

UNIVERSIDAD DE MAGALLANES
FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS Y RECURSOS NATURALES



EVALUACIÓN DE LA INCORPORACIÓN DE MACROALGAS SUBANTÁRTICAS COMO
SUPLEMENTO ALIMENTARIO Y REDUCCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE METANO EN
RUMIANTES

Tesis, Carrera de Biología Marina

Por: Ashley Constanza Ulloa Puch

Director: Pablo Gallardo Ojeda

2025

EVALUACIÓN DE LA INCORPORACION DE MACROALGAS SUBANTARTICAS COMO
SUPLEMENTO ALIMENTARIO Y REDUCCION DE LA PRODUCCION DE METANO EN
RUMIANTES

Por: Ashley Constanza Ulloa Puch

Sr. Gustavo Poblete
Decano Facultad de Ciencias

Dr. Nelso Navarro
Director Departamento de Ciencias y Recursos Naturales

Dra. Valeria Latorre
Jefe de Carrera

Comisión Evaluadora:

Dr. Pablo Gallardo Ojeda
Director del Proyecto de Tesis

Ing. Raúl Lira Fernández
Codirector de Tesis

Dra. Johanna Marambio Gallardo
Evaluadora

Dr. Andrés Mansilla Muñoz
Evaluador

**Tesis entregada como requerimiento para obtener el Título de Biólogo Marino
en la Universidad de Magallanes**

Punta Arenas, Chile

Mayo, 2025

UNIVERSIDAD DE MAGALLANES
FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS Y RECURSOS NATURALES

Evaluación de la incorporación de macroalgas subantárticas como suplemento alimentario y reducción de la producción de metano en rumiantes

Tesis entregada como requerimiento para obtener el Título de Biólogo Marino
en la Universidad de Magallanes

Ashley Constanza Ulloa Puch

Punta Arenas, Chile
Mayo, 2025

A mi familia, cuyo amor incondicional y apoyo inquebrantable fueron el faro en este camino. A la Patagonia, su inmensidad y sus desafíos, fuente constante de inspiración para buscar un futuro más sostenible.



Ovejas en la Patagonia Chilena.

AGRADECIMIENTOS

La culminación de esta tesis representa no solo la materialización de un arduo trabajo de investigación, sino también la de una etapa significativa en mi formación académica y personal. Este logro no habría sido posible sin el invaluable apoyo y la colaboración de diversas personas e instituciones, a quienes deseo expresar mi más sincero agradecimiento.

En primer lugar, extendiendo mi profunda gratitud a mi Profesor Guía, Dr. Pablo Gallardo, cuya dirección experta, paciencia inagotable y sabiduría fueron pilares fundamentales a lo largo de todo este proceso. Sus conocimientos, su rigor científico y su constante motivación no solo enriquecieron mi perspectiva académica, sino que también me impulsaron a superar cada desafío con determinación.

A los miembros de la Comisión Examinadora, por su tiempo, sus valiosas observaciones y sus constructivas críticas, las cuales contribuyeron significativamente a la mejora y robustez de este documento.

A la Universidad de Magallanes, por haberme brindado la oportunidad de cursar este programa y por disponer de los recursos e infraestructura necesarios para llevar a cabo esta investigación. Agradezco especialmente al Departamento de Ciencias Agropecuarias y Acuícolas, y al Departamento de Ciencias, en especial a su directora, Bibiana Jara, quien me escuchó y apoyó más allá de lo que se le permitía.

Mi sincero agradecimiento se extiende al Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) y al Profesor Raúl Lira por su invaluable apoyo en la investigación y el generoso conocimiento compartido que fue crucial para el desarrollo de este trabajo.

Asimismo, agradezco profundamente a todo el Instituto de Zootecnia de la UNESP en São Paulo. Su cálida acogida y la vasta entrega de conocimiento durante mi estadía enriquecieron enormemente mi formación y la calidad de esta tesis.

De manera muy especial, dedico esta tesis a mi madre, Jeannette. Su amor incondicional, su inquebrantable fe en mis capacidades y, sobre todo, su inmensurable apoyo al cuidar a mis dos hijas, me permitieron dedicarme plenamente a este desafío académico. A mis queridas hijas, Cataleya e Isabella, gracias por su paciencia, su comprensión y cada abrazo que me dio fuerza para continuar. Son mi mayor inspiración y la razón de mi esfuerzo.

Finalmente, a mis amigos, quienes fueron un pilar esencial. Me colaboraron en el cuidado de mis hijas, me acompañaron en la investigación brindándome su apoyo en las tareas que esta incluía, y me ofrecieron su invaluable apoyo a la distancia. Su compañía en los momentos de desahogo, especialmente al regresar de estadías lejos, fue un bálsamo necesario.

A todos y cada uno de ustedes, mi gratitud es inmensa y sincera.

