

Comunidades del intermareal rocoso del Golfo de Arauco, Chile

Rocky intertidal communities of the Gulf of Arauco, Chile

Aldo Hernández^{1,*}, Carlos Leal González^{1,2}, Oscar Inostroza-Michael¹, José Miguel Bogdanovich³, Eduardo Hernández-Miranda^{4,5,6}, Marco Salamanca^{4,7} & Cristian Chandía^{4,7}

¹Centro de Investigación en Recursos Naturales HOLON SpA, Concepción, Chile.

²Programa de Doctorado en Ciencias Ambientales con mención en Sistemas Acuáticos Continentales, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

³Consultora ambiental Quantev SpA., Santiago, Chile.

⁴Departamento de Oceanografía, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

⁵Centro Interdisciplinario para la Investigación Acuícola (INCAR), Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

⁶Laboratorio de Investigación en Ecosistemas Acuáticos (LInEA), Concepción, Chile.

⁷Laboratorio de Oceanografía Química (LOQ), Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

*Corresponding author: aldo.hernandez@holonchile.cl

RESUMEN

El intermareal rocoso es un ecosistema altamente dinámico, caracterizado por la presencia de sustratos duros expuestos tanto al aire como al agua debido al ciclo de mareas, los que sustentan una alta diversidad de organismos adaptados a condiciones de alta variabilidad ambiental. A nivel nacional, no son muchos los estudios orientados a su caracterización y, en el caso del Golfo de Arauco, Chile, el nivel de conocimiento sobre la biodiversidad de estos ecosistemas es particularmente bajo. Entre octubre de 2021 y agosto de 2022 se desarrollaron tres campañas de monitoreo donde se analizó la riqueza, abundancia y composición de especies del intermareal rocoso en siete sitios de muestreo distribuidos a lo largo de la línea de costa del Golfo de Arauco. Nuestros resultados revelaron una riqueza taxonómica que alcanzó 56 taxa, de los cuales 31 estuvieron presentes durante las tres campañas. Los grupos con mayor representatividad de especies correspondieron a moluscos, artrópodos y algas rojas. El análisis de la estructura comunitaria multivariada reveló la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre sitios de muestreo, pero no así entre campañas. Las diferencias entre sitios de muestreo se produjeron entre los sitios ubicados en la sección este del golfo (Coronel a Laraquete) y los ubicados en la sección sur-oeste (Tubul a Punta Lavapié), con mayor riqueza y diversidad de especies en estaciones ubicadas en la sección este del Golfo. Estos resultados señalan la existencia de un patrón espacial en la composición de las comunidades intermareales de fondos duros en el Golfo de Arauco, el cual muestra consistencia durante las tres campañas de monitoreo efectuadas.

Palabras clave: análisis de comunidades biológicas, Golfo de Arauco, intermareal rocoso.

ABSTRACT

The rocky intertidal is a highly dynamic ecosystem, characterized by the presence of hard substrates exposed to both air and water due to the tidal cycle, which support a high diversity of organisms adapted to conditions of high environmental variability. At the national level, there are not many studies oriented to their characterization and, in the case of the Gulf of Arauco, the level of knowledge about the biodiversity of these ecosystems is particularly low. Between October 2021 and August 2022, three monitoring campaigns were carried out in order to study the richness, abundance and species composition of the rocky intertidal in seven sampling sites distributed along the coastline of the Gulf of Arauco. Our results revealed a taxonomic richness that reached 56 taxa, of which 31 were present

during the three surveys. The groups with the highest species representation corresponded to mollusks, arthropods and red algae. Multivariate community structure analysis shown statistically significant spatial differences between sampling sites, but not between surveys. Spatial differences occurred between sites located in the eastern section of the gulf (Coronel to Laraquete) and sites located in the south-western section (Tubul to Punta Lavapié), with greater species richness and diversity observed at stations located in the eastern section of the Gulf. These results indicate the existence of a spatial pattern in the composition of hard bottom intertidal communities in the Gulf of Arauco, which shows consistency during the three surveys carried out.

Keywords: Arauco Gulf, biological community analysis, rocky intertidal.

INTRODUCCIÓN

El intermareal rocoso es un ecosistema altamente dinámico y expuesto a grandes fluctuaciones ambientales, en el cual habita una variedad de especies adaptadas a condiciones ambientales extremas (Benedetti-Cecchi & Trussell 2013). En esta estrecha franja se produce un gradiente entre las condiciones oceánicas y terrestres, dando origen a un sistema caracterizado por una zonificación única, que ocurre en escalas espaciales reducidas (Branch 2001; Chappuis *et al.* 2014). Adicionalmente, su fácil acceso la convierte en una zona altamente susceptible de sufrir impactos asociados con contaminación, extracción excesiva de especies, introducción de especies exóticas, alteraciones producto de la infraestructura costera, entre otras (Thompson *et al.* 2002).

Esta combinación única de gradientes físicos y zonación de especies, las hacen excelentes sistemas de estudio, siendo objeto de un vasto número de investigaciones observacionales y experimentales, que han sido particularmente relevantes para la ecología de comunidades (Lewis 1964; Stephenson & Stephenson 1972; Lubchenco & Menge 1978). En Chile, los estudios del intermareal rocoso han contribuido al entendimiento de los efectos de los gradientes ambientales que se producen a lo largo del Sistema de Corrientes de Humboldt sobre las comunidades intermareales de roca (Rivadeneira & Fernández 2005; Thiel *et al.* 2007; Tapia *et al.* 2009, 2014) y han sido relevantes para la toma de decisiones asociadas con la conservación y manejo de pesquerías bentónicas (Castilla 1999; Castilla & Bustamante 1989; Navarrete *et al.* 2010).

Aguilera *et al.* (2019), analizaron el efecto de los mecanismos de control abióticos y bióticos sobre la estructura espacial del intermareal rocoso a lo largo de Chile (22° S a 42° S). A partir de una recopilación amplia de investigaciones desarrolladas en las costas nacionales, los autores señalan

que una fracción importante de las especies que habitan estos ecosistemas encuentran su límite de distribución polar o ecuatorial entre la zona de transición biogeográfica que ocurre entre 30° y 36° S. Herbívoros como *Scurria viridula* y *Enoplochiton niger*, además del alga *Lessonia berteroana* se ubicarían preferencialmente al norte de Punta Lengua de Vaca (30° S), mientras que al sur de esta latitud, *Scurria zebrina* y *Mazzaella laminarioides* dominan en el intermareal medio y alto, y *Lessonia spicata* y *Durvillaea antarctica* predominan en el intermareal bajo. El intermareal medio al sur de 30° S está dominado por *Perumytilus purpuratus*, especie que muestra una baja presencia al norte de Punta Lengua de Vaca.

En el centro sur de Chile, los estudios de comunidades en sistemas intermareales rocosos son menos frecuentes. Específicamente, para el Golfo de Arauco destaca el trabajo de Aldea & Valdovinos (2005), quienes estudiaron la malacofauna de la zona intermareal rocosa de la región del Biobío, en un tramo de 250 km entre Punta Pingüeral (36° 31' S) y Cabo Tirúa (38° 25' S), generando una clave taxonómica detallada para la identificación de las especies de moluscos que habitan en esta zona. Los autores indican que en la zona estudiada se identificó un total de 90 especies, entre las que predominaron los gastrópodos, bivalvos y poliplacóforos.

El Golfo de Arauco, como sistema de estudio es particularmente relevante, ya que representa la mayor bahía semicerrada a lo largo de la costa chilena al norte de Puerto Montt, con una superficie aproximada de 2000 km² y profundidades que, en general, no superan los 100 m (Valle-Levinson *et al.* 2003; Vergara *et al.* 2023; Wong *et al.* 2021). Adicionalmente, la presencia de la Isla Santa María frente a Punta Lavapié genera una abertura somera (Boca Chica) con intercambio de agua restringido con la plataforma continental adyacente al oeste (Djurfeldt 1989). El golfo exporta aguas mediante las capas superficiales y recibe aguas frías y subóxicas a través de las capas medias

y profundas durante las condiciones de viento favorables a la surgencia (Valle-Levinson *et al.* 2003; Sobarzo *et al.* 2007). El río Biobío, ubicado al noreste, representa la principal descarga de agua dulce, e impacta significativamente en su circulación, intensificando las corrientes y causando notables disminuciones de la salinidad, con una descarga media anual de $1000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, y máximos que en invierno pueden superar los $2000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Masotti *et al.* 2018; Saldías *et al.* 2012; Sobarzo *et al.* 2007; Vergara *et al.* 2023). Los altos niveles de productividad primaria presentes en el Golfo de Arauco (Daneri *et al.* 2000; Montero *et al.* 2007) son capaces de sustentar un amplio espectro de componentes de la trama trófica costera, la que además entrega diversos servicios ecosistémicos de aprovisionamiento (e.g., extracción de recursos pesqueros); regulación (e.g., zonas de desove, retención larval y crianza de especies; surgencia costera) y culturales (e.g., turismo, sitios para la conservación). Dada la complejidad de esta zona, contar con información actualizada sobre las especies que la habitan, se considera relevante como punto de contraste para la evaluación del desempeño futuro de regulaciones ambientales, como es el caso de la Norma de Secundarias de Calidad Ambiental, que será prontamente implementada en el Golfo de Arauco (<https://planesynormas.mma.gob.cl/>).

Adicionalmente, al interior del Golfo de Arauco se desarrolla una intensa actividad extractiva artesanal, que si bien está centrada en la extracción de peces pelágicos pequeños como sardina común (*Strangomera bentincki*) y anchoveta (*Engraulis ringens*), y de moluscos de fondos blandos como huepo (*Ensis macha*) y navajuela (*Tagelus dombeii*) (Cubillos *et al.* 2007; Hernández *et al.* 2011), incluye además una importante actividad extractiva de pequeña escala, orientada a la extracción de especies bentónicas de fondos duros, como el loco (*Concholepas concholepas*) y otros moluscos en las AMERB¹, cuya productividad depende en gran medida de los reclutamientos que se producen en el intermareal inferior y en el submareal somero (Castilla & Cancino 1976; Geaghan & Castilla 1988). Adicionalmente, resulta localmente importante la colecta de algas en las costas rocosas ubicadas en las cercanías de Lota, Llico y Punta Lavapié, donde se ha identificado praderas explotables de especies intermareales como la luga cuchara (*Mazzaella laminarioides*) y el luce (*Pyropia orbicularis*), además de especies del submareal, tales como la luga negra (*Sarcothalia crispata*), la chicoria de mar (*Chondracanthus chamissoi*) y el huiro flotador (*Macrocystis pyrifera*) (Hernández *et al.* 2018).

Con base en estos antecedentes, la presente contribución se orienta a caracterizar la variabilidad espacio-temporal de la composición y estructura de las comunidades del intermareal rocoso presentes en el Golfo de Arauco, Región del Biobío, con la finalidad de aportar al conocimiento científico de esta zona, entregando antecedentes que contribuirán al establecimiento de una línea de base para la futura Norma Secundaria de Calidad Ambiental del Golfo de Arauco.

METODOLOGÍA

SITIOS DE MUESTREO

El monitoreo de playas de roca se realizó en siete sitios de muestreo, distribuidos a lo largo del borde costero del Golfo de Arauco, cubriendo desde playa Maule (al norte de Coronel) hasta Punta Lavapié (Fig. 1). Los muestreos fueron efectuados en tres campañas, que representaron condiciones de primavera (oct-2021), verano (ene-2022) e invierno (ago-2022). Todos los muestreos fueron ejecutados durante la marea baja y condiciones de sicigia.

