

Las comunidades intermareales de playas de arena del Golfo de Arauco, Chile

Intertidal sandy beach communities of the Gulf of Arauco, Chile

Aldo Hernández^{1,*}, José Miguel Bogdanovich², Oscar Inostroza-Michael¹, Carlos Leal González^{1,3}, Eduardo Hernández-Miranda^{4,5,6}, Rodrigo Veas⁶, Marco Salamanca^{4,7} & Cristian Chandía^{4,7}

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

²Consultora ambiental Quantev SpA., Santiago, Chile.

³Programa de Doctorado en Ciencias Ambientales con mención en Sistemas Acuáticos Continentales, Universidad de Concepción, Concepción, 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

Para identificar patrones en la estructura de las comunidades de playas de arena del Golfo de Arauco y determinar los factores físicos que la explican, entre octubre de 2021 y agosto de 2022 se desarrollaron tres campañas de muestreo donde se evaluó la abundancia, riqueza y estructura comunitaria en 19 sitios. Cada uno de los sitios fue caracterizado con base en seis atributos que incluyeron la dinámica sedimentaria, el tipo de playa, el tamaño de grano, la exposición de la costa, la distancia a centros industriales y la distancia a la desembocadura del río Biobío. Los resultados obtenidos revelaron la presencia de siete especies, entre las que destacaron *Emerita analoga* y *Excirrolana hirsuticauda* como dominantes. *E. analoga* mostró dominancia en la campaña de octubre 2021, particularmente entre Coronel y Arauco, mientras que *E. hirsuticauda* fue dominante en enero 2022 y agosto 2022. En general, las comunidades analizadas mostraron un patrón caracterizado por un cambio en la estructura de las comunidades producido en la zona media del Golfo de Arauco, cerca de Lota, con mayor riqueza y diversidad hacia la sección sur del golfo y predominancia de *E. analoga* y *Orchestoidea tuberculata* hacia el norte. Los factores que explicaron esta diferenciación espacial se asociaron con la dinámica sedimentaria, el tipo de playa y la granulometría. La cercanía a centros industriales, a la desembocadura del río Biobío y la exposición de la línea de costa, resultaron significativos, aunque no mostraron estadísticamente la misma importancia de las variables físicas que caracterizan el tipo de playa.

Palabras clave: comunidades intermareales de playa, dinámica sedimentaria, Golfo de Arauco, granulometría, tipo de playa.

ABSTRACT

To identify patterns in the conformation of sandy beach communities in the Gulf of Arauco and determine the physical factors that explain it, between October 2021 and August 2022, three sampling surveys were carried out to evaluate the abundance, richness and community structure in 19 sites. Each site was characterized based on six physical attributes including sediment dynamics, beach type, grain size, shoreline exposure, distance to industrial centers, and distance to the mouth of the Biobío river. The results obtained revealed the presence of seven species, among which *Emerita analoga* and *Excirrolana*

hirsuticauda were dominant. *E. analoga* showed dominance in the October 2021 survey, particularly between Coronel and Arauco, while *E. hirsuticauda* was dominant in January 2022 and August 2022. In general, the communities showed a pattern characterized by a change in community structure in the middle zone of the Gulf of Arauco, near Lota, with greater species richness and diversity towards the southern section of the gulf and predominance of *E. analoga* and *Orchestoidea tuberculata* towards the north. The factors that explained this spatial differentiation were associated with sedimentary dynamics, beach type and granulometry. The proximity to industrial centers, the mouth of the Biobío river and the exposure of the coastline were significant, although they did not show the same statistical significance as the physical variables that characterize the type of beach.

