

# Distribución de las comunidades epibentónicas y caracterización de hábitats en el fiordo Puyuhuapi, Patagonia Norte

PAULA ORTIZ<sup>1</sup> & MADELEINE HAMAMÉ<sup>2</sup>

1. <https://orcid.org/0000-0002-7336-1494>

2. <https://orcid.org/0000-0001-6521-7225>

## OPEN ACCESS

### Recibido:

09/12/2022

### Revisado:

16/12/2022

### Aceptado:

20/12/2022

### Publicado en línea:

30/12/2022

### Editor en Jefe:

Dr. Américo Montiel San Martín

ISSN 0718-686X



## RESUMEN

Las comunidades bentónicas de la Patagonia chilena presentan una alta biodiversidad en respuesta a la variabilidad de las condiciones ambientales, fuentes de alimentos y hábitats. En este estudio se caracterizaron las comunidades epibentónicas asociadas a diferentes características del hábitat bentónico en el fiordo Puyuhuapi. La información se levantó mediante filmaciones realizadas con un robot submarino (ROV) a lo largo del fiordo. Los resultados muestran una comunidad epibentónica con altos valores de riqueza de especies, dominadas por los suspensívoros. Donde las características del hábitat como la profundidad, la inclinación y tipo de sustrato fueron determinantes en la composición y distribución de la epifauna. En este fiordo, los alimentadores en suspensión representan un rasgo clave asociado a importantes funciones ecosistémicas vinculadas a los ciclos del carbono y de los nutrientes. Razón por la cual, la información espaciotemporal y funcional de estas comunidades son una herramienta fundamental para el monitoreo de estos ecosistemas, especialmente en fiordos con alto impacto de actividades antrópicas como la salmonicultura.

**Palabras claves:** Fauna epibentónica, Grupos tróficos, Suspensívoros, Fiordo Puyuhuapi.

# Distribution of epibenthic communities and characterization of habitats in the Puyuhuapi fjord, North Patagonia

## Contribución de los autores:

**P.O:** Conceptualización, Metodología, Análisis formal, Actividad de muestreo, Curación de datos, Redacción principal del texto, Visualización.

**M. H:** Conceptualización, Metodología, Análisis formal, Actividad de muestreo, Redacción del texto.

## Financiamiento:

Esta investigación fue financiada por ANID (Proyecto VCE-80002 y Programa R20F0002).

## Declaración de competencia de intereses:

Las autoras declaran que no tienen intereses financieros en competencia ni relaciones personales que pudieran haber influido en el trabajo presentado en este manuscrito.

## Fuente de financiamiento:

Esta investigación fue financiada por ANID (Proyecto VCE-80002)..

## ABSTRACT

The benthic communities of Chilean Patagonia present a high biodiversity in response to the variability of environmental conditions, food sources and habitats. In this study, the epibenthic communities associated with different characteristics of the benthic habitat in the Puyuhuapi fjord were characterized. The information was registered through underwater videos with a remotely operated vehicle (ROV) along the fjord. The results show an epibenthic community with high values of species richness, dominated by suspension feeders. Where the characteristics of the habitat such as depth, inclination and type of substrate were determining factors in the composition and distribution of the epifauna. In this fjord, suspension feeders represent a key trait associated with important ecosystem functions linked to carbon and nutrient cycles. For this reason, the spatiotemporal and functional information of these communities is a fundamental tool for monitoring these ecosystems, especially in fjords with a high impact of anthropic activities such as salmon farming.

**Keywords:** Epibenthic fauna, Trophic groups, Suspension feeders, Puyuhuapi fjord.

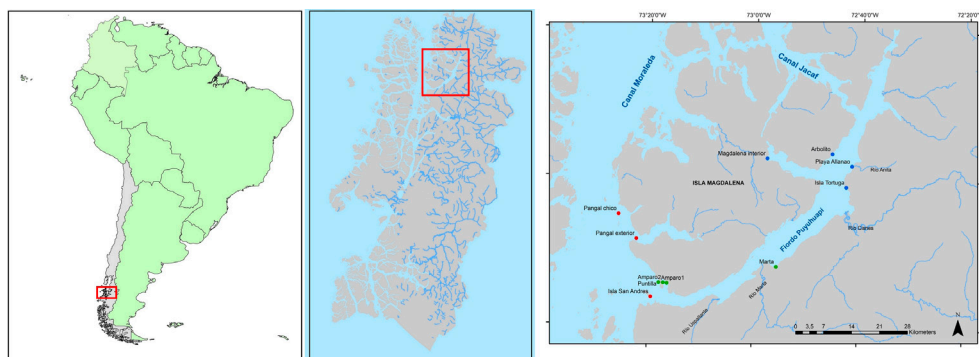
## INTRODUCCIÓN

Los fiordos son zonas estuarinas de gran profundidad que se encuentran en latitudes medias y altas (Howe *et al.* 2010). Su geomorfología, determinada por su origen glacial, permite que el ambiente marino este en estrecho contacto con el terrestre, principalmente a través de la escorrentía de ríos, creando condiciones oceanográficas espacialmente diversas y estacionalmente marcadas. En este contexto, a lo largo de un fiordo, se pueden encontrar diversas condiciones hidrográficas relacionadas con el grado de mezcla entre los aportes de agua dulce y las aguas oceánicas, favoreciendo de esta forma el desarrollo de hábitats que sostienen comunidades con características particulares.

El fiordo Puyuhuapi ( $44^{\circ}19' - 44^{\circ}57'S$ ;  $72^{\circ}34' - 73^{\circ}21'O$ ) a lo largo de su *ca.* 90 km presenta un fondo marino heterogéneo, producto del retroceso glacial y procesos sedimentarios recientes y locales; presentando zonas de alta pendiente que dominan en algunas áreas como proyección de las montañas escarpadas, y fondos no cohesionados como resultado del aporte de material sedimentario principalmente de los ríos (Hervé *et al.* 2009; Betti *et al.* 2017, 2021). A lo largo de su eje principal, una combinación de pendientes, profundidades y tipos de sustratos, sumado a las propiedades geoquímicas del agua crean un mosaico de ambientes que han resultado en una alta biodiversidad bentónica (Betti *et al.* 2017, 2021). Betti *et al.* (2021) estudiaron zonas de alta pendiente (paredes verticales) en el fiordo Puyuhuapi identificando una comunidad epibentónica rica y compleja asociada a una alta diversificación de las condiciones ambientales, concluyendo que estas comunidades bentónicas podrían ser utilizadas como centinelas en el contexto del cambio climático. Se destaca la necesidad de mejorar la caracterización bentónica y del hábitat para monitorear los cambios asociados a los estresores globales y locales.

A lo largo del fiordo Puyuhuapi la principal presión antrópica es la salmonicultura, desde 1980 hasta el 2016 su producción se expandió de manera intensiva a una tasa promedio anual de 34% (Nahuelhual *et al.* 2017). El impacto de esta actividad en la abundancia de la megafauna (*e.g.* gorgonias, anémonas y corales de agua fría) ha sido negativo principalmente debido al enriquecimiento orgánico y aporte de nutrientes (Häusermann *et al.* 2013). La disminución de biodiversidad bentónica producto de la carga orgánica junto al aumento de especies oportunistas y tolerantes a la contaminación ha sido evidenciada en este tipo de ambientes (*e.g.* Brown *et al.* 1987; Gowen & Bradbury, 1987; Weston 1990; Wildish & Pohle, 2005; Keeley *et al.* 2019; Tičina *et al.* 2020; Betti *et al.* 2021). Sin embargo, pocos estudios han evaluado los efectos de la salmonicultura en la estructura o composición trófica, y principalmente han estado enfocados en la evaluación de los efectos sobre fondos blandos (Buschmann *et al.* 2009; Callier *et al.* 2013; Woodcock *et al.* 2018; Sanchis *et al.* 2021). En el fiordo Puyuhuapi, el conocimiento de las comunidades bentónicas es escaso a pesar del aumento de las presiones antrópicas sobre el ecosistema (Betti *et al.* 2017, 2021; Ortiz *et al.* 2021). En este contexto, se hace necesario establecer una línea base ecológica y ambiental que permita identificar cambios en la estructura de estas comunidades. El objetivo de este estudio es describir las comunidades epibentónicas a lo largo de un gradiente en el fiordo Puyuhuapi, mediante la clasificación del ambiente bentónico, así como los principales grupos taxonómicos y funcionales (clasificación trófica).