El procedimiento de muestreo implicó disponer en cada sitio tres transectos de 20 metros paralelos a la línea de costa. Cada uno de los transectos cubrió las zonas del intermareal superior, intermareal medio e inferior. En cada uno de los transectos se situaron aleatoriamente 10 cuadrantes de $0,25 \text{ m}^2$ totalizando 30 cuadrantes por cada sitio y campaña de muestreo. La metodología empleada es consistente con lo recomendado por la Red Internacional para el Intercambio de Datos e Información Oceanográfica (IODE) de la UNESCO, específicamente en el caso de los muestreos del intermareal rocoso (MBON 2019), y es comparable al método empleado por Aldea & Valdovinos (2005) para esta zona de estudio.

Todos los cuadrantes muestreados fueron georreferenciados utilizando un GPS cartográfico. Se tomaron registros fotográficos en duplicado de cada cuadrante, y se registró en una tablilla de acrílico el número de organismos móviles (gastrópodos, jaibas, etc.) mediante observación directa *in situ*. Dado que para especies sésiles como algas, cirripedios y piure, el recuento individual es complejo en terreno, se evaluó su presencia en cada unidad de muestreo en términos de cobertura porcentual. La cobertura de especies sésiles fue evaluada en gabinete, a partir de los registros fotográficos disponibles para cada cuadrante.

¹ AMERB: Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos

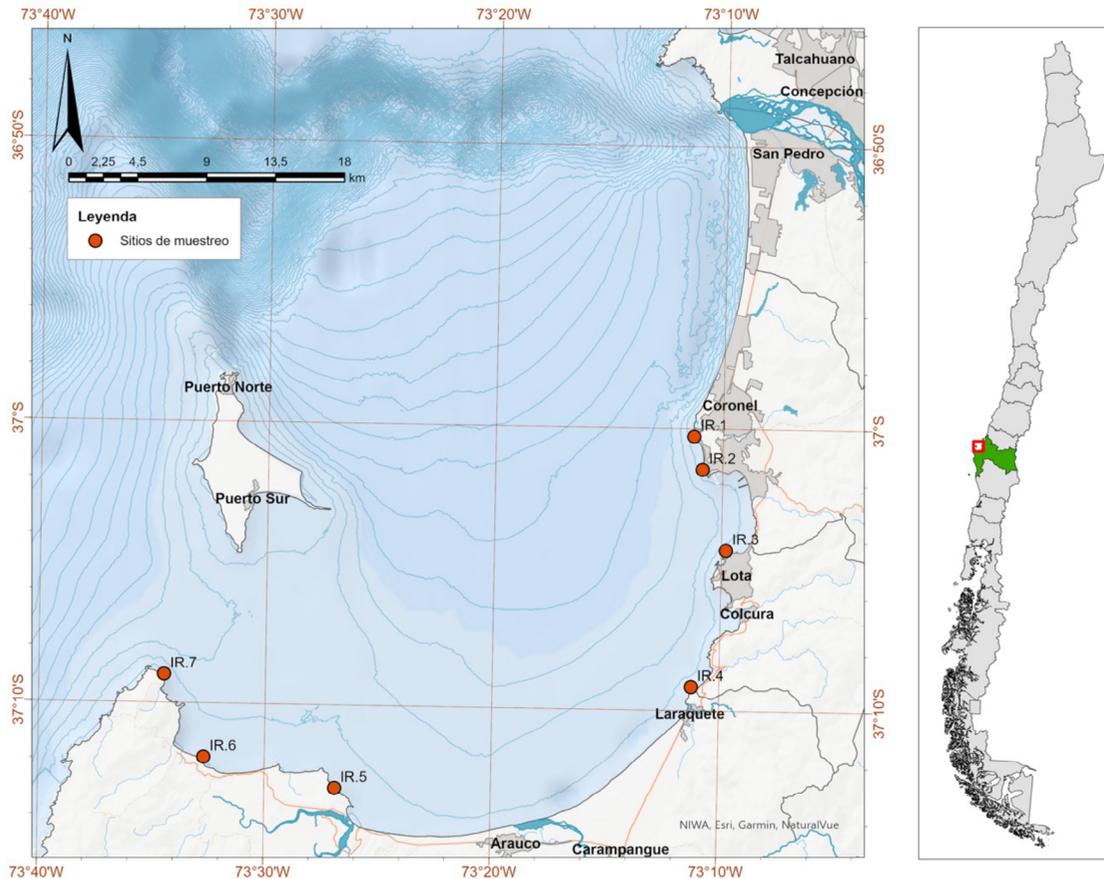


FIGURA 1. Ubicación de los sitios de muestreo de fondos duros en el Golfo de Arauco. Coordenadas en grados, Datum WGS-84. / Location of hard bottom sampling sites in the Gulf of Arauco. Coordinates in degrees, Datum WGS-84.

Cada sitio de muestreo fue caracterizado con base en una serie de atributos físicos, los que incluyeron: el tipo de ambiente, determinado con base en NOAA (2010), la pendiente (alta >30°; media 5°-30°; baja <5°); la cercanía a fuentes emisoras industriales; el tipo de uso del territorio (rural o industrial), y la exposición total y hacia el oeste. Para determinar la exposición al oleaje de los sitios de estudio, se utilizó la metodología de estimación del fetch (Baardseth 1970), medida que proporciona una cuantificación de la superficie marina sin obstáculos, sobre la que puede soplar el viento procedente de una dirección determinada. Cuanto mayor es el espacio libre (sin obstáculos geográficos) desde una dirección, más energía se transmite a la superficie del agua, lo que se traduce en una mayor exposición de la línea de costa. Para cuantificar el fetch, se consideró un conjunto de 36 radios, con espaciamentos de 10° y de una longitud de 100 km desde el centroide de cada sitio de muestreo. El índice de exposición por sitio se calculó sumando todas esas distancias y dividiéndolas por la distancia máxima esperada

(100 km). Este procedimiento se implementó utilizando el paquete *windfetch* (Seers 2022) disponible para R (<http://www.r-project.org>).

COMPOSICIÓN DE ESPECIES

La información colectada en cada campaña fue analizada con la finalidad de realizar una descripción general de los principales componentes taxonómicos detectados por campaña y sitio de muestreo. Dado que la data de entrada corresponde a información proveniente de diferentes métodos de cuantificación de especies identificadas en terreno (recuentos *in situ* para especies móviles y estimación de coberturas mediante fotografías para especies sésiles), para el análisis de datos se utilizó como dato de entrada una matriz de presencia/ausencia (ver como ejemplo, Hernández *et al.* 2021). Adicionalmente, y con la finalidad de evaluar variaciones en la diversidad funcional de las comunidades del intermareal rocoso, las especies de algas fueron clasificadas en algas verdes, rojas y café, mientras que los invertebrados

fueron clasificados de acuerdo a su hábito alimentario en filtradores, detritívoros, herbívoros, carnívoros y carroñeros.

ESTRUCTURA COMUNITARIA

Con la finalidad de cuantificar estadísticamente la existencia de patrones espacio-temporales en la composición taxonómica y funcional de los taxones detectados, se recurrió al uso de pruebas estadísticas multivariadas, utilizando Escalamiento No-Métrico Multidimensional (NMDS), técnica que permite visualizar el nivel de similitud de un conjunto de datos, traduciendo información sobre distancias a un espacio cartesiano (Mead 1992). El método busca encontrar una relación monotónica, no-lineal y no-paramétrica, entre los datos, las distancias y la ubicación de cada elemento en el espacio multidimensional resultante. Esta relación minimiza el índice llamado *stress*, métrica que representa el grado en que las distancias del espacio dimensional se corresponden con las distancias multivariadas reales en la base de datos (Clarke & Ainsworth 1993).

Para el análisis se utilizó la función *metaMDS* (Oksanen *et al.* 2022) la cual encuentra la mejor transformación de la base de datos y la distancia o medida de similitud óptima (en este caso transformación de raíz cuarta y distancia de Bray-Curtis), utilizando inicios aleatorios para la minimización del parámetro *stress*.

Para evaluar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre sitios y campañas de muestreo sobre la estructura comunitaria emergente del NMDS, se empleó Análisis de Varianza Permutacional Multivariado (PERMANOVA), de manera independiente para cada efecto (sitios y campañas), utilizando la función *adonis2* (Oksanen *et al.* 2022). La prueba permite determinar la respuesta de una o más variables o factores sobre matrices de distancias, utilizando métodos de permutación no paramétricos (Anderson 2001).

El análisis concluye con la estimación, por sitio y campaña de muestreo, de los índices comunitarios abundancia (N) y riqueza de especies (S), además de los índices ecológicos de diversidad de Shannon (H', Shannon & Weaver 1949), uniformidad de Pielou (J, Pielou 1966) y dominancia de Simpson (D, Simpson 1949), según:

$$H' = \sum p_i \log p_i$$

$$J = \frac{H}{\ln(S)}$$

$$D = \frac{\sum_{i=1}^S n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

Donde p_i es la proporción de abundancia de la especie i , S es el número total de especies, n_i número de individuos de la

especie i y N es el número de individuos totales.

Todos los análisis fueron efectuados en el ambiente de programación R (R Core Team 2023) utilizando las librerías *ggplot2* (Wickham 2016) *vegan* (Oksanen *et al.* 2022) y *ggpubr* (Kassambara 2023).

RESULTADOS

SITIOS DE MUESTREO

En general, el tipo de ambiente registrado en cada sitio muestreado (Tabla 1) corresponde a costas rocosas protegidas, caracterizadas por la presencia de un sustrato rocoso compuesto por clastos de gran tamaño y, plataformas rocosas, las que se distinguen como explanadas rocosas de baja pendiente con presencia de pozas de marea y acumulación de sedimentos en la línea de pleamar (NOAA, 2010). En la Fig. 2 se entrega un mosaico fotográfico que resume las principales características de cada sitio muestreado, observándose la presencia de ambientes de costa rocosa en IR.1, IR.2, IR.4 e IR.7, mientras que en IR.3, IR.5 e IR.6 predomina el tipo plataforma rocosa (Fig. 2, Tabla 1). En cuanto a la pendiente, los sitios caracterizados como costas rocosas poseen, en general, mayor pendiente que los sitios de plataformas, aunque en ninguno de los casos aquí analizados se observó pendientes superiores a 30°.

Un análisis de la cercanía de los sitios de muestreo a emisarios submarinos, con base en antecedentes aportados por la Subsecretaría del Medio Ambiente y la Subsecretaría de Fuerzas Armadas, permite indicar que los sitios IR.2 e IR.3 se encuentran en áreas con mayor presencia de emisarios submarinos, con una distancia inferior a 1 km al emisario más cercano. IR.1 e IR.4 se encuentran en zonas cercanas a áreas industriales, con una distancia de 1 a 5 km del emisario más cercano, mientras que los sitios de muestreo desde IR.5 a IR.7 se encuentran en áreas alejadas de la presencia de fuentes de contaminación fijas (Tabla 1). En cuanto al tipo de uso del territorio, la mayor parte de los sitios de muestreo se ubican cerca de caletas pesqueras, salvo IR.2, que se encuentra cercana al área industrial de Coronel, donde existe una intensa actividad de plantas pesqueras y presencia de embarcaderos, además de plantas termoeléctricas que, durante las campañas de muestreo aquí analizadas, se encontraban en plena operación.