KEYWORDS: beach type, granulometry, Gulf of Arauco, intertidal beach communities, sedimentary dynamics.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas costeros se encuentran entre los sistemas más productivos del mundo, brindando una amplia gama de servicios ecosistémicos de diversa índole (MA 2005; Thompson & Schlacher 2008; Barbier *et al.* 2011). Las playas de arena son ecosistemas que brindan servicios clave, tales como equilibrar el transporte y almacenamiento de arena, lo que contribuye a la protección costera y su resiliencia (Short 1996; Nel *et al.* 2014; Parlagreco *et al.* 2019). Ofrecen filtración de agua (Huettel & Rusch 2000), dan forma a los flujos de energía entre los componentes bióticos y abióticos (Pacheco *et al.* 2010), modulan el intercambio bento-pelágico en los sedimentos (Volkenborn *et al.* 2007) y permiten el establecimiento de relaciones tróficas entre ambientes marinos y terrestres (Defeo *et al.* 2009). Sin embargo, el desarrollo de actividades humanas, impulsado en parte por el crecimiento de la población en las zonas costeras (Small & Nicholls 2003, Neumann *et al.* 2015), constituye una amenaza dada la susceptibilidad de estos ecosistemas a diferentes estresores ambientales (Defeo *et al.* 2009; Schoeman *et al.* 2014; Winckler *et al.* 2020, 2022), implicando la necesidad de investigaciones orientadas a entender las repuestas de las comunidades intermareales a factores ambientales naturales y antrópicos, en orden de elaborar planes de conservación y administración efectivos (McLachlan *et al.* 2013, Nel *et al.* 2014).

En general, los estudios realizados en playas arenosas y estuarios intermareales a lo largo de la costa de Chile se han centrado en el análisis de la distribución latitudinal de la macroinfauna bentónica desde una perspectiva biogeográfica (Jaramillo 1987; Fernández *et al.* 2000; Jaramillo *et al.* 1993; Jaramillo *et al.* 2001). Estos estudios señalan que los isópodos cirrolánidos del género *Excirrolana*, dominan en términos de

riqueza de especies, mientras que *Emerita analoga*, *Excirrolana hirsuticauda* y *Orchestoidea tuberculata* son usualmente las especies más abundantes. A lo largo de la costa de Chile, el patrón descrito por Fernández *et al.* (2000) y Jaramillo *et al.* (2001) es que *E. analoga* domina en el intermareal inferior con presencia de especies como *Nephtys impressa* y *Mesodesma donacium*, los cirrolánidos dominan en la zona media del intermareal, observándose un aumento en la abundancia y riqueza de especies de norte a sur, mientras que en el intermareal superior se observa que la presencia de *O. tuberculata*, principalmente desde la zona central de Chile al sur, estando ausente en las playas del norte de Chile, donde la especie dominante es el cangrejo rojo *Ocypode gaudichaudii*.

Además de las variaciones latitudinales, factores como la granulometría, dinámica del sedimento, el clima de barrido y el gradiente de exposición/humedad pueden explicar la estructura y dinámica de las comunidades intermareales de playas de arena (McLachlan & Brown, 2006). La interacción entre mareas, olas y tipo de sedimento genera distintos tipos de playas, desde estrechas y reflectivas hasta anchas y disipativas (Short 1996, 1999; McLachlan & Brown 2006), existiendo habitualmente mayor riqueza, abundancia y biomasa en playas disipativas en comparación con reflectivas (Defeo *et al.* 1992; Jaramillo & McLachlan 1993; Jaramillo 1994; Brazeiro 2001; Defeo & McLachlan, 2005).

El Golfo de Arauco (37,10° S; 73,3° O, Fig. 1) como sistema de estudio es particularmente relevante. Representa el mayor cuerpo de agua semicerrado costero al norte de Puerto Montt (Wong *et al.* 2021) y marca un cambio drástico en la orientación de la línea de costa en la zona centro-sur de Chile (Valle-Levinson *et al.* 2003). La presencia de la cordillera de Nahuelbuta, que actúa como una barrera natural que protege de los vientos procedentes del sur (Wong *et al.* 2021), además de la presencia de la Isla Santa María en el

borde occidental, lo convierten en una bahía única, conectada con aguas subsuperficiales del talud continental a través del cañón del Biobío (Sobarzo *et al.* 2016) y receptora de las aguas continentales a través de la descarga del Biobío (Vergara *et al.* 2023). Este sistema es una de las zonas más productivas del Pacífico Sur Oriental (Valle-Levinson *et al.* 2003; Yannicelli *et al.* 2006) y representa un área retención de estados tempranos de diversas especies (Landaeta & Castro 2006; Castro *et al.* 2007; Letelier *et al.* 2009).

Vergara *et al.* (2023) demostraron que la pluma del Biobío modifica significativamente la estructura vertical de la columna de agua y la circulación del golfo, con efectos que abarcan toda la zona de escuadrón, extendiéndose hasta la Bahía de Coronel, particularmente durante los meses de julio a septiembre. Villagrán *et al.* (2023) analizaron las características morfodinámicas de las playas del Golfo de Arauco, indicando que, en la zona norte del golfo (Biobío a Coronel) predominan los procesos de erosión (remoción de arena), mientras que hacia el sur del golfo (Laraquete a Llico) se observa un patrón caracterizado por la alternancia de procesos de erosión en invierno y acreción (deposición de arena) en verano.

