

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



**ESTRUCTURA Y ORGANIZACIÓN FUNCIONAL DE LA MACROFAUNA BENTÓNICA
EN FIORDOS ADYACENTES A LA COSTA EXPUESTA EN LA PATAGONIA CENTRAL,
CHILE.**

Tesis, Carrera de Biología Marina

Por: Taryn Ivonne Sepúlveda Cifuentes

Directora: Dra. Claudia Andrade Díaz

Codirector: Dr. Christopher Harrod

2022

**ESTRUCTURA Y ORGANIZACIÓN FUNCIONAL DE LA MACROFAUNA BENTÓNICA
EN FIORDOS ADYACENTES A LA COSTA EXPUESTA EN LA PATAGONIA CENTRAL,
CHILE.**

Por: Taryn Ivonne Sepúlveda Cifuentes

M. Sc. Víctor Díaz Huentelican
Decano Facultad de Ciencias

Dra. Bibiana Jara Vergara
Director Departamento de Ciencias y Recursos Naturales

Dr. Cristian Aldea Venegas
Jefe de Carrera

Comisión Evaluadora:

Dra. Claudia Andrade Díaz
Directora de Tesis

Dr. Christopher Harrod
Codirector de Tesis

Dr. Carlos Ríos Cardoza
Evaluador

Dr. Germán Zapata-Hernández
Evaluador

**Tesis entregada como requerimiento para obtener el Título de Bióloga Marina
en la Universidad de Magallanes**

Punta Arenas, Chile

Noviembre, 2022

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

**Estructura y organización funcional de la macrofauna bentónica en fiordos
adyacentes a la costa expuesta en la Patagonia Central, Chile.**

Tesis entregada como requerimiento para obtener el Título de Bióloga Marina
en la Universidad de Magallanes

Taryn Ivonne Sepúlveda Cifuentes

Punta Arenas, Chile
Noviembre, 2022

"The waves of the sea help me get back to me."

"Las olas del mar me ayudan a volver a mí." – Jill Davis



Amanecer en cercanías del Archipiélago de la Campana, Reserva Nacional Katalalixar.
Fotografía de propia autoría tomada a bordo del velero *"Statsraad Lehmkuhl"*.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, quienes me apoyaron incondicionalmente en cada decisión que he tomado, me aconsejaron cuando no encontraba ánimos, aguantaron los días enteros de silencio cuando me encerré con frialdad en mí misma durante este proceso, pero, sobre todo, les agradeceré eternamente por su esfuerzo, por ponerme siempre primero, lo han sido todo y más. A mis amigos Alex, Barbara y Andrés, con quienes compartí estos años de formación, les agradezco su apoyo incondicional, por siempre estar cuando lo necesité, por el trabajo en equipo, y por todos los recuerdos que hemos creado.

A mi profesora guía, Dra. Claudia Andrade, en quien hallé una enriquecedora relación desde lo personal y lo profesional, no tengo palabras para expresar mi gratitud por siempre haber reconocido mis capacidades, por impulsarme a salir de mi zona de confort y darme innumerables oportunidades para trabajar en conjunto y mejorar como futura profesional. Le agradezco por confiar en mí, por guiarme pacientemente cuando divagaba buscando respuestas para este estudio, por los momentos de alegría, pero también los de trabajo bajo presión, sin duda siento un cariño y admiración muy grande. Agradezco también al Dr. Chris Harrod, por haber asumido con entusiasmo el rol de codirector de mi tesis, por entregarme siempre una diferente perspectiva para mejorar mi investigación, y por supuesto, por su infaltable simpatía.

A OCEANA-Chile, por haber hecho posibles los muestreos que conllevaron a la realización de este estudio. También a la Red NEXER-UMAG: Carbon dynamics in the Anthropocene, por financiar los análisis de isótopos estables en la U. de Antofagasta.

Finalmente, quiero agradecer a quienes ya no están. Al Dr. Eduardo Quiroga, quien me apoyó como codirector durante la elaboración de mi proyecto de tesis, a quien siempre admiraré por su experiencia y pasión por la investigación de los fiordos y canales, sin duda me faltaron innumerables cosas que aprender de él. A mi abuelita, Juanita, cuyo último deseo sé que era ver a su nieta menor titulada, espero que desde donde estés puedas verlo junto a mi tata Pedro. Este trabajo va dedicado a todos y todas ustedes.