**Figura 1.** Área de estudio: Se indican las estaciones de muestreo a lo largo del fiordo Puyuhuapi. El color de los círculos representa las diferentes secciones del fiordo; azul: sección media, verde: sección boca y rojo: sección exterior del fiordo.



## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El fiordo Puyuhuapi, se ubica en el sur de Chile (Patagonia Norte), presenta ~90 km de largo, ~7 km de ancho y una profundidad promedio de 250 m (Fig. 1). El área de estudio se dividió en tres secciones; (1) media, (2) boca y (3) exterior del fiordo, basado en un gradiente longitudinal caracterizado por mayores aportes de agua dulce en la zona media y boca del fiordo comparado con la zona exterior la cual tiene mayor influencia oceánica a través del canal Moraleda (Fig. 1).

La caracterización ambiental del área de estudio se basó en la literatura existente para el fiordo Puyuhuapi, enfocado en la caracterización oceanográfica y sedimentológica, la cual se describe en la sección resultados. Es importante destacar que la principal actividad antrópica en el fiordo es la salmonicultura intensiva: de un total de 723 concesiones de acuicultura aprobadas en la región de Aysén (<https://mapas.subpesca.cl/ideviewer/>), 86 concesiones se localizan en el área de estudio.

### Métodos de muestreo

Se realizaron cuatro campañas entre marzo del 2019 y diciembre del 2020. Se seleccionaron un total de 11 estaciones (Fig. 1; Tabla 1) a lo largo del fiordo (secciones: media, boca y exterior), considerando profundidades entre los 0 y 90 metros. El área muestreada abarcó sustratos mixtos y duros. Las comunidades epibentónicas se estudiaron utilizando un vehículo operado remotamente (ROV; modelo MS1-Mariscopo) equipado con una cámara HD/4K montada en un ángulo oblicuo con respecto al fondo marino, con luces delanteras, brújula electrónica y sensor de profundidad. En cada estación se registraron entre 1 a 4 transectos, el tiempo de registro varió entre 4 a 30 minutos por transecto. La orientación del transecto se definió de acuerdo con la inclinación del sustrato (i.e. horizontal, pendiente o vertical). Los videos registrados fueron analizados en gabinete utilizando el software Final Cut Pro.

Para cada estación se generó una matriz de datos de presencia y ausencia de los taxones/especies registrados. La fauna se identificó utilizando literatura especializada (Forcelli, 2000; Häussermann & Försterra, 2009; Reyes & Hüne, 2012; Betti *et al.* 2017). Para algunos taxones,

**Tabla 1.** Resumen de las campañas de muestreo en el fiordo Puyuhuapi, se indican las coordenadas geográficas (WGS84), fecha de muestreo, sección del fiordo, tipo de sustrato, método de muestreo y rango de profundidad para cada estación.

Estación	Latitud (°S)	Longitud (°O)	Fecha	Sección del fiordo	Tipo de sustrato	Método de muestreo/ Rango de profundidad (m)
Pangal Exterior	44°48'29.988"	73°22'13.08"	3/7/2019	Exterior	Duro y mixto	ROV/60-92
Isla San Andres	44°56'17.556"	73°19'21.215"	3/7/2019	Exterior	Duro y mixto	ROV/0-27
Pangal Chico	44°45'11.83"	73°25'41.34"	3/8/2019	Exterior	Duro y mixto	ROV/36-50
Isla Tortuga	44°41'5.03"	72°42'36.56"	1/17/2020	Media	Mixto	ROV/0-8
Playa Allanao	44°38'12.1"	72°41'38.7"	1/17/2020	Media	Blando	ROV/0-40
Arbolito	44°36'35.7"	72°45'24.56"	1/18/2020	Media	Mixto	ROV/4-9
Puntilla	44°54'21.7"	73°17'52.3"	3/8/2020	Boca	Duro	ROV/0-35
Amparo-1	44°54'26.2"	73°16'18.35"	3/10/2020	Boca	Duro y mixto	ROV/0-44
Amparo-2	44°54'51"	73°17'0.75"	3/11/2020	Boca	Duro	ROV/0-15
Río Marta	44°51'54.17"	72°55'55.25"	3/12/2020	Media	Duro y mixto	ROV/4-70
Seno Magdalena Interior	44°37'22.7"	72°57'41.91"	12/12/2020	Media	Mixto	ROV/20-50

la identificación solo fue posible a niveles taxonómicos más altos (*e.g.* porifera, asteroidea). Los grupos funcionales fueron asignados en base al gremio trófico (*i.e.* principal modo de alimentación) de cada taxón/especie; y se dividieron en cuatro modos de alimentación: Suspensivos (SS), Carnívoros (CA), Herbívoros/Pastoreadores (GR) y Depositivos (DD) (Häussermann & Försterra, 2009; Reyes & Hüne, 2012; Betti *et al.* 2017). En cada transecto se registró la fecha, hora, posición geográfica, profundidad e inclinación del sustrato.

### Análisis de datos

Los ensambles de la comunidad epibentónica fueron analizados por estación utilizando métodos univariados y multivariados. Se aplicó un análisis de conglomerado jerárquico para buscar asociaciones entre los taxones/especies y la distribución de las estaciones a lo largo del gradiente estuarino (diferentes secciones del fiordo). Los valores de presencia/ausencia se utilizaron para construir una matriz de similitud entre las estaciones de muestreo mediante el índice de similitud de Sorensen (Clarke, 1993). El análisis de conglomerados se realizó utilizando una estrategia de agrupación tipo grupo promedio y una rutina SIMPROF, con 1000 permutaciones medias y 999 permutaciones de simulación, con un nivel de significancia del 5%. Se utilizó una prueba de análisis de similitud (ANOSIM de una vía) para evaluar las similitudes entre las secciones a lo largo del fiordo (*i.e.* sección media, boca y exterior). El análisis de conglomerados y la prueba ANOSIM se realizaron con el software PRIMER V6.1.6 (Clarke *et al.* 2008).

Las características ambientales consideradas como factores que podrían estar determinando la presencia/ausencia de taxones/especies fueron las siguientes: profundidad, sección del fiordo

(medio=1, boca=2 y exterior=3), inclinación del sustrato (vertical=  $>80^\circ$ , pendiente=  $30^\circ-80^\circ$ , horizontal=  $0^\circ-30^\circ$  y pendiente/horizontal) y el tipo de sustrato (fondo duro, duro/mixto, y blando/mixto). El análisis se realizó a través de un Modelo Lineal Generalizado (GLM) considerando una distribución binomial. Los taxones/especies que se consideraron en este análisis fueron las con mayor presencia ( $\geq 25\%$  de las estaciones). Estos análisis se realizaron en R studio.