Pese a la relevancia ecológica de la zona, estudios científicos de playas de arena en el Golfo de Arauco son aún escasos. Dentro de éstos, destaca el trabajo Jaramillo *et al.* (2012) el cual describe como las especies más abundantes durante el 2010 al crustáceo decápodo *E. analoga*, y los peracáridos *E. hirsuticauda*, *Excirrolana braziliensis* y *O. tuberculata*. Rodil *et al.* (2016), examinan una serie de tiempo de la macrofauna intermareal en la playa de Llico (sección suroeste del Golfo de Arauco), que abarca desde el 2010 al 2015, con la finalidad de determinar los efectos del terremoto del 27 de febrero de 2010 y de las defensas costeras construidas post-terremoto sobre la estructura comunitaria. Tales investigaciones son consistentes con lo comunicado por Hernández *et al.* (1998) para la bahía de San Vicente, ubicada al norte del Golfo de Arauco, quienes señalan la presencia de *E. analoga*, *E. hirsuticauda*, *Excirrolana monodi*, *Euzonus heterocirrus*, *O. tuberculata* y *Scolecopsis chilensis*, siendo *E. analoga* y *O. tuberculata* las especies de más amplia distribución. Más recientemente, Jaramillo *et al.* (2021) incorporan a cinco playas del Golfo de Arauco en un estudio comparativo, que incluye localidades de la zona centro-sur de Chile y del norte de Estados Unidos, en el cual se analiza el efecto de las defensas costeras sobre la estructura de las comunidades de playas de arena.

Con base en estos antecedentes, en atención a la importancia ecológica, económica y social que reviste el Golfo de Arauco como zona de estudio, y considerando la necesidad de generar antecedentes actualizados que

representen una base para la futura Norma Secundaria de Calidad Ambiental que será implementada en esta zona, en la presente contribución se analiza la estructura de las comunidades de playas de arena y su relación con atributos ambientales característicos de cada sitio, con la finalidad de determinar el efecto de factores físicos propios de la dinámica de las playas de arena, además de fuentes de variabilidad naturales y antrópicas. El aporte de antecedentes actualizados sobre la biodiversidad presente en este sistema, como base de conocimiento para el establecimiento de medidas de protección de la biodiversidad marina, adquiere especial relevancia ante el aumento de variabilidad ambiental propia de ecosistemas costeros (Roukounis *et al.* 2022), la que se ha agudizado durante la última década, debido al incremento en frecuencia y magnitud de eventos extremos (Winckler *et al.* 2017, 2022; Martínez *et al.* 2022).

MATERIALES Y MÉTODOS

DISEÑO DE MUESTREO

El muestreo de playas de arena se realizó en 19 puntos o sitios de muestreo, distribuidos a lo largo del borde costero del Golfo de Arauco, Región del Biobío, cubriendo 86 km desde la desembocadura del río Biobío hasta Llico (Fig. 1). Los muestreos fueron efectuados en tres campañas, que representaron condiciones de primavera (octubre 2021), verano (enero 2022) e invierno (julio 2022). Todos los muestreos fueron ejecutados durante la marea baja y condiciones de sicigia.

En cada sitio de muestreo se dispuso dos transectos perpendiculares a la línea de costa, separados a una distancia aproximada de 100 m, cubriendo desde línea de marea más alta hasta el límite de la marea baja. En cada transecto se colectó seis muestras distribuidas a lo largo de su eje, considerando que dos muestras estuviesen dispuestas siempre en cada nivel de altura del intermareal (superior, medio y espejo de agua o inferior), totalizando 12 muestras por campaña y sitio de muestreo. Los niveles de intermareal superior, medio e inferior fueron determinados siguiendo a Jaramillo *et al.* (2012) y Jaramillo *et al.* (2021). Las muestras fueron colectadas mediante un corer de 11 cm de diámetro y 20 cm de profundidad, equivalente a una superficie de muestreo de 95 cm² y un volumen de 1900 cm³.