RESUMEN

La Reserva Nacional Katalalixar (RNK), en la Patagonia Central, es una gran reserva natural (> 6000 km²) situada en una zona poco explorada del país. Alberga importantes niveles de biodiversidad marina y está en riesgo por la expansión de la salmonicultura. En este estudio, se proporcionan datos preliminares que evidencian cómo se organizan y sustentan las comunidades marinas bentónicas, con el objetivo de hacer predicciones sobre su resiliencia frente a disturbios ambientales. A través del análisis de isótopos estables de C, N y S, se estimó la importancia relativa de las diferentes fuentes putativas de alimento para los distintos grupos tróficos bentónicos durante la estación invernal, y se comparó sus nichos isotópicos a nivel de comunidades con los datos existentes de otros fiordos y canales de la Patagonia chilena. La aplicación de modelos de mezcla bayesianos reveló que la trama trófica bentónica está representada por tres niveles tróficos y sustentada principalmente por materia orgánica autóctona derivada de las especies de macroalgas *Ulva lactuca* y *Macrocystis pyrifera*, indicando una vía de asimilación de origen bentónico. La materia orgánica sedimentaria se destacó como fuente secundaria, mientras que la materia orgánica alóctona (origen terrígeno) y autóctona (origen pelágico) proporcionaron subsidios tróficos para algunos grupos (suspensívoros y detritívoros). Las comparaciones de nichos isotópicos indicaron que los consumidores primarios mostraron un comportamiento alimentario oportunista, con un uso eficiente de los recursos durante un periodo de baja productividad pelágica, mientras que, en el nivel trófico más alto, los organismos se especializaron en el uso de los recursos, posiblemente para limitar las interacciones competitivas. La comunidad RNK mostró una mayor diversidad trófica y una menor redundancia trófica en comparación con otras comunidades dominadas por la omnivoría. Estos resultados sugieren que la comunidad bentónica de la RNK es probablemente sensible a las posibles perturbaciones ambientales y a la pérdida de biodiversidad.

Palabras clave: ecología trófica, isótopos estables, grupos tróficos, invierno, recursos alimenticios, nicho isotópico, posición trófica, comunidades bentónicas, Katalalixar.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Marco Teórico	11
1.1.1. Aspectos generales sobre los sistemas de fiordos y canales Patagónicos....	11
1.1.2. Factores que influyen la biodiversidad marina en los fiordos y canales Patagónicos.....	13
1.1.3. La estructura trófica y el uso de trazadores bioquímicos.....	16
1.1.4. Estado del arte: Ecología trófica en la Patagonia chilena	23
1.2. Problemática	25
2. HIPÓTESIS	27
3. OBJETIVOS	28
3.1. Objetivo General	28
3.2. Objetivos Específicos	28
4. MATERIALES Y MÉTODOS	29
4.1. Área de estudio	29
4.1.1. Revisión de literatura: Caracterización ambiental de la Patagonia Central	29
4.1.2. Procedencia de muestras	32
4.1.3. La Reserva Nacional Katalalixar	33
4.2. Análisis de isótopos estables	35
4.3. Análisis de la información isotópica	37
4.4. Estimación de la posición trófica	40
5. RESULTADOS	41
5.1. Composición isotópica de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{34}\text{S}$ para las fuentes basales	41