El análisis de la exposición con base en el cálculo del fetch, indica que los sitios con mayor exposición total corresponden a IR.1, IR.2, IR.7, IR.3 e IR.4, mientras que los sitios más protegidos son IR.5 e IR.6. Al considerar la exposición al océano abierto (exposición oeste), se aprecia que los sitios más expuestos corresponden a IR.1, IR.2, IR.3 e IR.4 (Tabla 1).

TABLA 1. Síntesis de las principales características físicas para cada sitio de muestreo. / Summary of main physical characteristics for each sampling site.

Sitio	Referencia	Tipo ambiente	Pendiente	Cercanía a emisarios	Tipo de uso	Exposición total	Exposición oeste
IR.1	Maule	Costas rocosas ⁽¹⁾	Alta	1 - 5 km	Rural - Caleta	32%	70%
IR.2	Punta Puchoco	Costas rocosas	Media	< 1 km	Cercana a área Industrial	26%	55%
IR.3	El Morro Lota	Plataformas rocosas ⁽²⁾	Baja	< 1 km	Rural - Caleta	23%	55%
IR.4	Chivilingo	Costas rocosas	Alta	1 - 5 km	Rural - Caleta	24%	43%
IR.5	Tubul	Plataformas rocosas	Baja	> 5 km	Rural - Caleta	16%	0%
IR.6	Llico	Plataformas rocosas	Baja	> 5 km	Rural - Caleta	14%	1%
IR.7	Punta Lavapié	Costas rocosas	Media	> 5 km	Rural - Caleta	25%	11%

(1): Costas rocosas: Ubicadas en zonas protegidas, caracterizadas por poseer un sustrato rocoso de permeabilidad variable, compuesto por clastos de gran tamaño con escasa acumulación de arenas (NOAA 2010).

(2): Plataformas rocosas: Explanada rocosa de anchura variable y baja pendiente, con superficie irregular, caracterizada por la presencia de pozas de marea. A lo largo de los promontorios, se observa acumulación de sedimentos, principalmente en la línea de pleamar (NOAA 2010).



FIGURA 2. Fotografías por sitio de muestreo. IR.1: Maule; IR.2: Punta Puchoco; IR.3: El Morro Lota; IR.4: Chivilingo; IR.5: Tubul; IR.6: Llico; IR.7: Punta Lavapié. / Photographs by sampling site. IR.1: Maule; IR.2: Punta Puchoco; IR.3: El Morro Lota; IR.4: Chivilingo; IR.5: Tubul; IR.6: Llico; IR.7: Punta Lavapié.

COMPOSICIÓN DE ESPECIES

Durante las evaluaciones efectuadas se identificó un total de 56 taxones, de los cuales 31 estuvieron presentes en las tres campañas de muestreo (Tabla 2). Los grupos con mayor representatividad de especies correspondieron a moluscos y algas rojas, con 22 y 11 especies, respectivamente. De los 56 taxones identificados, 16 fueron medidos en términos de cobertura (%) y 40 en densidad (ind/m²). De las especies medidas en cobertura, las más relevantes fueron el alga verde *Ulva lactuca*, con coberturas promedio por campaña que fluctuaron entre 4,3 % y 8 %, los balánidos (*Balanus sp.*), con coberturas que oscilaron entre 5,3 % y 7,5 %, el alga roja *Mazzaella laminarioides*, que presentó coberturas promedio entre 4,5 % y 5,1 %, y el mitílido *Perumytilus purpuratus*, que mostró coberturas promedio por campaña entre 3,3 % y 5 % (Tabla 2). Respecto a las especies medidas en densidad, las especies más abundantes correspondieron a *Tegula atra*, que presentó densidades promedio que oscilaron entre 21,5 y 34,4 ind/m², *Scurria sp.*, con densidades promedio entre 9,7 y 22,2 ind/m², *Siphonaria lessonii*, con densidades entre 7,5 y 9,8 ind/m² y *Prisogaster niger*, que mostró densidades

promedio por campaña que oscilaron entre 4,8 y 10,3 ind/m² (Tabla 2).

El análisis de la composición taxonómica por Phylum, independientemente para aquellos grupos medidos en cobertura (%) y densidad (ind/m²) revela que, en términos de cobertura, las estaciones IR.1 a IR.4 (Coronel a Laraquete) muestran los mayores promedios. Los grupos de mayor importancia para las especies medidas en cobertura corresponden a las algas rojas (Rhodophyta), algas verdes (Chlorophyta), moluscos (Mollusca) y artrópodos de la clase Cirripedia (Arthropoda), destacando la presencia de poliquetos en IR.7 (Punta Lavapié) durante las tres campañas de muestreo y en IR.5 (Tubul) durante octubre 2021 (Fig. 3).

En cuanto a los Phylum medidos en densidad, se observan altas abundancias de moluscos (principalmente gastrópodos) en todos los sitios de muestreo y durante las tres campañas analizadas, destacando además la presencia de cnidarios (actinias) en IR.2, durante octubre de 2021, y en IR.3, durante enero de 2022. Las estaciones IR.6 (Llico) e IR.7 (Punta Lavapié) presentaron un mayor predominio de moluscos durante las tres campañas (Fig. 3).

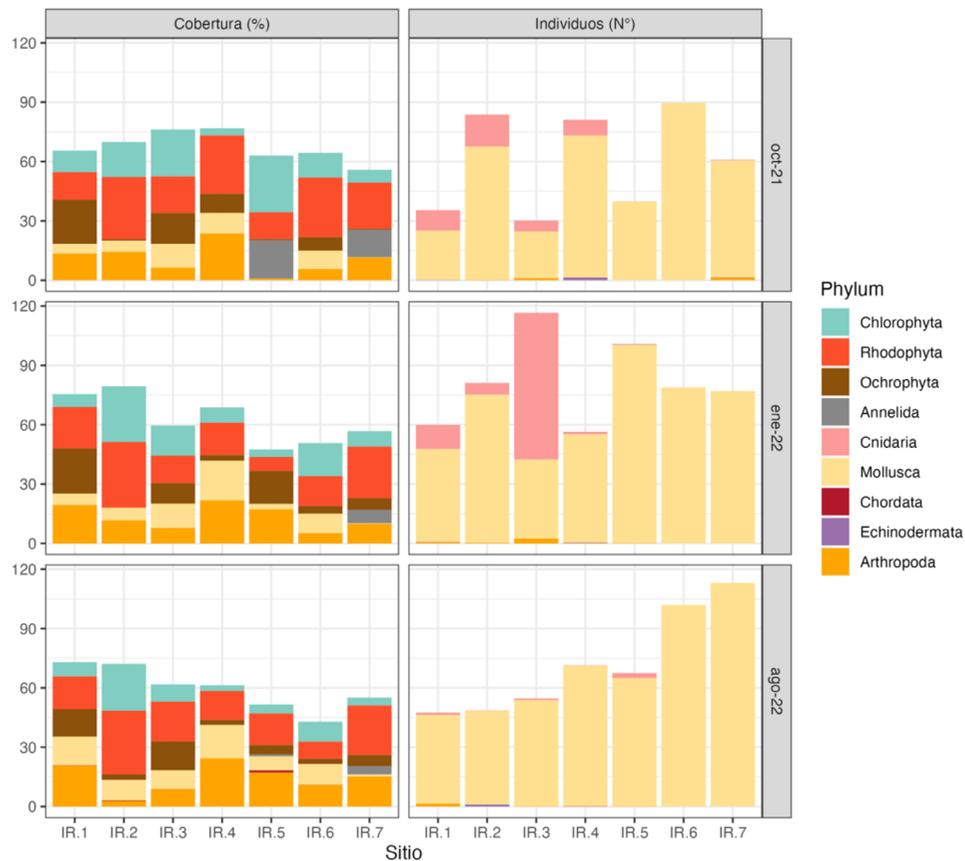


FIGURA 3. Análisis de coberturas (%) y abundancias (Número de individuos) de taxones por Phylum, sitio y campaña de muestreo. / Analysis of coverages (%) and abundances (Number of individuals) of taxa by phylum, site and sampling survey.

El análisis de la matriz de presencia/ausencia por sitio, estrato y campaña de muestreo, a nivel de Phylum (Fig. 4), permite observar que, en términos generales, se observa menor presencia de especies en la zona del intermareal superior y menor presencia en el intermareal inferior. Destaca transversalmente la mayor ocurrencia de cnidarios, equinodermos y anélidos (poliquetos) en los estratos inferior y medio, así como la mayor presencia de cordados (ascidias) en el estrato inferior, particularmente en agosto 2022. En cuanto a los rangos de presencia, se observa una mayor variabilidad en las ocurrencias por sitio de muestreo y estrato para la campaña de enero 2022.

A nivel de sitio, IR.3 e IR.4 muestran una mayor ocurrencia de gastrópodos y algas rojas durante enero 2022 y agosto 2022 en el estrato inferior, mientras que IR.4 exhibe una mayor presencia de gastrópodos en el estrato medio durante las 3 campañas de muestreo (Fig. 4). Por otro lado, IR.5 e IR.6 muestran, en general, menor ocurrencia de especies que la observada para el resto de los sitios, particularmente en los estratos inferior y medio, mientras que IR.3 e IR.5 exhiben

niveles de presencia más bajos en el estrato superior durante las tres campañas. Temporalmente se observa un incremento notable en la ocurrencia de rodófitas en enero de 2022, particularmente en IR.3, IR.4 e IR.7 (estrato inferior) y en IR.4 (estrato medio).

ESTRUCTURA COMUNITARIA

El resultado del análisis NMDS efectuado para la matriz de presencia/ausencia, muestra la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre sitios de muestreo (PERMANOVA R²: 0.59; P<0.001). El análisis muestra, en términos generales, que las elipses, que representan la variabilidad temporal en cada sitio de muestreo, muestran una baja superposición entre ellas, sugiriendo que cada sitio posee una composición particular de especies, que tiende a diferenciarla de los demás sitios.