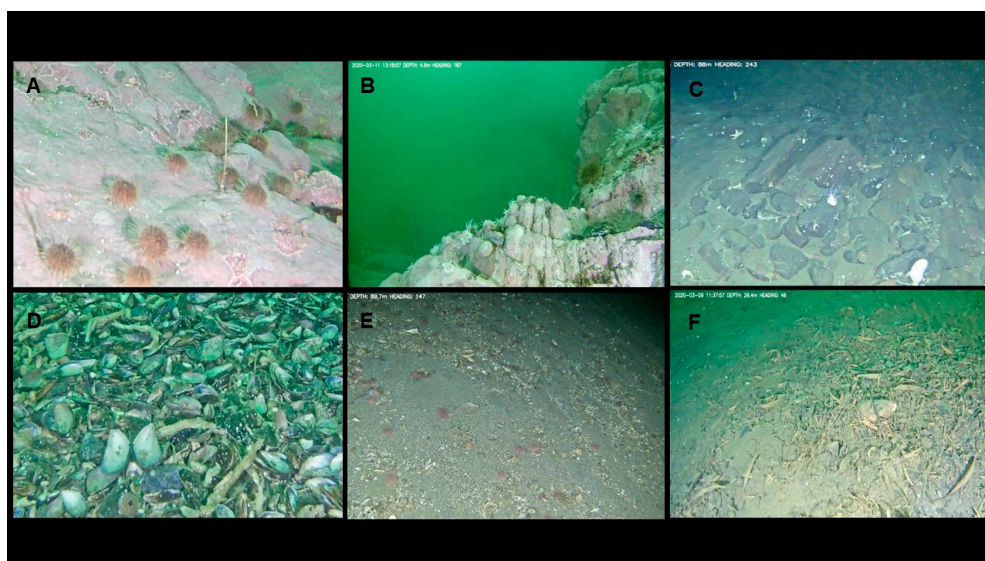
## RESULTADOS

### *Caracterización ambiental*

En el área de estudio la hidrografía se caracteriza por una circulación estuarina con una estructura vertical de dos capas, que comprende una capa superficial (5-10 m) menos salina, más oxigenada y con menores concentraciones de nitrato y ortofosfato, en comparación con la capa sub-picnoclina (Schneider *et al.* 2014; Montero *et al.* 2017; Pérez-Santos *et al.* 2018). La capa superficial recibe aportes de agua dulce y materia orgánica alóctona (*i.e.* origen terrestre) (Sepúlveda *et al.* 2011; Silva *et al.* 2011) principalmente de descargas de ríos y lluvias (sobre los 3000 mm año<sup>-1</sup>; DGA, 2003), siendo el río Cisnes uno de los mayores afluentes de agua dulce en el área de estudio (caudal promedio de 233 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>; Prado-Fiedler & Castro, 2008). El gradiente longitudinal del área de estudio se debe principalmente a las entradas de agua dulce en el fiordo Puyuhuapi y la influencia oceánica a través del canal Moraleda. Desde la boca del Guafo y hasta los 150 m de profundidad, el canal Moraleda presenta la influencia del Agua Subantártica (con salinidades de 32.5-34 psu; 4-6, ml L<sup>-1</sup> de oxígeno disuelto) y a medida que avanza hacia el sur se mezcla con el Agua Estuarina (rango de profundidad entre 0-20 m; salinidad entre 2-25 psu y 6-8 ml L<sup>-1</sup> de oxígeno disuelto) formando una masa de agua de salinidad intermedia ( $\sim 31$  psu; 5-6 ml L<sup>-1</sup> de oxígeno disuelto), que fluye hacia el interior del Canal Moraleda (Sievers & Silva, 2006).

La batimetría del fiordo Puyuhuapi es compleja, con profundidades de fondo variables que pueden llegar a más de 250 m, el fiordo presenta un umbral ( $\sim 170$  m de profundidad) ubicado en la sección boca del fiordo (Schneider *et al.* 2014). Se han detectado condiciones de hipoxia en la columna de agua por debajo de los 100 m de profundidad, donde se han encontrado concentraciones de oxígeno menores a 2 ml L<sup>-1</sup> (Schneider *et al.* 2014; Pérez-Santos *et al.* 2018). La información sobre la morfología submarina y caracterización batimétrica en los fiordos chilenos es escasa, pero se reconoce la acción erosiva de los glaciares, definiendo una zona profunda y central en los fiordos caracterizada por presentar sedimentos finos asociados a procesos de deposición glacial, y una línea de costa que puede presentar diferentes superficies, como acantilados rocosos, afloramientos rocosos y fondos no cohesivos como resultado del aporte de material sedimentario proveniente principalmente de los ríos de la Cordillera de los Andes, y por procesos no marinos como deslizamientos y depósitos de morrenas (Hervé *et al.* 2009).

Los registros con ROV cubrieron 11 estaciones costeras a lo largo del fiordo Puyuhuapi y áreas adyacentes (Fig. 1, Tabla 1) donde se presentaron tres principales tipos de sustratos; 1) fondos duros, 2) mixtos y 3) blandos. El fondo mixto correspondió a una combinación entre fondos duros y blandos. En cada uno de estos sustratos, las diferencias en la inclinación del sustrato, así como la composición del sustrato se evaluaron visualmente (Fig. 2).



**Figura 2.** Tipos de sustratos registrados en el fiordo Puyuhuapi y áreas adyacentes. Fondos Duros; A-B: Terrazas rocosas con presencia de algas coralinas. Fondos No cohesionados; C-F: C. Bolones, D. Cobertura de conchas, E. Arena, F. Detritos orgánicos.

### Comunidades epibentónicas

Basado en las imágenes analizadas (registradas con ROV), se identificaron 108 taxones/especies en las 11 estaciones de muestreo ubicadas a lo largo del fiordo Puyuhuapi y el Canal Moraleda (Tabla 2). Los principales grupos taxonómicos registrados fueron Porifera (25 taxones/especies), Echinodermata (19), Cnidaria (15) y Mollusca (13). En contraste, Briozoa (7), Polychaeta (7), Actinopterygii (7), Crustacea (5), Ascidiacea (3), Rodhophyta (3), Chlorophyta (2), Ochrophyta (1) y Brachiopoda (1) exhibieron una menor riqueza de taxones/especies (Tabla 2). Para las secciones del fiordo, la riqueza de especies de la fauna epibentónica presentó bajos valores ( $\leq 4$  taxones/especies) en las estaciones ubicadas en la sección media del fiordo Puyuhuapi (estaciones Playa Allanao, Isla Tortuga, Arbolito y Seno Magdalena Interior), asociadas a fondos blandos y mixtos con alto contenido de detritos orgánicos, siendo los grupos Crustacea, Echinodermata y Polychaeta los mejor representados. Los valores más altos de riqueza de especies (entre 14 y 38 taxones/especies) se registraron en las estaciones ubicadas en las secciones de la boca y exterior del fiordo Puyuhuapi asociadas principalmente a fondos duros, representados por una mayor diversidad de filos (*i.e.* Porifera, Cnidaria, Mollusca, Echinodermata, Artropoda y Bryozoa) (Fig. 3 y Tabla 2). El filo Porifera presentó una baja definición taxonómica debido al método de observación (imágenes ROV), siendo clasificadas en morfotipos correspondientes a esponjas masivas e incrustantes (Tabla 2).

La composición trófica de la fauna epibentónica se agrupó en (1) Suspensívoros (SS=55 taxones/especies), (2) Carnívoros (CA= 31), (3) Herbívoros (GR= 6) y (4) Depositívoros (DD= 4) (Tabla 2). El grupo trófico suspensívoros (SS) estuvo mejor representado en las estaciones ubicadas en la boca y exterior (50-70%) en comparación con la sección media del fiordo Puyuhuapi (0-71%) (Fig. 4). Los grupos responsables de estas diferencias fueron; esponjas, octocorales, bivalvos, poliquetos, briozoos, holoturoideos y ascidias. El grupo trófico carnívoros (CA) estuvo representado por asteroideas, actinias, gastrópodos, crustáceos y peces; alcanzando altos

Tabla 2. Lista de taxones/especies registradas con ROV para 11 estaciones de muestreo a lo largo del fiordo Puyuhuapi y estaciones exteriores ubicadas en el Canal Moraleda. Grupos tróficos: PP= Productor Primario, SS= Suspensivoro, CA= Carnívoro, GR= Herbívoro y DD= Depositivoro. Morfotipos del filo Porifera: = masiva, \*= incrustante.

Fiordo Puyuhuapi														
N°	Phylum	Taxón/especie	Grupo trófico	Sección Exterior			Sección Media				Sección Boca			
				Pangal Exterior	Isla San Andrés	Pangal Chico	Isla Tortuga	Playa Allanao	Arbolito	Seno Magdalena Interior	Rio Marta	Puntilla	Amparo-1	Amparo-2
1	Rodhophyta	Gracilariaceae	PP				X			X				
2	Rodhophyta	Corallinales 1	PP									X		X
3	Rodhophyta	Corallinales 2	PP							X		X	X	X
4	Chlorophyta	Cladophoraceae	PP				X	X	X					
5	Chlorophyta	Ulva sp	PP				X							
6	Ochrophyta	Macrocystis pyrifera	PP		X		X							
7	Porifera	Cliona chilensis*	SS		X							X		X
8	Porifera	Axinella crinita*	SS		X	X						X	X	X
9	Porifera	Haliclona sp.*	SS									X		
10	Porifera	Tedania sp.*	SS									X		
11	Porifera	Tethya sp.*	SS									X		
12	Porifera	Porifera 1**	SS								X	X	X	
13	Porifera	Porifera 2**	SS		X						X	X	X	X
14	Porifera	Porifera 3**	SS								X			
15	Porifera	Porifera 4*	SS								X	X	X	X
16	Porifera	Porifera 5**	SS								X			
17	Porifera	Porifera 6*	SS		X							X	X	X
18	Porifera	Porifera 7*	SS								X			
19	Porifera	Porifera 8**	SS								X			
20	Porifera	Porifera 9*	SS								X			
21	Porifera	Porifera 10*	SS								X			
22	Porifera	Porifera 11**	SS								X	X	X	X
23	Porifera	Porifera 12*	SS											X
24	Porifera	Porifera 13**	SS										X	
25	Porifera	Porifera 14*	SS									X	X	
26	Porifera	Porifera 15*	SS	X		X								
27	Porifera	Porifera 16*	SS		X									
28	Porifera	Porifera 17*	SS		X									
29	Porifera	Porifera 18*	SS			X								
30	Porifera	Porifera 19*	SS		X	X								
31	Porifera	Porifera 20*	SS			X								
32	Cnidaria	Metridium sp	CA		X							X	X	