5.1.1. Carbono	41
5.1.2. Nitrógeno	42
5.1.3. Azufre	43
5.2. Composición isotópica de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{34}\text{S}$ para los consumidores	44
5.2.1. Carbono	44
5.2.2. Nitrógeno	45
5.2.3. Azufre	46
5.3. Composición isotópica de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{34}\text{S}$ para los grupos tróficos	48
5.4. Posición trófica de los consumidores	51
5.5. Estructura trófica y contribuciones de las fuentes basales a la comunidad	52
5.5.1. Modelo ^{13}C y ^{15}N	53
5.5.2. Modelo ^{13}C y ^{34}S	54
5.5.3. Contribuciones relativas	55
5.6. Nicho isotópico y solapamiento del nicho entre grupos tróficos	59
5.7. Comparación con comunidades de la Patagonia Central y Estrecho de Magallanes: Métricas de estructura trófica y Layman	61
6. DISCUSIÓN	66
6.1. Composición isotópica de las fuentes basales en relación al ambiente de la RNK	66
6.2. Ecología trófica de los grupos de consumidores en función de su composición isotópica (H_1)	72
6.2.1. Suspensívoros	73
6.2.2. Ramoneadores	75
6.2.3. Depositívoros (<i>Munida gregaria</i>)	77

6.2.4. Depredadores	79
6.3. Inferencias sobre la estructura trófica en base a la estimación de índices isotópicos (H₂)	81
6.3.1. Posiciones tróficas	82
6.3.2. Nichos isotópicos y porcentaje de solapamiento	87
6.4. Variación de nichos isotópicos de los grupos tróficos entre distintas localidades	91
6.4.1. Suspensívoros.....	91
6.4.2. Ramoneadores.....	91
6.4.3. Depositívoros	93
6.4.4. Depredadores	93
6.5. Variación de métricas de comunidad entre localidades	95
6.5.1. Rangos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$	95
6.5.2. Diversidad trófica y redundancia trófica	97
7. CONCLUSIONES	100
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102
9. ANEXOS.....	133

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1. Distribución de los fiordos en Chile. Tomada de Försterra <i>et al.</i> (2017).	12
Figura 2. Representación gráfica del nicho trófico, donde cada eje representa las dimensiones relacionadas a los recursos y al hábitat. Tomada y modificada de Michel (2014).	16
Figura 3. Representación gráfica de la cantidad de energía que es traspasada a través de los niveles tróficos. Tomada y modificada de National Geographic Society (2022).	18
Figura 4. Representación gráfica del uso de isótopos estables de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en ecosistemas acuáticos. Tomada y modificada de Lteif (2015).	22
Figura 5. Distribución de las masas de agua en la Patagonia Central. Tomada de Sievers & Silva (2006).	30
Figura 6. Mapeo de las precipitaciones medias anuales en Chile (mm año^{-1}). Tomada de Torres <i>et al.</i> (2014).	30
Figura 7. Distribución del porcentaje de materia orgánica total, carbono total y carbono orgánico en la Patagonia Central. Tomada de Silva (2008).	32
Figura 8. Mapa de ubicación del área de estudio y sus respectivas estaciones (cuadros amarillos) en la Reserva Nacional Katalalixar. Tomado de Andrade para OCEANA-Chile, 2018 (datos no publicados).	33
Figura 9. Ubicación de la Reserva Nacional Katalalixar. Tomada de Sapag <i>et al.</i> (2017).	34
Tabla 1. Detalle de las seis métricas propuestas por Layman y su definición. Elaborada a partir de Layman <i>et al.</i> (2007).	39

Figura 10. Histograma de frecuencias y gráfico de tipo “raincloud” donde se presenta la distribución de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ para las fuentes basales. Los diagramas de caja muestran la tendencia central de los datos y el error estándar.	41
Figura 11. Histograma de frecuencias y gráfico de tipo “raincloud” donde se presenta la distribución de los valores de $\delta^{15}\text{N}$ para las fuentes basales. Los diagramas de caja muestran la tendencia central de los datos y el error estándar.	42
Figura 12. Histograma de frecuencias gráfico de tipo “raincloud” donde se presenta la distribución de los valores de $\delta^{34}\text{S}$ para las fuentes basales. Los diagramas de caja muestran la tendencia central de los datos y el error estándar.	43
Figura 13. Histograma de frecuencias y gráfico de tipo “raincloud” donde se presenta la distribución de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ para los consumidores. Los diagramas de caja muestran la tendencia central de los datos y el error estándar.	45
Figura 14. Histograma de frecuencias y gráfico de tipo “raincloud” donde se presenta la distribución de los valores de $\delta^{15}\text{N}$ para los consumidores. Los diagramas de caja muestran la tendencia central de los datos y el error estándar.	46
Figura 15. Histograma de frecuencias y gráfico de tipo “raincloud” donde se presenta la distribución de los valores de $\delta^{34}\text{S}$ para los consumidores. Los diagramas de caja muestran la tendencia central de los datos y el error estándar.	47