En términos generales, los sitios IR.1 a IR.4, ubicados entre Coronel y Laraquete (sección este del Golfo de Arauco), tienden a disponerse hacia la derecha de la ordenación, asociados a una mayor presencia de los crustáceos

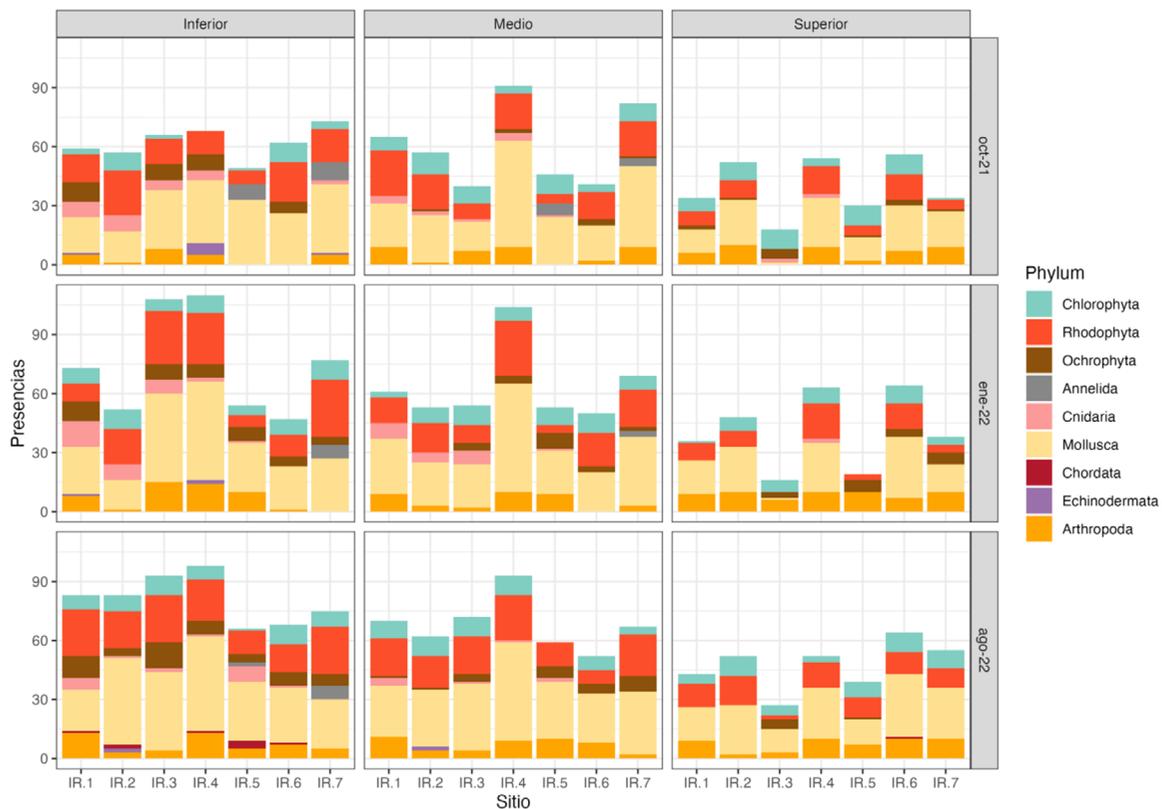


FIGURA 4. Análisis de presencias de especies agrupadas por Phylum, sitio, estrato y campaña de muestreo. / Analysis of species occurrence grouped by phylum, site, stratum and sampling survey.

Homalaspis plana (Hpla), *Austromegabalanus psittacus* (Apsi), *Acanthocyclus* sp. (Acan), el alga parda *Lessonia spicata* (Lspi), el alga verde *Codium* sp. (Codi), los gastrópodos *Fissurella crassa* (Fcra), *Fissurella costata* (Fcos), *Fissurella picta* (Fpic), *Concholepas concholepas* (Ccon), *Acanthina monodon* (Amon), los cnidarios Actiniidae (Act2), *Actinia* sp. (Acti), *Anthothoe chilensis* (Antc), el poliplacóforo *Chaetopleura peruviana* (Cper) y las algas rojas *Mazzaella membranacea* (Mmem), *Ahnfeltia* sp. (Ahnf) y *Ahnfeltiopsis* sp. (Ahn2). Por otra parte, los sitios IR.6 a IR.7, localizados en la sección sur del Golfo de Arauco, tienden a ubicarse hacia la izquierda de la ordenación asociados a una mayor presencia del mitílido *Mytilus galloprovincialis* (Mgall), los gastrópodos *Fissurella latimarginata* (Flat), *Fissurella pulchra* (Fpul), *Prisogaster niger* (Pnig), el alga roja *Sarcothalia crispata* (Scri), los poliquetos indeterminados (Poly), el poliplacóforo *Tonicia* sp. (Toni) y el crustáceo *Pilumnoides perlatus* (Pper) (Fig. 5a). Destaca IR.5 por presentar una mayor dispersión (tamaño de la elipse), y cercanía con las estaciones IR.1, IR.3 e IR.6., dada la presencia de *Fissurella crassa* (Fcra), *Fissurella costata* (Fcos), *Concholepas concholepas* (Ccon) y Actiniidae (Act2), lo que sugiere que IR.5 podría representar una transición entre las zonas este y sur del Golfo de Arauco (Fig. 1).

Al clasificar los puntajes de la ordenación por campañas de monitoreo, se aprecia que las elipses que representan las tres campañas tienden a ubicarse hacia el centro de la ordenación, con una alta superposición entre ellas, sin observarse diferencias estadísticamente significativas entre campañas (PERMANOVA $R^2=0.05$; $P=0.894$) (Fig. 5b).

Un segundo NMDS, esta vez considerando la clasificación funcional (Fig. 6), muestra que los sitios IR.1 a IR.4, se disponen hacia la izquierda de la ordenación, asociados a la presencia de filtradores (mitílidos) y carnívoros (gastrópodos, actinias, estrellas), mientras que los sitios IR.6 e IR.7 se disponen hacia la derecha, asociados a la presencia de algas pardas (IR.5 e IR.6) y especies detritívoras tales como poliquetos y crustáceos porcelánidos (IR.5 e IR.7) (Fig. 6a). Similar a lo observado en la Fig. 5b, el sitio de muestreo IR.5 presentó una mayor dispersión, no obstante, en este caso se observa una mayor diferenciación entre IR.5 con IR.1 a IR.4 y una mayor cercanía con IR.6 e IR.7. La prueba estadística arroja diferencias significativas entre sitios de muestreo (PERMANOVA $R^2=0.58$, $P<0.001$) (Fig. 6a), con un patrón caracterizado por la diferenciación entre los sitios de muestreo ubicados en la zona comprendida entre Coronel y Laraquete (zona este del golfo) y los sitios ubicados entre Tubul y Punta Lavapié (zona sur del golfo).

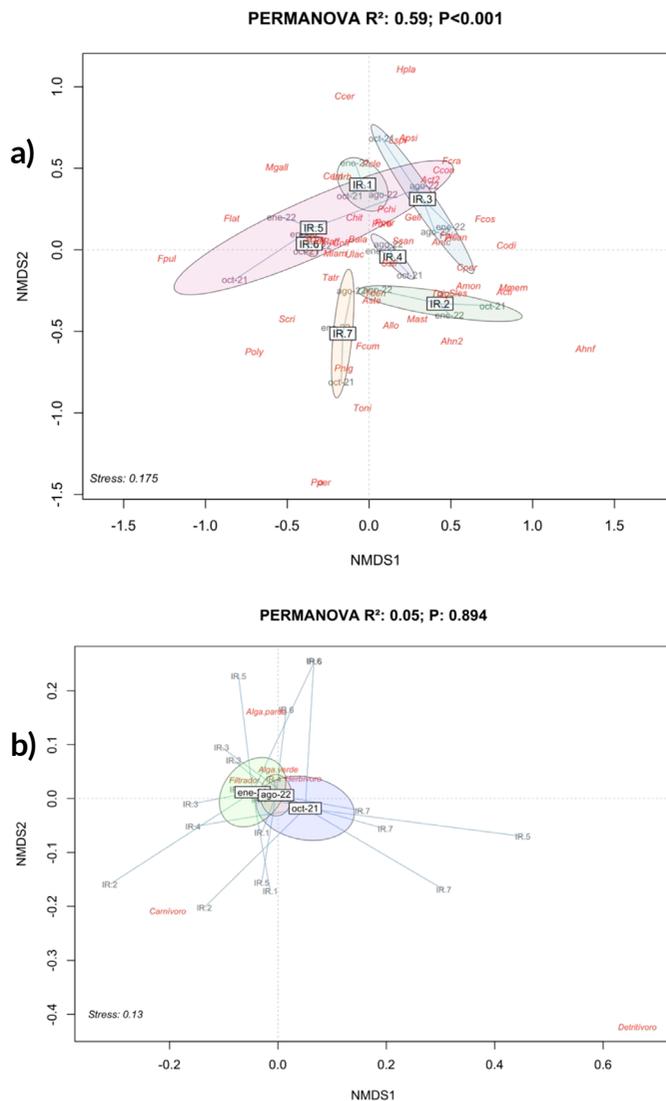


FIGURA 5. Resultado del Escalamiento No Métrico Multidimensional (NMDS) para el total de taxa registrados por campaña de muestreo. Los puntajes corresponden a los sitios de muestreo y las letras en rojo corresponden a las siglas de las especies (ver Tabla 1). a) puntajes agrupados sitio de muestreo; b) puntajes agrupados por campaña de muestreo. Sobre cada representación se entrega el resultado del PERMANOVA para la determinación de la significancia de las clasificaciones sitio de muestreo (a) y campaña de muestreo (b). / Results of the Non-Metric Multidimensional Scaling (NMDS) for the total of taxa recorded by sampling survey. Scores correspond to the sampling sites and letters in red are the species acronyms (see Table 1). a) scores grouped by sampling site; b) scores grouped by sampling survey. PERMANOVA results for the significance of the classifications sampling site (a) and sampling survey (b) are given for each representation.

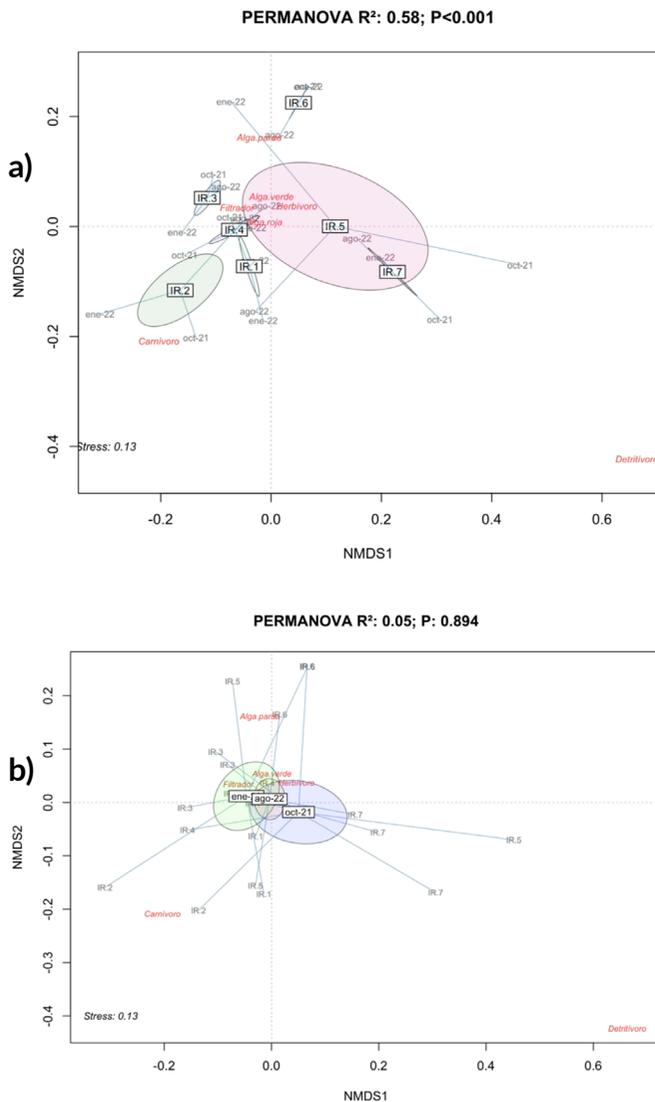


FIGURA 6. Resultado del Escalamiento No Métrico Multidimensional (NMDS) por grupos funcionales y campaña de muestreo. Los puntajes corresponden a los sitios de muestreo y las letras en rojo corresponden a los grupos funcionales (ver Tabla 1). a) puntajes agrupados sitio de muestreo; b) puntajes agrupados por campaña de muestreo. Sobre cada representación se entrega el resultado del PERMANOVA para la determinación de la significancia de las clasificaciones sitio de muestreo (a) y campaña de muestreo (b). / Results of the Non-Metric Multidimensional Scaling (NMDS) by functional groups and sampling survey. Scores correspond to the sampling sites and letters in red correspond to the functional groups (see Table 1). a) scores grouped by sampling site; b) scores grouped by sampling survey. PERMANOVA results for the significance of the classifications sampling site (a) and sampling survey (b) are given for each representation.