RESUMEN

El metano entérico (CH_4) producido por rumiantes representa una fuente significativa de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel global. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el potencial de las macroalgas subantárticas como estrategia de mitigación dietaria en ovinos, mediante un enfoque complementario in vitro e in vivo. La fase in vitro evaluó el potencial antimetanogénico de cuatro especies nativas de macroalgas —*Macrocystis pyrifera*, *Lessonia flavicans*, *Sarcopeltis skottsbergii* y *Ulva lactuca*— mediante la medición de la producción de metano y la degradabilidad de la materia seca bajo condiciones simuladas de fermentación ruminal. La fase in vivo analizó el efecto de tres dietas sobre la digestibilidad de la materia seca y el consumo de alimento (DMI % del peso vivo) en ovinos: (1) una dieta control compuesta exclusivamente por heno de alfalfa, (2) Dieta 1, pellets formulados con un 5% de inclusión de *M. pyrifera* y *S. skottsbergii*, y (3) Dieta 2, pellets idénticos a la Dieta 1 pero sin inclusión de algas. En los ensayos in vitro, todas las macroalgas redujeron significativamente la producción de metano respecto al control, destacando *M. pyrifera* y *L. flavicans* con reducciones superiores al 98%. Estas reducciones podrían atribuirse a compuestos bioactivos como florotaninos y polisacáridos sulfatados que interfieren con las vías de metanogénesis. En los ensayos in vivo, la Dieta 1 mostró la mayor digestibilidad de la materia seca (71,34%), superando significativamente a la dieta control (65,81%) y a la Dieta 2 (70,94%). En contraste, la Dieta 2 presentó el mayor consumo de alimento (4,14% PV), lo que sugiere una mayor palatabilidad, aunque con digestibilidad ligeramente inferior. Estos resultados respaldan el uso de macroalgas subantárticas como aditivos funcionales para reducir emisiones de metano y mejorar la eficiencia alimentaria en la producción ovina.

Palabras clave: Ovinos, Digestibilidad, Fermentación ruminal, Ganadería, Sostenibilidad, Patagonia, Compuestos bioactivos, Emisiones.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	6
Problemática	6
Marco Teórico	7
Fisiología Digestiva de Rumiantes y Producción de Metano Entérico.....	7
Características Geoclimáticas y Ganaderas de la Región de Magallanes	8
Biodiversidad y Potencial de las Macroalgas Marinas Subantárticas.....	8
La Digestibilidad en Rumiantes: Concepto Clave para la Evaluación de Suplementos	9
HIPÓTESIS	11
OBJETIVOS	12
Objetivo General 1	12
Objetivo específico 1.1	12
Objetivo específico 1.2	12
MATERIALES Y MÉTODOS	13
Fermentación de metano in vitro	13
Toma de muestras	13
Incubación in vitro	13
Determinación de la degradabilidad de la materia seca (DMD96)	14
Análisis de la Composición Química.....	15
Evaluación de la Digestibilidad <i>In Vivo</i> en Ovinos.....	16
Preparación de las Dietas Experimentales.....	16
Selección de animales y Diseño Experimental	18
Período de Adaptación	20

Período de Muestreo	21
Secado de Muestras	23
Análisis de los datos de digestion	23
RESULTADOS	24
Fermentacion <i>in vitro</i>	24
Disgestibilidad mediante recoleccion total de heces en ovinos <i>in vivo</i>	26
DISCUSIÓN	28
CONCLUSIÓN	33
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
ANEXOS.....	39

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1. Esquema de metodología <i>in vitro</i> para medición de metano	14
Figura 2. Secado de algas <i>M. pyrifera</i> y <i>S. Skottsbergii</i> . Molienda de los ingredientes para pellets	16
Figura 3. Sector “cabañas” utilizadas para el experimento en INIA Kampenaíke.	18
Figura 4. Pesaje de los carneros realizado al inicio y final del muestreo.....	19
Figura 5. Distribucion de las dietas según las jaulas	19
Figura 6. Jaulas metabólicas	20
Figura 7. Fardos de heno de alfalfa utilizados para la alimentación diaria. Caja utilizada para la alimentación con pellets	21
Figura 8. Conos con separadores de heces instalados en las jaulas metabólicas y balde de recolección	22
Figura 9. Porcentaje de digestibilidad para los grupos Control, Dieta 1 y Dieta 2.....	26
Tabla 1. Composición porcentual de los ingredientes utilizados en las dietas experimentales	17
Tabla 2. Producción de metano y digestibilidad <i>in vitro</i> de macroalgas subantárticas vs. heno de alfalfa	25
Tabla 3. Composición química de diferentes macroalgas con uso potencial en dietas para rumiantes	25
Tabla 4. Promedio, desviación estándar y resultados del test de Tukey para DMI %P.V. en los grupos Control, Dieta 1 y Dieta 2	27