## Distribución de las comunidades epibentónicas y caracterización de hábitats

33	Cnidaria	<i>Anthothoe chilensis</i>	CA			X			X		X
34	Cnidaria	<i>Bolocera</i> sp.	CA	X	X						
35	Cnidaria	<i>Actinostola chilensis</i>	CA	X		X					
36	Cnidaria	<i>Mesozoanthus fossii</i>	CA	X							
37	Cnidaria	<i>Dactylanthus antarcticus</i>	CA			X					
38	Cnidaria	Actinaria	--			X					
39	Cnidaria	<i>Primnoella chilensis</i>	SS	X	X	X		X	X	X	
40	Cnidaria	<i>Thouarella</i> sp.	SS	X		X		X		X	
41	Cnidaria	<i>Clavularia</i> sp.	SS					X	X	X	
42	Cnidaria	<i>Alcyonium</i> sp.	SS			X			X		
43	Cnidaria	Scleractinia	SS					X	X	X	
44	Cnidaria	<i>Desmophyllum dianthus</i>	SS	X		X					
45	Cnidaria	Octocorallia	--					X			
46	Cnidaria	Hydrozoa	--					X	X	X	
47	Mollusca	<i>Chiton</i> sp.	GR						X	X	X
48	Mollusca	<i>Chiton magnificus</i>	GR		X						X
49	Mollusca	<i>Aulacomya atra</i>	SS					X	X	X	
50	Mollusca	<i>Mytilus chilensis</i>	SS								X
51	Mollusca	<i>Zygochlamys patagonica</i>	SS		X	X					
52	Mollusca	Bivalvia	SS	X	X	X					
53	Mollusca	<i>Tegula atra</i>	GR							X	X
54	Mollusca	<i>Ceratocymba</i> sp.	GR								X
55	Mollusca	<i>Crepipatella</i> sp.	SS								X
56	Mollusca	<i>Fusitriton magellanicus</i>	CA			X					
57	Mollusca	<i>Argobuccinum pustulosum</i>	CA						X	X	
58	Mollusca	Gastropoda	--					X			
59	Mollusca	Nudibranchia	CA					X	X	X	
60	Annelida	Terebellidae 1	DD	X		X					
61	Annelida	Terebellidae 2	DD					X			
62	Annelida	<i>Chaetopterus variopedatus</i>	SS			X					
63	Annelida	Sabellidae	SS		X						

64	Annelida	Serpulidae	SS	X	X	X				X		X	X
65	Annelida	Polychaeta 1	--		X	X							
66	Annelida	Polychaeta 2	--						X	X	X		
67	Artrophoda	Cirripedia	SS			X	X	X		X			
68	Artrophoda	Grimothea gregaria	DD		X					X			
69	Artrophoda	Paralomis granulosa	CA		X								
70	Artrophoda	Propagurus gaudichaudi	CA			X							
71	Artrophoda	Metacarcinus edwardsii	CA-DD				X	X	X	X			
72	Brachiopoda	Magellania venosa	SS								X	X	
73	Briozoa	Cellaria sp.	SS			X				X			
74	Briozoa	Adeonella sp.	SS			X							
75	Briozoa	Aspidostoma giganteum	SS	X		X				X		X	
76	Briozoa	Reteporella magellensis	SS			X				X		X	
77	Briozoa	Bryozoa 1	SS				X					X	
78	Briozoa	Bryozoa 2	SS									X	
79	Briozoa	Bryozoa 3	SS			X							
80	Echinodermata	Cosmasterias lurida	CA		X	X	X	X	X	X	X	X	X
81	Echinodermata	Glabraister antarctica	CA		X	X					X		X
82	Echinodermata	Meyenaster gelatinosus	CA								X		
83	Echinodermata	Ganeria falklandica	CA							X	X		
84	Echinodermata	Cyathra verrucosa	CA			X							
85	Echinodermata	Odontaster penicillatus	CA			X							
86	Echinodermata	Asteroidea 1	CA								X	X	X
87	Echinodermata	Asteroidea 2	CA					X					
88	Echinodermata	Asteroidea 3	CA							X			
89	Echinodermata	Asteroidea 4	CA							X			
90	Echinodermata	Asteroidea 5	CA	X									
91	Echinodermata	Asteroidea 6	CA		X	X							
92	Echinodermata	Asteroidea 7	CA		X	X							

93	Echinodermata	<i>Arbacia dufresnii</i>	GR		X	X			X	X	X
94	Echinodermata	<i>Loxechinus albus</i>	GR	X	X	X			X		X
95	Echinodermata	<i>Heterocucumis godeffroyi</i>	SS		X	X			X	X	X
96	Echinodermata	<i>Psolus</i> sp.	SS	X	X	X					X
97	Echinodermata	Holothuroidea	SS						X		X
98	Echinodermata	<i>Gorgonocephalus chilensis</i>	SS			X					
99	Chordata	<i>Sycozoa</i> sp.	SS		X						
100	Chordata	Ascidiacea 1	SS		X	X					
101	Chordata	Ascidiacea 2	SS								X
102	Chordata	<i>Sebastes oculatus</i>	CA		X	X	X	X		X	X
103	Chordata	<i>Pinguipes chilensis</i>	CA		X		X			X	X
104	Chordata	<i>Congiopodus peruvianus</i>	CA						X		
105	Chordata	<i>Prolatilus jugularis</i>	CA	X	X	X					
106	Chordata	Patagonotothen	CA	X		X					
107	Chordata	Nototheniidae	CA					X	X	X	X
108	Chordata	Perciforme	--						X		

Figura 3. Representación espacial de la fauna epibentónica agrupada en filos para las diferentes estaciones de muestreo. Otros: Brachiopoda y Ascidiacea.

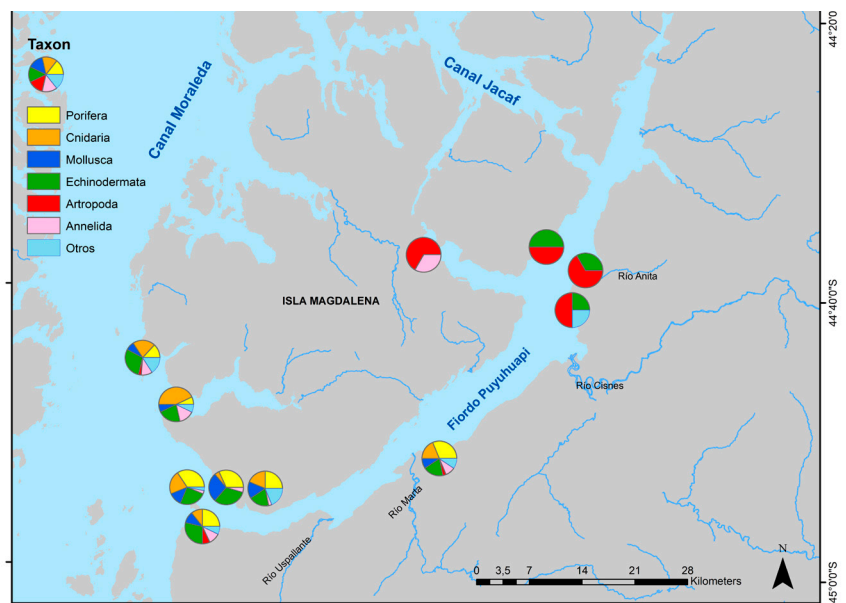


Figura 4. Representación espacial de la fauna epibentónica agrupada en grupos tróficos para las diferentes estaciones de muestreo.