Cada una de las muestras fue tamizada *in situ* empleando un tamiz de abertura de 1000 µm, cuidando de extraer la totalidad de animales contenidos en la muestra. Las muestras fueron almacenadas en frascos rotulados, indicando: fecha, hora, sitio de muestreo y número de réplica. El material fue fijado con alcohol al 96 %, almacenado en una caja hermética

y transportado al laboratorio para la identificación taxonómica de los organismos al nivel más bajo posible, utilizando claves de identificación específica (Rozbacylo 1980; Rozbacylo, 2007; Rozbacylo *et al.* 2017). Para cada taxa identificado, se estimó su abundancia, utilizando una lupa estereoscópica marca Kern Optics, modelo OZL 463.

Cada sitio de muestreo fue caracterizado considerando una serie de atributos físicos, que incluyeron: (i) el tipo de playa (reflectiva, intermedia, disipativa); (ii) la dinámica sedimentaria descrita por Villagrán *et al.* (2023); (iii) el tamaño medio de grano, según análisis granulométrico entregado por Chandía *et al.* (2024); (iv) el grado de exposición de la línea de costa, determinado mediante el cálculo del fetch (Bardseth 1970); (v) la cercanía a la desembocadura del río Biobío, como principal descarga de agua dulce en la zona y; (vi) la cercanía a centros industriales.

El grado de exposición de la línea de costa (fetch) proporciona una cuantificación de la superficie marina sin obstáculos sobre la que puede soplar el viento procedente de

una dirección determinada, la que se relaciona con la energía que se transmite a la superficie del agua y con la intensidad del oleaje. La determinación del fetch fue efectuada utilizando la librería *windfetch* (Seers 2022) utilizando un conjunto de 36 radios, con espaciamentos de 10 grados y de una longitud de 100 km desde el centroide de cada sitio de muestreo.

La cercanía de cada punto de muestreo a la desembocadura del Biobío y a los centros industriales presentes en el golfo (Escuadrón, Coronel y Complejo Forestal MAPA de Celulosa Arauco) fue estimada mediante la función *Near* de ArcGIS Pro 3.4, que permite determinar la distancia lineal entre dos capas de información.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La información colectada en cada muestreo fue analizada en términos de realizar una descripción general de los principales componentes taxonómicos detectados por campaña y sitio de muestreo.