Al clasificar los puntajes de esta segunda ordenación por campañas de monitoreo, se observa que las elipses asociadas a las campañas tienden a ubicarse hacia el centro de la ordenación, con una alta superposición, sin mostrar diferencias estadísticamente significativas entre sí (PERMANOVA R²=0.05, P=0.894) (Fig. 6b).

El resultado de la estimación de los índices comunitarios por sitio de muestreo, permite observar que, en el caso de la abundancia total (N), se detecta un máximo en IR.4 (Laraquete), con un descenso en IR.5 y una tendencia levemente ascendente hasta IR.7, lo que arroja diferencias estadísticamente significativas (Anova, p<0,05) (Fig. 7). La riqueza de especies (S) muestra niveles superiores a 20 taxones como promedio entre IR.1 e IR.4, con máximos en IR.3 (Lota) e IR.4 (Laraquete). Los sitios IR.5 e IR.6 muestran riquezas de especies promedio inferiores a 18 taxones, mientras que IR.7 muestra riquezas comparables a las observadas en IR.1 e IR.2, patrón que genera diferencias estadísticamente significativas (Anova, p<0,05). La diversidad de Shannon-Weaver (H) exhibe una tendencia similar a la observada para la riqueza (S), con IR.3 e IR.4 mostrando los mayores niveles de diversidad y con IR.5 e IR.6 mostrando las diversidades más bajas. El resto de los sitios presentó niveles de diversidad que oscilaron entre 2,6 y 2,8, implicando diferencias estadísticamente significativas entre sitios (Anova, p<0,05). La Uniformidad (J) mostró igualmente que en IR.3 e IR.4 es donde se alcanzó los mayores niveles, mientras que en IR.5 e IR.6 se observó los niveles más bajos, sin mostrar en este caso, diferenciación significativa entre sitios (Anova, p>0,05). Finalmente, para la Dominancia (L), los niveles más bajos se observaron en IR.3 e IR.4, y secundariamente en IR.1, IR.6 e IR.7, patrón que arrojó diferencias estadísticamente significativas (Anova, p<0,05).

El análisis de los índices comunitarios clasificados por campaña de muestreo, permite observar que, a diferencia de lo observado entre sitios, para ninguno de los índices se produjo diferencias estadísticamente significativas entre campañas (Anova, p>0,05) (Fig. 8). En todos los casos se observa una mayor variabilidad asociada a los promedios por campaña, que la observada en el caso de los promedios por sitio de muestreo.

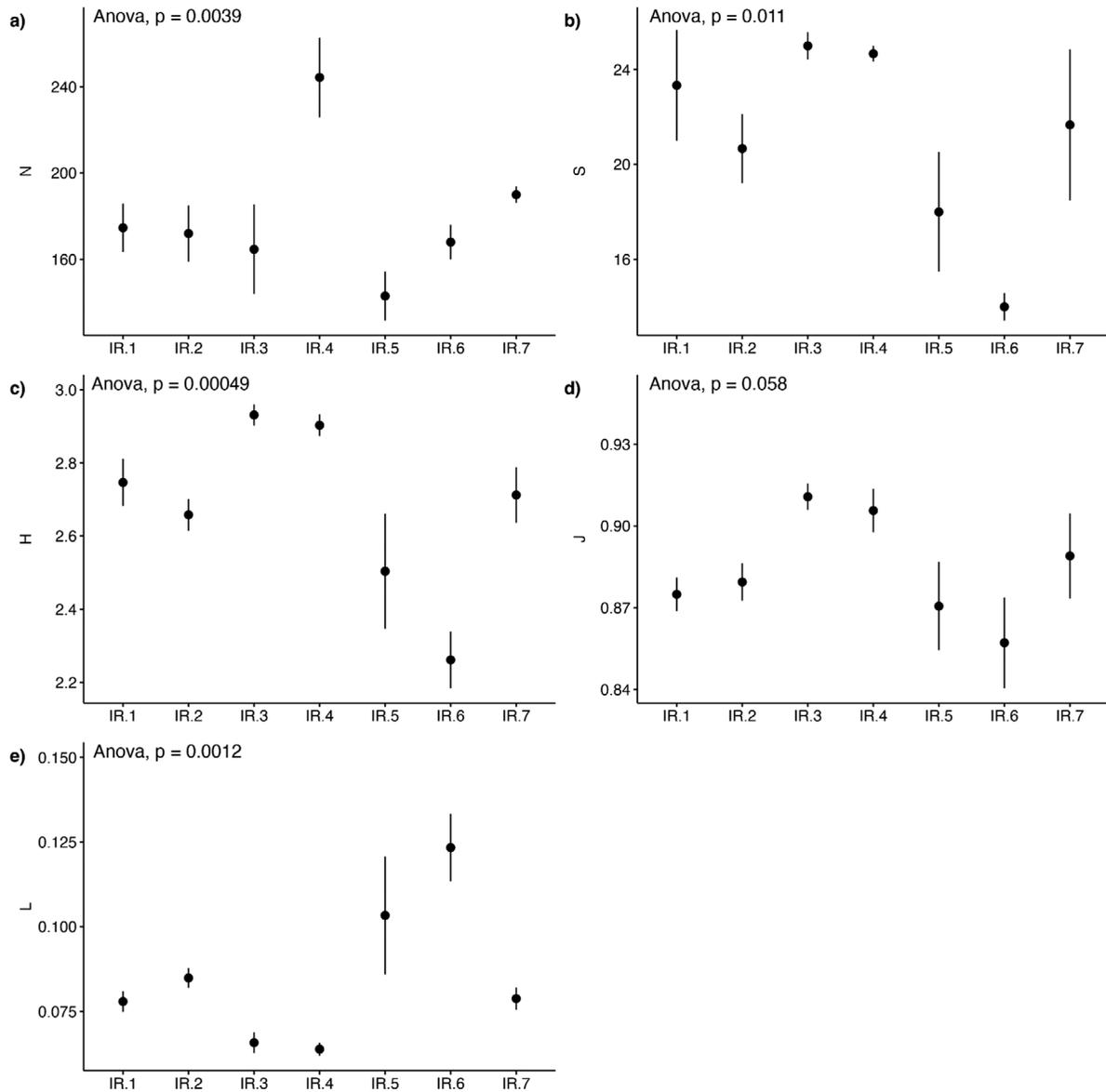


FIGURA 7. Índices comunitarios por sitio de muestreo. Sobre cada representación se indica la existencia de diferencias significativas entre sitios mediante prueba ANOVA. / Community indices by sampling site. For each representation, ANOVA test indicates significant differences between sites.

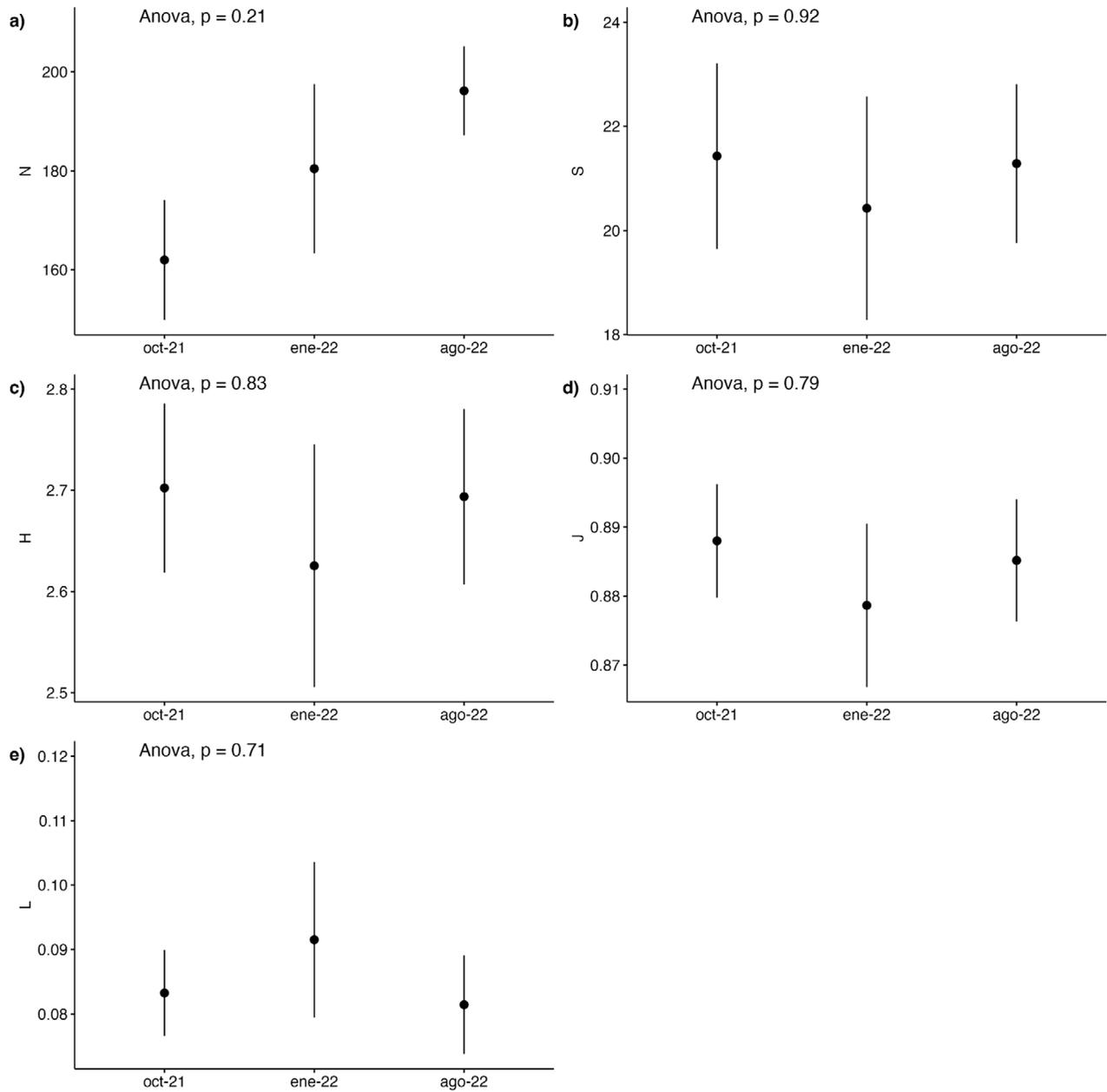


FIGURA 8. Índices comunitarios por campaña de muestreo. Sobre cada representación se indica la existencia de diferencias significativas entre campañas mediante prueba ANOVA. / Community indices by sampling survey. For each representation, ANOVA test indicates significant differences between sampling surveys.

