *Ocean and Coastal Management* 237: 106542. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106542>
- Rodríguez-Martínez R. E., B. Van Tussenbroek, and E. Jordán-Dahlgren. 2016. The massive influx of pelagic Sargassum to the Caribbean coast of Mexico (2014-2015). *Harmful Algal Blooms in Mexico*; García-Mendoza, E., S.I. Quijano-Scheggia, A. Olivos-Ortiz, E.J. Núñez-Vázquez, Eds: 352-365.

- Roque, Brooke, Ladau, Polley, Marsh, Najafi et al. 2019. Effect of the macroalgae *Asparagopsis taxiformis* on methane production and rumen microbiome assemblage. *Animal Microbiome* 1: 1–14. <https://doi.org/10.1186/s42523-019-0004-4>
- Roque B. M., J. K. Salwen, R. Kinley, and E. Kebreab. 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, Venegas, Kinley, De Nys, Duarte, Yang et al. 2021. Red seaweed (*Asparagopsis taxiformis*) supplementation reduces enteric methane by over 80 percent in beef steers. *PLoS ONE* 16(3): e0247820. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247820>
- Roskam E., S. F. Kirwan, D. A. Kenny, C. O. Donnell, V. O. Flaherty, and M. Hayes. 2022. Effect of brown and green seaweeds on diet digestibility, ruminal fermentation patterns and enteric methane emissions using the rumen simulation technique. *Frontiers in Animal Science* 3: 1–13. <https://doi.org/10.3389/fanim.2022.1021631>
- Saldarriaga-Hernandez S., E. M. Melchor-Martínez, D. Carrillo-Nieves, R. Parra-Saldívar, and M. N. Iqbal. (2021). Seasonal characterization and quantification of biomolecules from sargassum collected from Mexican Caribbean coast – A preliminary study as a step forward to blue economy. *Journal of Environmental Management* 298: 113507. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113507>
- Sathya R., N. Kanaga, P. Sankar, and S. Jeeva. 2017. Antioxidant properties of phlorotannins from brown seaweed *Cystoseira trinodis* (Forsskål) C. Agardh. *Arabian Journal of Chemistry* 10: S2608–S2614. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.09.039>
- Sellimi S., A. Benslimam, V. Barragan-Montero, M. Hajji, and M. Nasri. 2017. Polyphenolic-protein-polysaccharide ternary conjugates from *Cystoseira barbata* Tunisian seaweed as potential biopreservatives: Chemical, antioxidant and antimicrobial properties. *International Journal of Biological Macromolecules* 105: 1375–1383. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.08.007>
- Sharma A., and C. Datt. 2020. Supplementation effect of red seaweed powder on dry matter intake, body weight and feed conversion efficiency in crossbred cows. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 8(2): 1056–1059.
- Shrestha S., W. Zhang, and S. D. Smid. 2021. Phlorotannins: A review on biosynthesis, chemistry and bioactivity. *Food Bioscience* 39: 100832. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100832>
- Singh, B. K., R. C. Chopra, S. N. Rai, M. P. Verma, and R. K. Mohanta. 2015. Nutritional Evaluation of Seaweed on Nutrient Digestibility, Nitrogen Balance, Milk Production and Composition in Sahiwal Cows. *Proceedings of the National Academy of Sciences India Section B - Biological Sciences* 87: 437–443. <https://doi.org/10.1007/s40011-015-0616-8>
- Tayyab, U., M. Novoa-Garrido, M. Y. Roleda, V. Lind, and M. R. Weisbjerg. 2016. Ruminal and intestinal protein degradability of various seaweed species measured in situ in dairy cows. *Animal Feed Science and Technology* 213: 44–54. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.01.003>
- Tsiplakou, Abdullah, Mavrommatis, Chatzikonstantinou, Skliros, Sotirakoglou et al., 2018. The effect of dietary *Chlorella vulgaris* inclusion on goat's milk chemical composition, fatty acids profile and enzymes activities related to oxidation. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 102(1): 142–151. <https://doi.org/10.1111/jpn.12671>
- Vijay K., S. Balasundari, R. Jeyashakila, P. Velayathum, and K. Masilan. 2017. Proximate and mineral composition of brown seaweed from Gulf of Mannar. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies* 5(5): 106–112. <http://www.fisheriesjournal.com/archives/2017/vol5issue5/PartB/5-4-88-968.pdf>
- Wang Y., T. W. Alexander, and T. A. McAllister. 2009. *In vitro* effects of phlorotannins from *Ascophyllum nodosum* (brown seaweed) on rumen bacterial populations and fermentation. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89(13): 2252–2260. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3717>
- Widiawati, Y., and D. Hikmawan. 2021. Enteric methane mitigation by using seaweed *Euclima cottonii*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 788: 012152. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/788/1/012152>
- Zhou, M., M. Hünerberg, Y. Chen, T. Reuter, T. A. McAllister, and F. Evans. 2018. Air-dried brown seaweed, *Ascophyllum nodosum*, alters the rumen microbiome in a manner that changes rumen fermentation profiles and lowers the prevalence of foodborne pathogens. *MSphere* 3(1): 1-18 <https://doi.org/10.1128/msphere.00017-18>