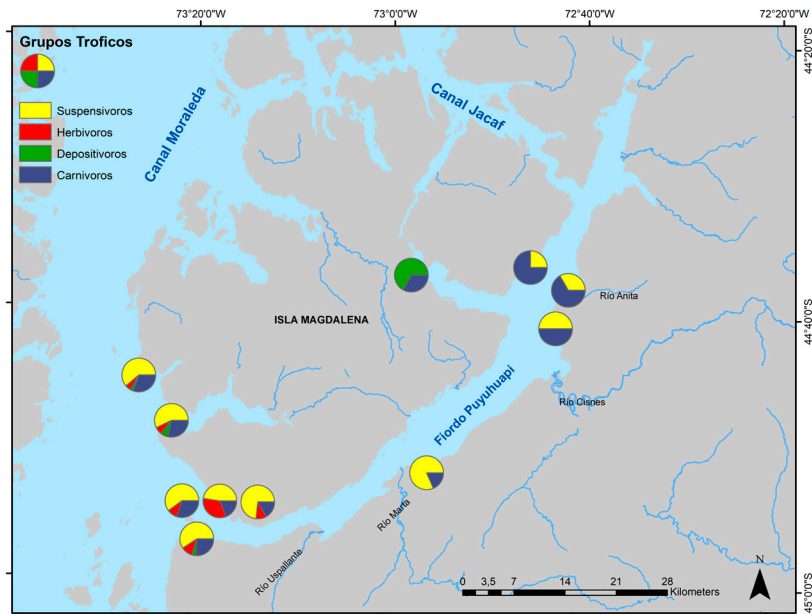
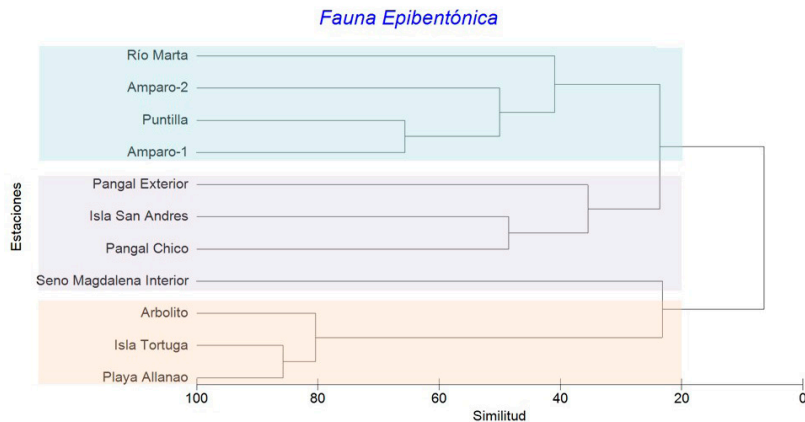


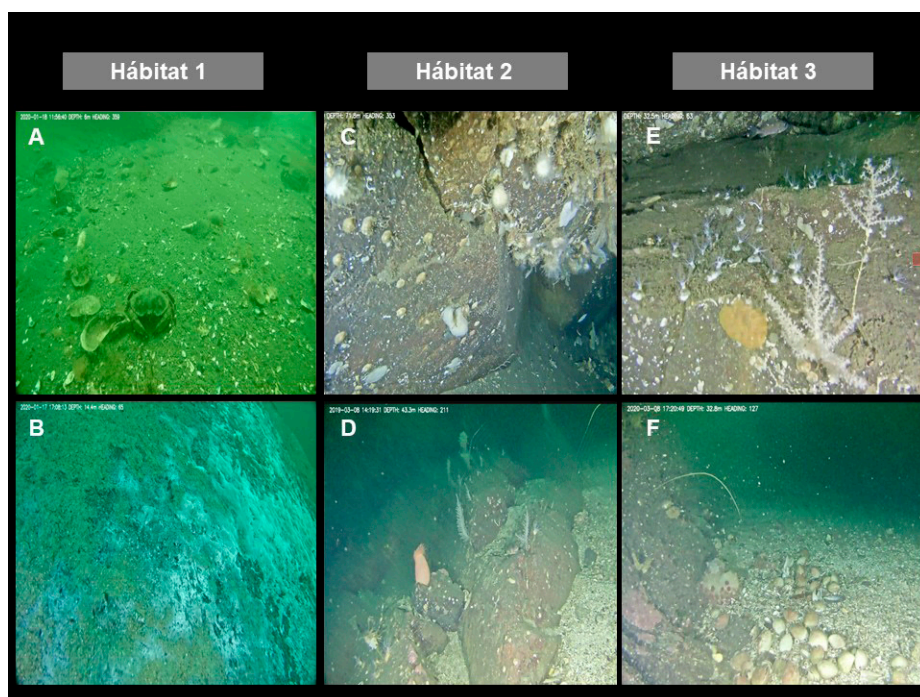
Figura 5. Dendrograma presencia-ausencia de la fauna epibentónica del fiordo Puyuhuapi. Los grupos fueron clasificados usando un análisis de conglomerados jerárquico basado en el índice de similitud de Sorensen. Los diferentes colores indican los tres principales grupos.



porcentajes de representación (60%) en estaciones ubicadas en la sección media del fiordo, pero representados a lo largo de todas las secciones. Los depositivos (DD: crustáceos decápodos y poliquetos) estuvieron mejor representados en la sección media del fiordo y los herbívoros (GR: quitones, gastrópodos y equinoideos) en la sección boca del fiordo (Fig. 4).

Los resultados del análisis de conglomerados, basado en los datos de presencia y ausencia, utilizando 95 taxones/especies de invertebrados (excluyendo algas y peces), mostraron tres grupos acorde con las secciones definidas en el fiordo Puyuhuapi (Fig. 5). El primer grupo o ensamble (Hábitat 1) estuvo asociado a fondos mixtos que agrupó las estaciones Arbolito, Isla Tortuga, Playa Allanao y Seno Magdalena-Interior; todas estas estaciones ubicadas en la sección media

Figura 6. Imágenes (ROV) representativas para cada hábitat descrito en el fiordo Puyuhuapi. Hábitat 1: A) Estación Arbolito: Fondo mixto con detritos orgánicos y restos de conchas, *Metacarcinus edwardsii* (6 m), B) Estación Playa Allanao: Fondo blando con presencia de mantos de bacterias (14 m). Hábitat 2: C) Estación Pangal exterior: corales pétreos y esponjas incrustantes (72 m), D) Estación Pangal Chico: rocas con detritos orgánicos, arena y cobertura de conchas, *Thouarella sp.* y *A. chilensis* (43 m). Hábitat 3: E) Estación Puerto Amparo: rocas con material sedimentario, *Psolus sp.*, *Thouarella sp.* y *Sebastes oculatus* (33 m), F) Estación Puntilla: Roca con cobertura de conchas, *L. albus*, *P. chilensis* y *M. venosa* (33 m).



del fiordo. Un segundo grupo (Hábitat 2) se caracterizó por presentar fondos duros asociados a terrazas rocosas, agrupando las estaciones de la sección exterior al fiordo (Pangal Exterior, Pangal Chico, Isla San Andrés). Y un tercer grupo (Hábitat 3) caracterizado por fondos duros asociados a paredes rocosas, que agrupó las estaciones ubicadas en la sección boca del fiordo (Puntilla, Amparo-1 y Amparo-2) y una estación de la sección media del fiordo (Río Marta) (Fig. 5). El ANOSIM de una vía mostró diferencias significativas entre los grupos (Global R =0,69;  $p < 0,05$ ). A continuación, se describen cada uno de estos grupos, los cuales se consideran hábitats con características particulares.

### Descripción de hábitats

El primer hábitat (Hábitat-1, Fig. 6 A-B) estuvo asociado a fondos mixtos (*i.e.* presencia de rocas, arena, fango, detritos orgánicos y cobertura de conchas) con inclinación horizontal del sustrato. El rango de profundidad varió entre 1 y 50 m, registrándose las mayores profundidades solo en las estaciones Playa Allanao y Seno Magdalena Interior (Tabla 1). En este hábitat el ensamble de la fauna epibentónica mostró una baja riqueza de especies ( $n=7$  taxones/especies), caracterizado por asteroideas (2), briozoos (1), poliquetos (1) y crustáceos (3). La ocurrencia de los crustáceos en esta sección media del fiordo fue mayor en comparación con las otras secciones del fiordo, debido a la presencia de jaiba marmola *Metacarcinus edwardsii* (Bell, 1835), cirripedios y el langostino *Grimothea gregaria* (Fabricius, 1793). Además, en este hábitat se registraron mantos de bacterias sobre el sustrato (Fig. 6B) en la estación Playa Allanao, ubicada en la desembocadura del río Anita, sustentando una entrada importante de materia orgánica alóctona (terrestre) al sistema.