DISCUSIÓN

El intermareal rocoso es uno de los ecosistemas más estudiados a escala global (Menge 1976; Benedetti-Cecchi & Trussell 2013) y en ellos se han efectuado una serie de investigaciones experimentales orientadas a comprender la importancia de los factores bióticos y abióticos sobre la distribución de especies bajo diferentes condiciones ambientales (e.g., Connell 1961; Paine 1966; Lubchenco 1978; Menge & Sutherland 1987). Dentro de los factores abióticos, la exposición al oleaje (Menge & Branch 2001), la disponibilidad de nutrientes (Underwood 2000), la desecación (Raffaelli & Hawkins 1996) y el efecto de la temperatura y luz (Connell 1972) han sido descritos como clave en la estructuración de comunidades. Dentro de los factores bióticos, destaca el rol de las interacciones depredador-presa (Paine 1966), la competencia (Connell 1961) y las sucesiones ecológicas (Bertness & Callaway 1994) como mecanismos capaces de explicar la estructura comunitaria de playas de roca. No obstante, no sólo las variables físicas y los mecanismos ecológicos son relevantes a la hora de explicar la estructura de estas comunidades, los efectos del cambio climático global (Doney *et al.* 2012) y la presencia de fuentes antrópicas contaminantes (Thompson *et al.* 2002) son también relevantes como estructuradoras de los ensamblajes comunitarios del intermareal rocoso.

En Chile, las investigaciones efectuadas en el intermareal rocoso, se han orientado principalmente a analizar el rol de los diferentes procesos oceanográficos que ocurren a lo largo de la zona costera sobre su estructura comunitaria (Camus 2001; Broitman *et al.* 2001; Navarrete *et al.* 2005; Tapia *et al.* 2009, 2014), determinando patrones espaciales latitudinales que poseen implicancias sobre la ecología de las comunidades (Broitman *et al.* 2011; Wieters *et al.* 2003; Haye *et al.* 2014), especialmente en cuanto a la distribución de especies y su relación con la estructura espacial de las condiciones oceanográficas a lo largo de Sistema de Corrientes de Humboldt (Thiel *et al.* 2007; Rivadeneira *et al.* 2012; Tapia *et al.* 2014).

Nuestros resultados permiten establecer que la composición de especies en los sitios analizados se caracterizó por una alta cobertura de algas como *Ulva lactuca* y *Mazzaella laminarioides*, además de *Ralfsia* sp., *Pyropia orbicularis* y *Mastocarpus* sp., con presencia de *Lessonia spicata* en el intermareal bajo. En cuanto a los filtradores, *Balanus* sp. y *Perumytilus purpuratus* fueron las especies que mostraron mayores ocurrencias, destacando además la presencia de *Mytilus galloprovincialis*, en los sitios de muestreo ubicados hacia el sur del golfo, y especialmente durante las campañas de octubre 2021 y enero 2022. Los

herbívoros con mayor presencia fueron *Scurria* sp., *Tegula atra*, *Chiton* sp., *Siphonaria lessonii* y *Prisogaster niger*, mientras que los carnívoros que mostraron mayores ocurrencias fueron el gastrópodo *Acanthina monodon* y las actinias *Phymactis clematis* y *Anthothoe chilensis*, en tanto que los detritívoros estuvieron representados principalmente por poliquetos indeterminados (Polychaeta) (Tabla 2). Estos últimos, concentrados principalmente en los sitios de muestreo ubicados al sur del golfo (IR.5 e IR.7).

Estos hallazgos concuerdan con los resultados de Aldea & Valdovinos (2005), quienes señalan que los gastrópodos y bivalvos constituyen grupos dominantes para esta zona, destacando las especies *Crepidula dilatata*, *Siphonaria lessonii* y *Perumytilus purpuratus*, que tuvieron un 100% de ocurrencia en los sitios evaluados, distinguiéndose además *Acanthina crassilabrum*, *Acanthina monodon*, *Concholepas concholepas*, *Scurria ceciliana*, *Scurria araucana*, *Nodilittorina araucana*, *Prisogaster niger*, *Fissurella costata*, *Tegula atra* y *Chiton granosus* como especies que mostraron una alta frecuencia de ocurrencia (> 86 %).

En términos de la estructura comunitaria, nuestros resultados mostraron un patrón caracterizado por diferencias espaciales, con baja diferenciación entre campañas de muestreo, sin observarse divergencias temporales significativas entre campañas para la composición de especies ni para los índices de biodiversidad analizados. El patrón espacial que emerge del análisis, mostró una mayor semejanza en cuanto a la composición de especies para los sitios de muestreo ubicados en la sección este del golfo (IR.1 a IR.4) los que también mostraron una mayor riqueza y diversidad (Figs. 5a y 7). Por otro lado, los sitios de muestreo ubicados en la sección suroeste del golfo (IR.6 e IR.7) mostraron una mayor variabilidad en cuanto a los índices de riqueza y diversidad de especies, con niveles promedio inferiores a los observados en los sitios IR.1 a IR.4. Adicionalmente, el sitio IR.5 mostró alta variabilidad en cuanto a la composición de especies, con niveles de riqueza y diversidad menores que los observados en la sección este del golfo. Los sitios IR.1 a IR.4 mostraron, en general, una mayor presencia de las algas *Lessonia spicata*, *Mazzaella membranacea*, *Ahnfeltia* sp. y *Ahnfeltiopsis*, además de los crustáceos *Homalaspis plana*, *Austromegabalanus psittacus*, *Acanthocycclus* sp., de los gastrópodos *Fissurella crassa*, *Fissurella costata*, *Fissurella picta*, *Concholepas concholepas*, *Acanthina monodon* y de los cnidarios *Actinia* sp. y *Anthothoe chilensis*. Por otra parte, los sitios IR.6 a IR.7, mostraron una mayor presencia del alga roja *Sarcothalia crispata* y de los moluscos *Mytilus galloprovincialis*, *Fissurella latimarginata*, *Fissurella pulchra*, *Prisogaster niger*, además de poliquetos (Fig. 5a). La mayor dispersión observada en IR.5

está asociada con la presencia de *Fissurella crassa*, *Fissurella costata*, *Concholepas concholepas* y Actiniidae durante la campaña de agosto 2022, y con la presencia de *Mytilus galloprovincialis*, *Fissurella latimarginata* y *Fissurella puchra* durante octubre 2021, lo que sugiere que este sitio podría representar un área de transición entre las zonas este y sur del Golfo de Arauco (Fig. 1).

En cuanto a los factores físicos que pueden explicar este patrón espacial, probablemente la exposición al oleaje, especialmente el oleaje desde el océano abierto (exposición al oeste en Tabla 1) es la variable que mejor se relaciona con la diferenciación observada en la composición de especies. En efecto, los sitios IR.1 a IR.4 mostraron niveles de exposición al oeste que oscilaron entre 43 % y 70 %, mientras que los sitios IR.5 a IR.7 alcanzaron niveles de exposición al oeste

entre 0 y 11 %. Destaca además la relación que existe entre la riqueza y diversidad de especies con la exposición total (Fig. 7 y Tabla 1). Los mayores niveles de riqueza y diversidad de especies ocurrieron en los sitios de muestreo IR.1, IR.2, IR.3, IR.4 e IR.7, coincidiendo con las zonas que poseen niveles de exposición total superiores al 20 %. El oleaje determina la fuerza con la que las olas impactan la costa, lo que a su vez influye en la desecación, la tasa de renovación de nutrientes y la dispersión de las especies (Kilar & McLachlan 1989; Menge & Branch 2001). Los efectos del oleaje y de la erosión producida por los sedimentos transportados generan perturbaciones que poseen efectos importantes sobre la distribución y abundancia de las especies intermareales, especialmente las sésiles (Dayton 1971).

TABLA 2. Número de cuadrantes con presencia de cada taxa identificado por campaña de muestreo. / Number of quadrats with presence of each identified taxa by sampling survey.

Phylum	Clase	Familia	Taxa	Sigla	UM	Hábito	Campaña		
							oct-21	ene-22	jul-22
Chlorophyta	Ulvophyceae	Codiceae	<i>Codium sp.</i>	Codi	%	Alga verde	2		1
		Ulvaceae	<i>Ulva lactuca</i>	Ulac	%	Alga verde	132	145	148
Ochrophyta	Laminariales	Lessoniaceae	<i>Lessonia spicata</i>	Lspi	%	Alga parda	18	16	18
	Phaeophyceae	Ralfsiaceae	<i>Ralfsia sp.</i>	Ralf	%	Alga parda	34	65	65
Rhodophyta	Bangiophyceae	Bangiaceae	<i>Pyropia orbicularis</i>	Porb	%	Alga roja	37	22	62
	Florideophyceae	Ahnfeltiaceae	<i>Ahnfeltia sp.</i>	Ahnf	%	Alga roja	9		
		Ceramiales	Ceramiales n.d.						
		Ceramiaceae	<i>Centroceras sp.</i>	Cent	%	Alga roja	13	12	4
		Corallinales	Corallinales n.d.						
		Corallinaceae	<i>Corallina officinalis</i>	Coff	%	Alga roja	31	24	42
		Gelidiales	Gelidiales n.d.						
		Gelidiaceae	<i>Gelidium sp.</i>	Geli	%	Alga roja	23	33	42
		Gigartinales	Gigartinales n.d.						
		Gigartiniaceae	<i>Mazzaella laminarioides</i>	Mlam	%	Alga roja	79	94	113
	<i>Mazzaella membranacea</i>	Mmem	%	Alga roja	13	13	3		
	<i>Sarcothalia crispata</i>	Scri	%	Alga roja	16	18	1		
	Phylloporaceae	<i>Ahnfeltiopsis sp.</i>	Ahn2	%	Alga roja	5	19		
		<i>Asterfilopsis sp.</i>	Aste	%	Alga roja	3	4	14	
		<i>Mastocarpus sp.</i>	Mast	%	Alga roja	34	47	37	
Annelida	Polychaeta	Polychaeta n.d.	Polychaeta n.d.	Poly	%	Detritívoro	27	10	9
Cnidaria	Anthozoa	Actiniidae	<i>Actinia sp.</i>	Acti	ind	Carnívoro	11		
			Actiniidae n.d.	Act2	ind	Carnívoro		4	27
			<i>Phymactis clematis</i>	Pcle	ind	Carnívoro	19	20	
		Sagartiidae	<i>Anthothoe chilensis</i>	Antc	ind	Carnívoro	14	30	
Mollusca	Bivalvia	Mytilidae	<i>Aulacomya atra</i>	Aatr	ind	Filtrador	2		
			<i>Mytilus galloprovincialis</i>	Mgall	ind	Filtrador	10	1	
			<i>Perumytilus purpuratus</i>	Ppur	%	Filtrador	55	77	109