Tabla 2. Resumen estadístico (promedio ± desviación estándar) para los isótopos de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{34}\text{S}$, concentración elemental (%C, %N, %S), número de muestras, posición trófica (PT) y grupo trófico según taxa. 50

Figura 16. Valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ de los invertebrados y peces muestreados en la RNK. Se muestra la línea de base de la fuente basal *Ulva lactuca* a partir de su promedio de $\delta^{15}\text{N}$, y la posición de los niveles tróficos 2 y 3, asumiendo un factor de enriquecimiento de +3.4‰ por nivel trófico. Las áreas enrojecidas indican la desviación estándar ($\pm 1\%$) de acuerdo a Post (2002). 51

Figura 17. Ajuste de las observaciones a partir de los valores isotópicos (y), a los intervalos delimitados por los valores ajustados (y_{rep}) del modelo simmr. 52

Figura 18. Distribución de proporciones de isótopos estables de carbono y nitrógeno (media ± desviación estándar) de las fuentes basales y grupos tróficos. 53

Figura 19. Distribución de proporciones de isótopos estables de carbono y azufre de las fuentes basales (media ± desviación estándar) y grupos tróficos. 54

Figura 20. Contribución relativa de las fuentes basales a la dieta del grupo trófico de los suspensívoros, de acuerdo al modelo simmr. Los diagramas de caja representan intervalos de confianza del 95% de cada fuente basal asimilada en la dieta de cada grupo trófico. La caja se construye alrededor de los cuartiles 25 y 75, y su línea central indica la mediana de todas las soluciones. 55

Figura 21. Contribución relativa de las fuentes basales a la dieta del grupo trófico de los ramoneadores, de acuerdo al modelo simmr. Los diagramas de caja representan intervalos de confianza del 95% de cada fuente basal asimilada en la dieta de cada grupo trófico. La caja se construye alrededor de los cuartiles 25 y 75, y su línea central indica la mediana de todas las soluciones. 56

Figura 22. Contribución relativa de las fuentes basales a la dieta del grupo trófico de los depositívoros, de acuerdo al modelo simmr. Los diagramas de caja representan intervalos de confianza del 95% de cada fuente basal asimilada en la dieta de cada grupo trófico. La caja se construye alrededor de los cuartiles 25 y 75, y su línea central indica la mediana de todas las soluciones. 57

Figura 23. Contribución relativa de las fuentes basales a la dieta del grupo trófico de los depredadores, de acuerdo al modelo simmr. Los diagramas de caja representan intervalos de confianza del 95% de cada fuente basal asimilada en la dieta de cada grupo trófico. La caja se construye alrededor de los cuartiles 25 y 75, y su línea central indica la mediana de todas las soluciones. 58

Figura 24. Amplitud de nicho isotópico de los grupos tróficos evaluados en la RNK. Las líneas sólidas encierran el área de elipse estándar (SEAc), que representa el nicho isotópico de los consumidores. Las líneas punteadas (polígono/TA) representan la amplitud total del nicho de cada grupo trófico. 59

Tabla 3. Resumen de las métricas de estructura trófica para cada grupo de consumidores, así como el porcentaje de solapamiento entre estos. 60

Figura 25. Comparación de la amplitud de nicho isotópico de cada grupo trófico entre la RNK (este estudio), Bahía Laredo (BL) en el Estrecho de Magallanes (Andrade *et al.*, 2016) y el sistema de fiordos Martínez-Baker (FMB; Cari *et al.*, 2020). 62

Tabla 4. Comparación de las métricas de Layman para cada una de las comunidades comparadas en el análisis. En rojo/subrayados se indican los menores y en rojo/**negrita** los mayores valores para cada métrica. 63

Figura 26. nMDS de los datos isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) en función de los grupos tróficos y la localidad a la cual pertenecen. 64

Figura 27. Comparación de los valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de los grupos de consumidores, de acuerdo a la localidad. 64