El hábitat-2 se caracterizó por presentar fondos duros con cobertura de conchas y detritos orgánicos, la inclinación principal del sustrato fue tipo pendiente. El rango de profundidad registrado varió entre 1 y 92 m, registrándose las mayores profundidades en Seno Pangal (Tabla 1). Este hábitat exhibió un ensamble bentónico con alta riqueza de especies ( $n = 52$  taxones/especies; Fig. 6 C-D), dominado por Echinodermata (12), Cnidaria (11), Porifera (10), Polychaeta (5), Bryozoa (5), Mollusca (4), Crustacea (3) y Ascidiacea (2) (Tabla 2). Fue frecuente observar equinodermos como; *Cosmasterias lurida* (Philippi, 1858), *Glabraster antarctica* (E. A. Smith, 1876), *Cycethra verrucosa* (Philippi, 1857), *Odontaster penicillatus* (Philippi, 1870), *Arbacia dufresnii* (Blainville, 1825), *Loxechinus albus* (Molina, 1782), *Heterocucumis godeffroyi* (Semper, 1867), *Gorgonocephalus chilensis* (Philippi, 1858) y *Psolus* sp. El filo Cnidaria estuvo representado principalmente por anémonas (*Anthothoe chilensis* (Lesson, 1830), *Actinostola chilensis* (McMurrich, 1904), *Dactylanthus antarcticus* (Clubb, 1908), *Bolocera* sp. y *Metridium* sp.) y octocorales (*Primnoella chilensis* (Philippi, 1894), *Desmophyllum dianthus* (Esper, 1794), *Thouarella* sp. y *Alcyonium* sp.). En este hábitat se registraron ostiones (*Zygochlamys patagonica* P. P. King, 1832) y corales de aguas frías (*D. dianthus*), formando bancos entre los 40 y 70 m de profundidad. También se registró *A. chilensis*, especie que ha sido descrita con distribución frecuente en las cercanías de los bancos de coral (Cairns et al. 2005). El erizo rojo (*L. albus*) estuvo presente en los diferentes tipos de sustrato registrados, cubriendo desde fondos mixtos hasta rocosos y desde aguas superficiales hasta aguas profundas (90 m).

El hábitat-3 se caracterizó por presentar fondos duros compuestos por paredes rocosas y terrazas rocosas, con arena y cobertura de conchas. En general las profundidades alcanzaron los 40 m, excepto la estación Rio Marta que alcanzó los 70 m. En este hábitat las principales inclinaciones del sustrato fueron tipo pendiente y vertical, cuyo ensamble bentónico exhibió una alta riqueza de especies ( $n = 61$  taxones/especies; Fig. 6 E-F) dominado por Porifera (19), Echinodermata (12), Mollusca (10) y Cnidaria (9) (Tabla 2). Registrándose equinodermos como *C. lurida*, *G. antarctica*, *Meyenaster gelatinosus* (Meyen, 1834), *Ganeria falklandica* (Gray, 1847), *A. dufresnii*, *L. albus*, *H. godeffroyi* y *Psolus* sp. El filo Cnidaria exhibió especies como *P. chilensis*, *Thouarella* sp., *Alcyonium* sp. y *Clavularia* sp. Un alto número de especies de moluscos se registró en esta sección del fiordo (boca; Puntilla y Amparo-2) en comparación con las otras secciones. En la estación Puntilla; *Argobuccinum pustulosum* (Lightfoot, 1786), *Aulacomya atra* (Molina, 1782), *Chiton* sp. y Nudibranchia fueron dominantes. En cambio, en Amparo-2 fueron frecuentes *Chiton magnificus* (Deshayes, 1827), *Mytilus chilensis* (Hupé, 1854), *Tegula atra* (Lesson, 1831), *Chiton* sp., *Crepidatella* sp., y *Ceratocymba* sp. En este hábitat, el octocoral *Clavularia* sp. y el braquiópodo *Magellania venosa* (Dixon, 1789), fueron dominantes, particularmente en profundidades mayores a 20 m.

Los análisis estadísticos realizados para relacionar la presencia/ausencia de los taxones/especies con factores ambientales (profundidad, pendiente del sustrato, tipo de sustrato y la sección del fiordo), mostraron que el tipo de sustrato y la profundidad son las características ambientales que explican en mayor parte las diferencias encontradas. La profundidad fue un buen predictor (GLM,  $p < 0,05$ ) de la presencia de *C. lurida*, *A. dufresnii*, *Cliona chilensis* (Thiele, 1905) y *Thouarella* sp. Todas estas especies (excepto *Thouarella* sp.) se asociaron a aguas poco profundas ( $< 40$  m) en cambio *Thouarella* sp., a aguas más profundas ( $> 40$  m). Por otro lado, *Axinella crinita* (Thiele, 1905) y el grupo Porifera (morfotipos masiva e incrustante) se asociaron a sustratos duros/mixtos. La pendiente también fue una variable asociada al grupo Porifera

incrustante, estando este grupo ausente en las estaciones donde la pendiente fue horizontal. La sección del fiordo fue la variable que explicó la presencia de *L. albus* y poliquetos serpúlidos, (GLM;  $p < 0,05$ ); en el caso de *L. albus* fueron las secciones boca y exterior del fiordo (hábitats 3 y 2), en cambio, en los poliquetos fue la sección exterior (hábitat 2).

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las comunidades epibentónicas descritas a través de este estudio indican altos valores de riqueza de especies, dominadas por suspensivos heterótrofos. Estos resultados concuerdan con lo descrito por Betti *et al.* (2017, 2021), que reportan comunidades bien definidas con altas biomásas y diversidad en sitios bien ventilados, sobre sustratos duros inclinados donde el estrés del material sedimentario es bajo. En este sentido, se destacan los registros de corales pétreos (*D. dianthus*) que presentaron agregaciones asociadas a profundidades entre los 40 y 70 m, en la sección exterior del fiordo Puyuhuapi donde existe mayor influencia oceánica. En este fiordo es común encontrar organismos formadores de hábitat y extensas agregaciones de fauna megabentónica (*e.g.* agregaciones de poliquetos, esponjas y erizos de mar, bosques de gorgonias, cinturones de mitílidos, jardines de actinias y holoturias; Betti *et al.* 2021), a las cuales también se les conoce como bosques de animales marinos (Försterra *et al.* 2017; Rossi *et al.* 2017). Estas agregaciones o comunidades permiten aumentar la superficie de sustrato disponible ofreciendo un nuevo hábitat para muchos tipos de organismos bentónicos sésiles y móviles, en las cuales se observa una estrategia trófica dominada por la alimentación por suspensión o filtración (Häussermann & Försterra, 2009, 2015; Försterra *et al.* 2017; Betti *et al.* 2017, 2021; Cárdenas & Montiel, 2017). Los suspensivos fueron observados con frecuencia en las estaciones ubicadas en la boca y la sección exterior del fiordo en comparación con la sección media, siendo este grupo trófico el más diverso (*e.g.* esponjas, octocorales, bivalvos, poliquetos, briozoos, holoturoideos y ascidias). De hecho, los suspensivos o filtradores son un componente dominante y clave en las comunidades bentónicas (Häussermann & Försterra, 2009; Betti *et al.* 2017, 2021), ya que movilizan una fracción importante de la materia orgánica fresca derivada de la producción primaria y juegan un rol fundamental en la transferencia de materia y energía de los sistemas pelágicos a los sistemas bentónicos.

En el fiordo Puyuhuapi se han reportado altas concentraciones de carbono orgánico particulado asociado con altos contenidos de materia orgánica de origen terrestre (Sepúlveda *et al.* 2011; Silva *et al.* 2011). Esto constituye una importante fuente de alimento para crustáceos y otras especies de detritívoros como poliquetos y equinodermos (Quiroga *et al.* 2016; Cari *et al.* 2020), los cuales juegan un papel ecológico clave en la transferencia de energía entre diferentes niveles tróficos (Betti *et al.* 2020; Bernal *et al.* 2020; Ruiz-Ruiz *et al.* 2021). En la sección media del fiordo los crustáceos decápodos *M. edwardsii* y *G. gregaria* estuvieron bien representados comparación con las otras secciones del fiordo, este último ha sido reportado en altas densidades ( $114 \pm 9$  individuos/m<sup>2</sup>), particularmente en las desembocaduras de ríos y zonas poco profundas del área de estudio (Betti *et al.* 2017; Figueroa-Muñoz *et al.* 2020).