Phylum	Clase	Familia	Taxa	Sigla	UM	Hábito	Campaña		
							oct-21	ene-22	jul-22
Gastropoda		Calyptraeidae	<i>Crepidatella dilatata</i>	Cdil	ind	Herbívoro	45	14	19
		Discodorididae	<i>Anisodoris punctuolata</i>	Anis	ind	Carnívoro	1		
		Fissurellidae	<i>Fissurella costata</i>	Fcos	ind	Herbívoro			1
			<i>Fissurella crassa</i>	Fcra	ind	Herbívoro			8
			<i>Fissurella cumingi</i>	Fcum	ind	Herbívoro	20	18	9
			<i>Fissurella latimarginata</i>	Flat	ind	Herbívoro	5	7	1
			<i>Fissurella picta</i>	Fpic	ind	Herbívoro	1	2	9
			<i>Fissurella pulchra</i>	Fpul	ind	Herbívoro	5	3	
		Littorinidae	<i>Austrolittorina araucana</i>	Aara	ind	Herbívoro	8	3	
		Lottiidae	<i>Lottia orbigny</i>	Lorb	ind	Herbívoro	2	5	5
			<i>Scurria sp.</i>	Scur	ind	Herbívoro	90	127	121
		Muricidae	<i>Acanthina monodon</i>	Amon	ind	Carnívoro	35	48	44
			<i>Concholepas concholepas</i>	Ccon	ind	Carnívoro		1	2
		Siphonariidae	<i>Siphonaria lessonii</i>	Sles	ind	Herbívoro	30	41	55
		Tegulidae	<i>Tegula atra</i>	Tatr	ind	Herbívoro	103	91	114
		Polyplacophora		Turbinidae	<i>Prisogaster niger</i>	Pnig	ind	Herbívoro	30
Chaetopleuridae	<i>Chaetopleura peruviana</i>			Cper	ind	Herbívoro		5	5
Chitonidae	<i>Chiton sp.</i>			Chit	ind	Herbívoro	53	70	73
	<i>Tonica sp.</i>			Toni	ind	Herbívoro	7		1
Chordata	Actinopterygii	Gobiesocidae	<i>Sicyases sanguineus</i>	Ssan	ind	Carnívoro			1
	Ascidiacea	Pyuridae	<i>Pyura chilensis</i>	Pchi	%	Filtrador			9
Echinodermata	Asteroidea	Asterinidae	<i>Patiria chilensis</i>	Pati	ind	Carnívoro	2		
			<i>Stichaster striatus</i>	Ssti	ind	Carnívoro	4	3	4
	Echinoidea	Arbaciidae	<i>Tetrapygus niger</i>	Tnig	ind	Herbívoro	1		
	Holothuroidea	Cucumariidae	<i>Athyonidium chilensis</i>	Achi	ind	Detritívoro	1		
Arthropoda	Crustacea	Balanidae	<i>Austromegabalanus psittacus</i>	Apsi	%	Filtrador	9	12	6
			<i>Balanus sp.</i>	Bala	%	Filtrador	83	122	137
		Bellidae	<i>Acanthocyclus sp.</i>	Acan	ind	Carnívoro	1	5	3
		Epialtidae	<i>Talipeus dentatus</i>	Tden	ind	Herbívoro	3	5	1
		Pilumnoididae	<i>Pilumnoides perlatus</i>	Pper	ind	Carroñero	1		
		Platyxanthidae	<i>Homalaspis plana</i>	Hpla	ind	Carroñero	3		1
		Porcellanidae	<i>Allopetrolisthes sp.</i>	Allo	ind	Detritívoro	4	1	1
Varunidae	<i>Cyclograpsus cinereus</i>	Ccer	ind	Detritívoro		2			

Otros factores analizados, como la pendiente y el tipo de ambiente intermareal (Tabla 1, Fig. 1), parecen no explicar los resultados de los análisis aquí presentados. En términos generales, los sitios de playas de roca (IR.3, IR.5 e IR.6) exhibieron una mezcla importante en cuanto a la composición de especies con los sitios IR.1 e IR.4, ubicados al centro de la ordenación en la Fig. 5a. La cercanía a emisarios submarinos y el tipo de uso del sitio tampoco mostró una relación consistente con la composición de especies. En este caso, es interesante notar que el sitio más cercano a la zona de Coronel (IR.2), no parece verse afectado en cuanto a su composición de especies por la intensa actividad industrial desarrollada en esta zona, mostrando una composición de especies cercana a la observada en IR.4 (Playa Chivilingo, al norte de Laraquete) y niveles de riqueza y diversidad de especies que se encuentran dentro del rango medio entre los sitios analizados (Figs. 5a y 7). Al respecto, Salamanca *et al.* (2024) señalan que las concentraciones de nutrientes, metales y compuestos orgánicos analizadas en las aguas del Golfo de Arauco, para los mismos periodos aquí evaluados, obedecen a variaciones temporales (entre campañas de muestreo) y entre los estratos de superficie y fondo, sin observarse diferencias espaciales que puedan dar indicios de un efecto localizado asociado a la operación industrial desarrollada en Bahía de Coronel, con concentraciones que, en general, no representarían un riesgo ambiental.

En síntesis, nuestros resultados ponen en evidencia la existencia de un patrón espacial consistente en la estructura de las comunidades macrobentónicas en las playas de roca del Golfo de Arauco, existiendo una mayor riqueza y diversidad de especies en la zona ubicada entre Coronel y Laraquete, lo que es explicado por el efecto de la exposición de la línea de costa al estrés del viento y oleaje, como principal factor. Nuevos estudios que puedan ser efectuados en el contexto de la futura Norma Secundaria de Calidad Ambiental del Golfo de Arauco, permitirán evaluar si las tendencias aquí descritas se mantienen en el tiempo o pueden variar producto de efectos locales o de mayor escala.

CONCLUSIONES

Durante los meses de octubre 2021, enero 2022 y julio 2022 se monitorearon 7 sitios del intermareal rocoso dentro del Golfo de Arauco, en los cuales se registró la presencia de 56 taxones, de los cuales 31 estuvieron presentes en las 3 campañas de muestreo. Los grupos con mayor representatividad de especies correspondieron a moluscos y algas rojas, con 22 y 11 especies respectivamente.

El resultado del análisis de la estructura comunitaria,

revela que los sitios de muestreo IR.1 a IR.4, ubicados entre las localidades de Coronel y Laraquete, tienden a diferenciarse significativamente, en términos de composición de especies, riqueza y diversidad, de los sitios IR.6 (Llico) e IR.7 (Punta Lavapié), observándose que el sitio de muestreo IR.5 (Tubul) presentó un comportamiento intermedio entre ambos grupos de estaciones.

El patrón espacial observado, se explicaría principalmente por el efecto de la exposición de la costa al océano abierto, sin observarse una respuesta a la actividad industrial como factor explicativo de la distribución de especies, para los sitios y periodo de estudio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este artículo agradecen al Proyecto Red de Monitoreo Ambiental de Ecosistemas Marinos del Golfo de Arauco, financiado por el Ministerio del Medio Ambiente. Además, a los profesionales científico-técnicos que participaron de las actividades de terreno y a la tripulación de la L/C Kay-Kay II, del Departamento de Oceanografía de la Universidad de Concepción. Agradecemos también la revisión anónima realizada a nuestro manuscrito, cuyos comentarios y sugerencias permitieron generar una versión mejorada del artículo. Eduardo Hernández-Miranda fue financiado parcialmente por INCAR-FONDAP-1522A0004-1523A0007.

REFERENCIAS

- Aguilera, M.A., Broitman, B.R., Vásquez, J.A., Camus, P.A. 2019. Consumer-Resource Interactions on an Environmental Mosaic. In: *Interactions in the Marine Benthos*, pp. 307-332. <https://doi.org/10.1017/9781108235792.013>
- Aldea, C., Valdovinos, C. 2005. Moluscos del intermareal rocoso del Centro-Sur de Chile (36° - 38°S): Taxonomía y clave de identificación. *Gayana* 69(2): 364-396 <https://doi.org/10.4067/s0717-65382005000200014>
- Baardseth, E. 1970. A square-scanning, two stage sampling method of estimating seaweed quantities. In: Gordon-Young, E., McLachlan, J.L. (Eds) *Proceedings of the Fifth International Seaweed Symposium*, Halifax. 1-40 pp. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-011841-3.50020-3>
- Branch, G.M. 2001. Rocky Shores. *Encyclopedia of Ocean Sciences*: 2427-2434. <https://doi.org/10.1006/rwos.2001.0086>
- Broitman, B., Navarrete, S.A., Smith, F., Gaines, S. 2001. Geographic variation of southeastern Pacific intertidal communities. *Marine Ecology Progress Series* 224: 21-

34. <https://doi.org/10.3354/meps224021>
- Broitman, B. R., Véliz, F., Manzur, T., Wieters, E., Finke, R., Fornes, P.A., Valdivia, N., Navarrete, S. 2011. Geographic variation in diversity of wave exposed rocky intertidal communities along central Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 84: 143-154. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2011000100011>
- Benedetti-Cecchi, L., Trussell, G.C. 2014. Intertidal rocky shores. In: Bertness, M.D., Bruno, J.F., Silliman, B.R., Stachowicz, J.J. (Eds.) *Marine community ecology and conservation: 203-225*. Sinauer Associates, Sunderland.
- Bertness, M.D., Callaway, R. 1994. Positive interactions in communities. *Trends in Ecology & Evolution* 9(5): 191-193. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(94\)90088-4](https://doi.org/10.1016/0169-5347(94)90088-4)
- Camus, P.A. 2001. Biogeografía marina de Chile continental. *Revista Chilena de Historia Natural* 74: 587-617. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2001000300008>
- Castilla, J.C. 1999. Coastal marine communities: trends and perspectives from human-exclusion experiments. *Trends in Ecology and Evolution* 14: 280-283. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(99\)01602-X](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(99)01602-X)
- Castilla, J.C., Bustamante, R.H. 1989. Human exclusion from rocky intertidal of Las Cruces, central Chile: Effects on *Durvillaea antarctica* (Phaeophyta, Durvilleales). *Marine Ecology Progress Series* 50: 203-214. <https://doi.org/10.2307/3565575>
- Chappuis, E., Terradas, M., Cefali, M.E., Mariani, S., Ballesteros, E. 2014. Vertical zonation is the main distribution pattern of littoral assemblages on rocky shores at a regional scale. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 14: 113-122. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2014.05.031>
- Connell, J.H. 1961. The influence of interspecific competition and other factors on the distribution of the barnacle *Chthamalus stellatus*. *Ecology* 42(4): 710-723. <https://doi.org/10.2307/1933500>
- Connell, J.H. 1972. Community interactions on marine rocky intertidal shores. *Annual Review of Ecology and Systematics* 3(1): 169-192. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.03.110172.001125>
- Cubillos, L.A., Ruiz, P., Claramunt, G., Gacitúa, S., Núñez, S., Castro, L.R., Riquelme, K., Alarcón, C., Oyarzún, C., Sepúlveda, A. 2007. Spawning, daily egg production, and spawning stock biomass estimation for common sardine (*Strangomera bentincki*) and anchovy (*Engraulis ringens*) off central southern Chile in 2002. *Fisheries Research* 86(2-3): 228-240. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2007.06.007>
- Daneri, G., Dellarosa, V., Quiñones, R., Jacob, B., Montero, P., Ulloa, O. 2000. Primary production and community respiration in the Humboldt Current System off Chile and associated oceanic areas. *Marine Ecology Progress Series* 197: 41-49. <https://doi.org/10.3354/meps197041>
- Doney, S.C., Ruckelshaus, M., Emmett Duffy, J., Barry, J.P., Chan, F., English, C.A., Galindo, H.M., Grebmeier, J.M., Hollowed, A.B., Knowlton, N., Polovina, J., Rabalais, N.N., Sydeman, W.J., Talley, L.D. 2012. Climate Change Impacts on Marine Ecosystems. *Annual Review of Marine Science* 4(1): 11-37. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-041911-111611>
- Djurfeldt, L. 1989. Circulation and mixing in a coastal upwelling embayment, Gulf of Arauco, Chile. *Continental Shelf Research* 9: 1003-1016. [https://doi.org/10.1016/0278-4343\(89\)90004-6](https://doi.org/10.1016/0278-4343(89)90004-6)
- Haye, P.A., Segovia, N.I., Muñoz-Herrera, N.C., Gálvez, F.C., Martínez, A., Meynard, A., Pardo-Gandarillas, M.C., Poulin, E., Faugeton, S. 2014. Phylogeographic structure in benthic marine invertebrates of the southeast pacific coast of Chile with differing dispersal potential. *PLoS ONE* 9(2): e88613. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088613>
- Hernández, A., Cubillos, L., Quiñones, R. 2011. Evaluación talla estructurada de los stocks de *Ensis macha* y *Tagelus dombeii* en el Golfo de Arauco, Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 46: 157-176. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572011000200006>
- Hernández, A., Vergara, J., Leal, C.P., Romo, H., Werlinger, C., Ávila, M., Castillo, M. 2018. Prospección de praderas de algas de interés comercial y factibilidad de repoblamiento en AMERB en la Provincia de Arauco, Región del Biobío. CUI 2016-42-FAP-7. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Chile. 293 pp + Anexos.
- Hernández, A., Tapia, F.J., Saldías, G.S., Quiñones, R.A. 2021. Coastal geomorphology and oceanographic features shape subtidal benthic communities in management areas of central Chile. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 31: 1-13. <https://doi.org/10.1002/aqc.3415>
- Kilar, J.A., Mclachlan, J. 1989. Effects of wave exposure on the community structure of a plant-dominated, fringing-reef platform: Intermediate disturbance and disturbance-mediated competition. *Marine Ecology Progress Series* 54: 265-276. <https://doi.org/10.3354/MEPS054265>
- Lubchenco, J., Menge, B.A. 1978. Community Development and Persistence in a Low Rocky Intertidal Zone. *Ecological Monographs* 59: 67-94. <https://doi.org/10.2307/2937360>
- Masotti, I., Aparicio-Rizzo, P., Yevenes, M.A., Garreaud, R., Belmar, L., Farías, L. 2018. The Influence of River Discharge on Nutrient Export and Phytoplankton Biomass Off the Central Chile Coast (33°-37°S): Seasonal Cycle and Interannual Variability. *Frontiers in Marine Science* 5: 423. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00423>
- MBON. 2019. Sampling protocol for assessment of marine

- diversity on rocky shores. Marine Biodiversity Observation Network Pole to Pole of the Americas and South American Research Group on Coastal Ecosystems. 13 pp.
- Menge, B.A. 1976. Organization of the New England rocky intertidal community: role of predation, competition and environmental heterogeneity. *Ecological Monographs* 46: 355-393. <https://doi.org/10.2307/1942563>
- Menge, B.A., Sutherland, J.P. 1987. Community regulation: Variation in disturbance, competition, and predation in relation to environmental stress and recruitment. *American Naturalist* 130: 730-757. <https://doi.org/10.1086/284741>
- Menge, B.A., Branch, G.M. 2001. Rocky intertidal communities. In: Bertness, M.D., Gaines, S.D. & Hay M.E. (Eds.) *Marine Community Ecology*: 221-251. Sinauer Associates, Sunderland, MA.
- Montero, P., Daneri, G., Cuevas, L.A., González, H.E., Jacob, B., Lizárraga, L., Menschel, E. 2007. Productivity cycles in the coastal upwelling area off Concepción: the importance of diatoms and bacterioplankton in the organic carbon flux. *Progress in Oceanography* 75: 518-530. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2023.103862>
- Moreno, C.A. 2001. Community patterns generated by human harvesting on Chilean shores: a review. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 11(1): 19-30. <https://doi.org/10.1002/aqc.430>
- Navarrete, S.A., Menge, B.A. 1997. The Body Size-Population Density Relationship in Tropical Rocky Intertidal Communities. *Journal of Animal Ecology* 66(4): 557-566. <https://doi.org/10.2307/5949>
- Navarrete, S.A., Wieters, E.A., Broitman, B., Castilla, J.C. 2005. Scales of benthic-pelagic coupling and the intensity of species interactions: from recruitment limitation to top-down control. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102: 18046-18051. <https://doi.org/10.1073/pnas.0509119102>
- Navarrete, S.A., Gelcich, S., Castilla, J.C. 2010. Monitoreo de largo plazo en el ecosistema marino costero de Las Cruces, Chile: Definiendo líneas base para construir alfabetización ecológica en un mundo que cambia. *Revista Chilena de Historia Natural* 83: 143-157. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2010000100008>
- NOAA. 2010. Characteristic Coastal Habitats. Choosing Spill Response Alternatives. National Oceanic and Atmospheric Administration, USA. 85 pp.
- Paine, R.T. 1966. Food web complexity and species diversity. *The American Naturalist* 100(910): 65-75. <https://www.jstor.org/stable/2459379>
- Raffaelli, D., Hawkins, S.J. 1996. Intertidal ecology. Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-1489-6>
- Rivadeneira, M., Fernández, M. 2005. Shifts in southern endpoints of distribution in rocky intertidal species along the south-eastern Pacific coast. *Journal of Biogeography* 32: 203-209. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2004.01133.x>
- Rivadeneira, M.M., Hernández, P., Baeza, J.A., Boltaña, S., Cifuentes, M., Correa, C., Cuevas, A., Del Valle E., Hinojosa, I., Ulrich, N., Valdivia, N., Vásquez, N., Anke, Z., Thiel, M. 2012. Testing the abundant-centre hypothesis using intertidal porcelain crabs along the Chilean coast: linking abundance and life-history variation. *Journal of Biogeography* 37: 486-498. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2009.02224.x>
- Salamanca, M., Bermedo, L., Chandía, C., Hernández, A., Hernández-Miranda, A. 2024. Condiciones Físico-Químicas en Aguas Costeras del Golfo de Arauco. *Gayana* 88(2): 172-194.
- Saldías, G.S., Sobarzo, M., Largier, J., Moffat, C., Letelier, R. 2012. Seasonal variability of turbid river plumes off central Chile based on high-resolution MODIS imagery. *Remote Sensing of Environment* 123: 220-233. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.03.010>
- Seers, B. 2022. windfetch: Calculate Wind Fetch. R package version 0.1.1, <https://github.com/blasee/windfetch>.
- Sobarzo, M., Bravo, L., Donoso, D., Garcés-Vargas, J., Schneider, W. 2007. Coastal upwelling and seasonal cycles that influence the water column over the continental shelf off central Chile. *Progress in Oceanography* 75(3): 363-382. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2007.08.022>
- Tapia, F.J., Navarrete, S.A., Castillo, M., Menge, B., Castilla, J.C., Largier, J., Wieters, E.A., Broitman, B., Barth, J. 2009. Thermal indices of upwelling effects on inner-shelf habitats. *Progress in Oceanography* 83: 278-287. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2009.07.035>
- Tapia, F.J., Largier, J., Castillo, M., Wieters, E.A., Navarrete, S.A. 2014. Latitudinal discontinuity in thermal conditions along the nearshore of central- northern Chile. *PLoS ONE* 9: e110841. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0110841>
- Thiel, M., Macaya, E.C., Acuña, E., Arntz, W.E., Bastias, H., Brokordt, K., Camus, P.A., Castilla, J.C., Castro, L.R., Cortes, M., Dumont, C.P., Escribano, R., Fernández, M., Gajardo, J.A., Gaymer, C.F., Gomez, I., Gonzalez, A.E., Gonzalez, H.E., Haye, P.A., Illanes, J.E., Iriarte, J.L., Lancellotti, D.A., Luna-Jorquera, G., Luxoro, C., Manríquez, P.H., Marin, V., Muñoz, P., Navarrete, S.A., Perez, E., Poulin, E., Sellanes, J., Sepulveda, H.H., Stotz, W., Tala, F., Thomas, A., Vargas, C.A., Vasquez, J.A., Vega, J.M.A. 2007. The Humboldt current system of northern and central Chile. *Oceanographic Processes, Ecological Interactions and Socioeconomic Feedback. Oceanography and Marine Biology - An Annual Review*

- 45: 195-344. <https://doi.org/10.1201/9781420050943>
- Thompson, R.C., Crowe, T.P., Hawkins, S.J. 2002. Rocky intertidal communities: past environmental changes, present status and predictions for the next 25 years. *Environmental Conservation* 29(2): 168-191. <https://doi.org/10.1017/s0376892902000115>
- Underwood, A.J. 2000. Experimental ecology of rocky intertidal habitats: what are we learning? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 250(1-2): 51-76. [https://doi.org/10.1016/s0022-0981\(00\)00179-9](https://doi.org/10.1016/s0022-0981(00)00179-9)
- Valdivia, N., López, D.N., Fica-Rojas, E., Catalán, A.M., Aguilera, M.A., Araya, M., Betancourt, C., Burgos-Andrade, K., Carvajal-Baldeo, T., Escares, V., Gartenstein, S., Grossmann, M., Gutiérrez, B., Kotta, J., Morales-Torres, D.F., Riedemann-Saldivia, B., Rodríguez, S.M., Velasco-Charpentier, C., Villalobos, V.I., Broitman, B.R. 2021. Stability of rocky intertidal communities, in response to species removal, varies across spatial scales. *Oikos* 130(8): 1385-1398. <https://doi.org/10.1111/oik.08267>
- Valdivia, N., Segovia-Rivera, V., Fica, E., Bonta, C.C., Aguilera, M.A., Broitman, B.R. 2017. Context-dependent functional dispersion across similar ranges of trait space covered by intertidal rocky shore communities. *Ecology & Evolution* 7(6): 1882-1891. <https://doi.org/10.1002/ece3.2762>
- Valle-Levinson, A., Atkinson, L.P., Figueroa, D., Castro, L. 2003. Flow induced by upwelling winds in an equatorward facing bay: Gulf of Arauco, Chile. *Journal of Geophysical Research* 108: 3054. <https://doi.org/10.1029/2001jc001272>
- Vergara, O.A., Echevin, V., Sobarzo, M., Sepulveda, H.H., Castro, L., Soto-Mendoza, S. 2023. Impacts of the freshwater discharge on hydrodynamical patterns in the Gulf of Arauco (central-southern Chile) using a high-resolution circulation model. *Journal of Marine Systems* 240: 103862. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2023.103862>
- Wieters, E.A., Kaplan, D.M., Navarrete, S.A., Sotomayor, A., Largier, J., Nielsen, H., Véliz, F. 2003. Alongshore and temporal variability in chlorophyll a concentration in Chilean nearshore waters. *Marine Ecology Progress Series* 249: 93-105. <https://doi.org/10.3354/meps249093>
- Wong, Z., Saldías, G.S., Largier, J.L., Strub, P.T., Sobarzo, M. 2021. Surface Thermal Structure and Variability of Upwelling Shadows in the Gulf of Arauco, Chile. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 126: e2020JC016194. <https://doi.org/10.1029/2020jc016194>

Received: 10.05.2024

Accepted: 05.09.2024

Editor: Fulgencio Lisón