Otra fuente importante de materia orgánica alóctona es generada por la actividad acuícola (Buschmann *et al.* 2006; Quiñones *et al.* 2019), la cual incorpora altas cargas de materia orgánica y nutrientes, las cuales pueden generar un enriquecimiento orgánico en el fondo marino, produciendo cambios en las características biogeoquímicas de los sedimentos, así como en la

estructura de las comunidades bentónicas (e.g. Gowen & Bradbury 1987; Brown *et al.* 1987; Sanchis *et al.* 2021). Estas comunidades pueden remineralizar una fracción importante de esta materia orgánica, pero si se excede esta capacidad de asimilación de materia orgánica, se puede llegar a una condición hipóxica o anóxica, produciendo cambios en las propiedades biogeoquímicas de los sedimentos y la biota bentónica (e.g. Weston, 1990; Borja *et al.* 2000; Dauvin *et al.* 2020). Cambios drásticos en la biota son la presencia de comunidades microbianas, las cuales han sido reportadas en el fiordo Puyuhuapi asociadas a desechos orgánicos ubicados bajo las jaulas de salmones, tanto en fondos blandos como duros (<http://www.sernapesca.cl>). Sin embargo, en sitios asociados a la entrada de ríos (estación Playa Allanao), se registraron mantos de bacterias, lo que indica zonas naturalmente enriquecidas en el área de estudio. Otro factor que puede influir en la distribución de la epifauna bentónica es el estrés producido por el material en suspensión, favoreciendo una mayor diversidad en áreas con baja sedimentación (Betti *et al.* 2017, 2021). Sin embargo, observamos en la estación Río Marta un alto contenido de material sedimentario sobre el sustrato rocoso, asociado a alta presencia de organismos sésiles incrustantes, principalmente esponjas y octocorales (alimentadores en suspensión). Lo que podría sugerir que ambientes con una mayor heterogeneidad de sustratos (i.e. fango, detritus, arena, roca) y diferentes fuentes de alimento; como lo son la materia orgánica alóctona (i.e. terrestre, salmonicultura) y autóctona (marina), podrían estar favoreciendo un alto número de especies y modos de alimentación como los depositívoros y suspensívoros.

Las condiciones naturales del fiordo Puyuhuapi, como son las descargas fluviales con altos aportes de materia orgánica terrestre (Sepúlveda *et al.* 2011; Silva *et al.* 2011; Montero *et al.* 2017), las condiciones de hipoxia reportadas en la columna de agua (Silva *et al.* 2014; Pérez Santos *et al.* 2018) y la baja ventilación de las aguas profundas producto de las microcuencas (Schneider *et al.* 2014; Pinilla *et al.* 2020), sumado a actividades antrópicas como la salmonicultura, deben ser evaluadas en su conjunto como forzantes de cambios en la estructura, composición y funcionamiento de las comunidades bentónicas (Ortiz *et al.* 2021; Quiroga *et al.* 2022). La información espacial y funcional de estas comunidades son una herramienta fundamental para un enfoque de planificación espacial marina (Ehler & Douvère, 2009; Kyrioti *et al.* 2021; O'Learly *et al.* 2021), el cual debiese ser incorporado con urgencia en la gestión y planificación costera de la Patagonia Chilena.

## AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen al Programa Regional ANID R20F0002. A los colaboradores Sebastián López, Emma Bonhomme, Celestino Ancamil y al equipo de trabajo de la Università degli studi di Genova. También agradecen al personal técnico del Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia (CIEP) por el apoyo durante el trabajo de campo. P. Ortiz agradece al programa de doctorado en Ciencias y Tecnologías para el Medio Ambiente y el Territorio (STAT) de la Università degli studi di Genova. Finalmente agradecemos el apoyo de Eduardo Quiroga quién fue un apasionado investigador de los ecosistemas bentónicos en la Patagonia Chilena.



## LITERATURA CITADA

- Bernal Bajo, A., Castro, L.R., & Costalago, D. (2020). Elucidating trophic pathways of the most abundant fish larvae in northern Patagonia using  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  isotopes. *Marine Ecology Progress Series*, 650:253-267. <https://doi.org/10.3354/meps13374>.
- Betti F., Bavestrello, G., Bo, M., Enrichetti, F., Loi, A., Wanderlingh, A., Perez-Santos, I., & Daneri, G. (2017). Benthic biodiversity and ecological gradients in the Seno Magdalena (Puyuhuapi Fjord, Chile). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 198, 269-278.
- Betti, F., Castro, L. R., Bavestrello, G., Enrichetti, F., & Daneri, G. (2020). Distribution, abundance and ecological requirements of the benthic phase of *Munida gregaria* (Anomura; Munididae) in the Puyuhuapi Fjord (Chilean Patagonia). *Regional Studies in Marine Science*, 40:101534. doi: 10.1016/j.rsma.2020.101534
- Betti, F., Enrichetti, F., Bavestrello, G., Costa, A., Moreni, A., Bo, M., Ortiz Saini, P., & Daneri, G. (2021). Hard-Bottom Megabenthic Communities of a Chilean Fjord System: Sentinels for Climate Change? *Frontiers in Marine Science*, 8:635430. [https://doi: 10.3389/fmars.2021.635430](https://doi.org/10.3389/fmars.2021.635430).
- Borja, A., Franco, F., & Perez, V. (2000). A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within european estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*, 40, 1100-1114. doi:10.1016/S0025-326X(00)00061-8.
- Brown, JR., Gowen, RJ., & McLusky, DS. (1987). The effect of salmon farming on the benthos of a Scottish sea loch. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 109, 39-51.
- Buschmann AH, Riquelme VA, Hernandez-Gonzalez MC, Varela D, Jimenez JE, Henriquez LA et al. (2006). A review of the impacts of salmonid farming on marine coastal ecosystems in the southeast Pacific. *ICES Journal of Marine Science* 63 (7): 1338-1345.
- Buschmann, AH., Cabello, F., Young, K., Carvajal, J., Varela, DA., & Henriquez, LA. (2009). Salmon aquaculture and coastal ecosystem health in Chile: Analysis of regulations, environmental impacts and bioremediation systems. *Ocean and Coastal Management*, 52, 243-249.
- Cairns, S., Häussermann, V., & Försterra, G. (2005). A review of the Scleractinia (Cnidaria: Anthozoa) of Chile, with the description of two new species. *Zootaxa* 1018:15-46.
- Callier, MD., Lafevre, S., Dunagan, MK., Bataille, MP., Coughlan, J., & Crove, TP. (2013). Shift in benthic assemblages and organisms' diet at salmon farms: community structure and stable isotope analyses. *Marine Ecology Progress Series*, 483, 153-167.
- Cárdenas, CA., & Montiel, A. (2017). "Coexistence in Cold Waters: Animal Forests in Seaweed-Dominated Habitats in Southern High-Latitudes", in *Marine Animal Forests*, eds S. Rossi, L. Bramanti, A. Gori, and C. Orejas (Cham: Springer).
- Cari, I., Andrade, C., Quiroga, E., & Murschke, E. (2020). Benthic trophic structure of a Patagonian fjord (47°S): the role of hydrographic conditions in the food supply in a glaciofluvial system. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, [https://10.1016/j.ecss.2019.106536](https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106536).
- Clarke K & Ainsworth M. (1993). A method of linking multivariate community structure to environmental variables. *Marine Ecology Progress Series*, 92: 205-219.
- Clarke, KR., Somerfield, PJ., & Gorley, RN. (2008). Testing of null hypotheses in exploratory community analyses: similarity profiles and biota-environment linkage. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 366, 56-69.
- Dauvin, J.C., Pezy, J.P., Baffreau, A., Bachelet, Q., Baux, N., Mear, Y., Murat, A., & Poizat, E. (2020). Effects of a salmon fish farm on benthic habitats in a high energy hydrodynamic system: the case of the Rade de Cherbourg (English Channel). *Aquaculture*, 518, 734832. doi:10.1016/j.aquaculture.2019.734832.
- DGA (Dirección General de Aguas). (2003). Dirección General de Aguas. Chile. Available online at: <http://www.dga.cl>.
- Ehler, Charles., & Douvère, F. (2009). Marine Spatial Planning: a step-by-step approach toward ecosystem-based management. Intergovernmental Oceanographic Commission and Man and the Biosphere Programme. IOC Manual and Guides No. 53, ICAM Dossier No. 6. Paris: UNESCO.

- Figueroa-Muñoz, G., Retamal, M., De Los Ríos, P.R. et al. (2020). Scavenging crustacean fauna in the Chilean Patagonian Sea. *Scientific Reports*, 10, 5940. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62570-2>
- Forcelli, D. (2000). Moluscos Magallánicos. Vazquez Mazzini Editores. Buenos Aires, Argentina. 200 pp.
- Försterra, G., Häussermann, V., & Laudien, J. (2017). "Animal forests in the Chilean fjords: discoveries, perspectives and threats in shallow and deep waters," in *Marine Animal Forests*, eds S. Rossi, L. Bramanti, A. Gori, and C. Orejas (Cham: Springer).
- Gowen, JR., & Bradbury, NB. (1987). The ecological impact of salmonid farming in coastal waters: a review. *Oceanography and Marine Biology An Annual Review*, 25, 563–575.
- Häussermann, V., & Försterra, G. (2009). Fauna marina bentónica de la Patagonia Chilena, Santiago. *Nature in Focus*, 1000 pp.
- Häussermann, V., Försterra, G., Melzer, R. & Meyer, R. (2013). Gradual changes of benthic biodiversity in Comau Fjord, Chilean Patagonia – lateral observations over a decade of taxonomic research. *Spixiana* 36(2): 161-171
- Häussermann, V., & Försterra, G. (2015). In situ broadcast spawning of *Corynactis* sp. in Chilean Patagonia. *Coral Reefs*, 34:119. DOI 10.1007/s00338-014-1256-9.
- Hervé, F., Quiroz, D & Duhart, P. (2009). Principales aspectos geológicos de la región de los fiordos Chilenos en Fauna marina bentónica de la Patagonia Chilena, eds Häussermann, V., & Försterra, G. *Nature in Focus*, 1000 pp. Santiago, Chile.
- Howe, J.A., Austin, W.E.N., Forwick, M., Paetzel, M., Harland, R., Cage, A.G., 2010. Fjord systems and archives: a review. *Geological Society, London, Special Publications*, 344 (1), 5–15.
- Keeley, N., Valdemarsen, TB., Woodcock, S., Holmer, M., Husa, V., & Bannister, R. (2019). Resilience of dynamic coastal benthic ecosystems in response to large-scale finfish farming. *Aquaculture Environment Interactions*, 11, 161–179. <https://doi.org/10.3354/aei00301>.
- Kyprioti, A., Alpanidou, V., Chatzimentor, A., Katsanevakis, S., & Mazaris, A. (2021). Is the current Mediterranean network of marine protected areas resilient to climate change? *Science of The Total Environment*, V 792, 148397 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148397>.
- Montero, P., Pérez-Santos, I., Daneri, G., Gutierrez, MH., Igor, G., Seguel, R., Purdie, D., & Crawford, DW. (2017). A winter dinoflagellate bloom drives high rates of primary production in a Patagonian fjord ecosystem. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 199, 105–116. doi: 10.1016/j.ecss.2017.09.027
- Nahuelhual, L. Vergara, X., Kusch, A., Campos, G. & D. Droguett. 2017. Mapping ecosystem services for marine spatial planning: Recreation opportunities in Sub-Antarctic Chile. *Marine Policy*, 81: 211-218.
- O’Leary, B.C., Copping, J.P., Mukherjee, N. et al. (2021). The nature and extent of evidence on methodologies for monitoring and evaluating marine spatial management measures in the UK and similar coastal waters: a systematic map. *Environmental Evidence*, 10, 13. <https://doi.org/10.1186/s13750-021-00227-x>.
- Ortiz, P., Quiroga, E., Montero, P., Hamame, M. & Betti, F. (2021). Trophic structure of benthic communities in a Chilean fjord (45°S) influenced by salmon aquaculture: insights from stable isotopic signatures. *Marine Pollution Bulletin*, 173, 113149 <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113149>.
- Pérez-Santos, I., Castro, L., Ross, L., Niklitschek, E., Mayorga, N., Cubillos, L., Gutierrez, M., Escalona, E., Castillo, M., Alegria, N., & Daneri, G. (2018). Turbulence and hypoxia contribute to dense biological scattering layers in a Patagonian fjord system. *Ocean Science*, 14, 1185–1206, <https://doi.org/10.5194/os-14-1185-2018>.
- Pinilla, E., Castillo, M., Perez-Santos, I., Venegas, O., & Valle-Levinson, A. (2020). Water age variability in a Patagonian fjord. *Journal of Marine Systems*, 210, 103376. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2020.103376>.
- Prado-Fiedler, R., & Castro, JS. (2008). Aporte fluvial y pluvial de nitrógeno y fosforo al fiordo Aysén y canales Jacaf-Ventisquero-Puyuhuapi. *Ciencia y Tecnología del Mar*, 31, 75–95.
- Quiñones, R.A., Fuentes, M., Montes, R.M., Soto, D., & León-Muñoz, J. (2019). Environmental issues in Chilean salmon farming: a review. *Reviews in Aquaculture*, 11, 375–402. <https://doi.org/10.1111/raq.12337>.
- Quiroga, E., Ortiz, P., González, R., Tapia, F., Pérez-Santos, I., Rebolledo, L., Reid, B., Mansilla, R., Pineda, C., Cari, I., Salinas, N., Montiel, A., & Gerdes, D. (2016). Seasonal patterns in the benthic realm of a glacial fjord. Martinez Channel, Chilean Patagonia: the role of suspended sediment and terrestrial organic matter. *Marine Ecology Progress Series*, 561: 31-50.

- Quiroga, E., Ortiz, P., Soto, E., Salinas, N., Olguín, N & Sands, C. (2022). Geographic patterns of soft-bottoms benthic communities in Chilean Patagonian fjords (47°S-54°S) - influence of environmental stress on diversity patterns and stable isotope signatures. *Progress in Oceanography*, Volume 204. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2022.102810>.
- Reyes, P. & Hüne, M. (2012). *Peces del Sur de Chile*. Ocho Libros Editores, 497 pp. ISBN 978-956-335-110-1.
- Rossi, L. Bramanti, A. Gori, & C. Orejas. (2017). *Marine Animal Forests*, eds S. (Cham: Springer), 1366 pp.
- Ruiz-Ruiz, P., Contreras, S., Urzúa, A., Quiroga, E., & Rebolledo, L. (2021). Fatty acid biomarkers in three species inhabiting a high latitude Patagonian fjord (Yendegaia Fjord, Chile). *Polar Biology*, V 44(1): 1-16. <https://doi.org/10.1007/s00300-020-02788-y>.
- Sanchis, C., E. Soto, & Quiroga, E. (2021). The importance of a functional approach on benthic communities for aquaculture environmental assessment: trophic groups - a polychaete view. *Marine Pollution Bulletin*, 167, 112309. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112309>
- Schneider, W., Pérez-Santos, I., Ross, L., Bravo, L., Seguel, R., & Hernández, F. (2014). On the hydrography of Puyuhuapi Channel, Chilean Patagonia. *Progress in Oceanography*, 128, 8–18.
- Sepúlveda, J., Pantoja, S., & Hughen, KA. (2011). Sources and distribution of organic matter in northern Patagonia fjords, Chile (~44-47°S): a multi-tracer approach for carbon cycling assessment. *Continental Shelf Research*, 31, 315–329.
- Sievers, A. H., & Silva, N. (2008). "Water masses and circulation in austral Chilean channels and fjords," in *Progress in the Oceanographic Knowledge of Chilean Inner Waters, from Puerto Montt to Cape Horn*, eds N. Silva and S. Palma (Valparaíso: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso), 53–58.
- Silva, N., Vargas, C., & Prego, R. (2011). Land–ocean distribution of allochthonous organic matter in the surface sediments of the Chiloe and Aysén interior seas. Chilean Northern Patagonia. *Continental Shelf Research*, 31: 330–338.
- Silva, N. & Vargas, C. (2014). Hypoxia in Chilean Patagonia fjords. *Progress in Oceanography*, 129, 62–74.
- Tičina, V., Katavić, I., & Grubišić, L. (2020). Marine aquaculture impacts on marine biota in oligotrophic environments of the Mediterranean Sea – a review. *Frontiers in Marine Science*, 7. doi:10.3389/fmars.2020.00217.
- Weston, D.P. (1990). Quantitative examination of macrobenthic community changes along an organic enrichment gradient. *Marine Ecology Progress Series*, 61, 233–244. doi:10.3354/MEPS061233.
- Wildish, DJ., & Pohle, GW. (2005). Benthic macrofaunal changes resulting from finfish mariculture. In: Hargrave, B.T. (Ed.), *Environmental Effects of Marine Finfish Aquaculture*. Springer, Berlin, pp. 275–304.
- Woodcock, S.H., Strohmeier, T., Strand, Ø., Olsen, SA., & Bannister, RJ. (2018). Mobile epibenthic fauna consume organic waste from coastal fin-fish aquaculture. *Marine Environmental Research*, 137, 16-23.

Apéndice: Afiliación declarada por cada uno de los autores

Número afiliación	Nombre de la institución y/o organización Afiliación
1	Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia (CIEP), Moraleda 16, Coyhaique 5951601, Chile. ✉ paula.ortiz@ciep.cl

Autor	Afiliación
P. Ortiz	1
M. Hamame	1