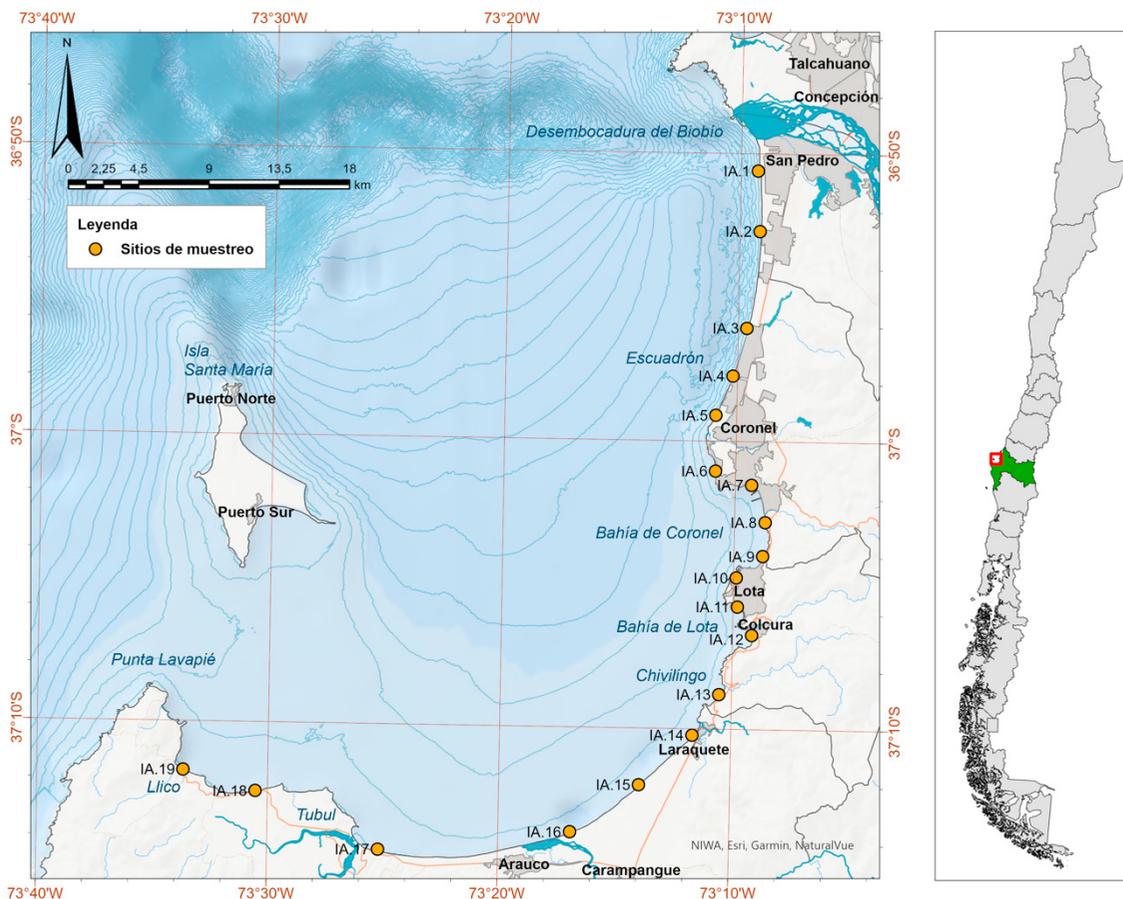


FIGURA 1. Ubicación de los sitios de muestreo de playas de arena en el Golfo de Arauco. Coordenadas en grados, Datum WGS-84. / Location of sandy beach sampling sites in the Gulf of Arauco. Coordinates in degrees, Datum WGS-84.

Para cuantificar estadísticamente la existencia patrones espacio-temporales, 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 monótonica, 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 de utilizó la función *metaMDS* disponible en la librería *vegan* (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 en la estructura comunitaria entre sitios y campañas de muestreo, se utilizó 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 (Anderson 2001). La significancia de los factores característicos de cada sitio de muestreo (tipo de playa, dinámica sedimentaria, tamaño medio de grano, fetch, distancia a la desembocadura del Biobío, distancia a centros industriales) sobre la estructura comunitaria emergente del NMDS, fue evaluada mediante un PERMANOVA que incluyó las seis variables de forma simultánea, utilizando la función *adonis2*. Las variables analizadas que resultaron significativas fueron luego incluidas en el NMDS utilizando la función *envfit* de la librería *MASS* (Venables & Ripley 2002).

El análisis comunitario concluyó con la determinación 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. Las estimaciones de los índices comunitarios fue efectuada utilizando la librería *vegan* (Oksanen *et al.* 2022). Se probó la existencia de diferencias significativas para cada índice entre sitios y campañas de muestreo utilizando la librería *rstatix* (Kassambara, 2023a).

Todos los análisis estadísticos fueron efectuados en el ambiente de programación R (R Core Team 2024). Las gráficas de salida fueron generadas utilizando las librerías *ggplot2* (Wickham 2016) y *ggpubr* (Kassambara 2023b).

RESULTADOS

SITIOS DE MUESTREO

Una síntesis de los atributos físicos que caracterizan cada uno de los 19 sitios de muestreo evaluados se entrega en la Tabla 1. En términos generales, los sitios de muestreo ubicados entre Boca Sur y Escuadrón (IA.1 a IA.5) se caracterizan por presentar playas intermedias y reflectivas, con una dinámica sedimentaria caracterizada por la presencia de procesos de erosión durante la mayor parte del año (Villagrán *et al.* 2023), con tamaños medios de granos que normalmente superan los 0,4 mm, compuestos por arenas muy gruesas y arenas gruesas (Chandía *et al.* 2024). En esta zona la exposición de la línea de costa hacia los vientos del oeste oscila entre el 70 y 93 %. Las distancias a centros industriales oscilan entre 0 y 9,5 km, mientras que las distancias a la desembocadura del Biobío van desde 1,3 a 20,6 km.

La zona ubicada entre Coronel y Colcura (IA.6 a IA.12) se caracteriza por la presencia de playas disipativas en Maule y Coronel e intermedias y reflectivas hacia el sur (Tabla 1). En esta zona el patrón de la dinámica de sedimentos descrita por Villagrán *et al.* (2023) indica la presencia de procesos de erosión en invierno y estabilización en verano. La granulometría de esta sección de playas de arena está caracterizada por la presencia de arenas gruesas y medias en los sitios IA.6 a IA.10 (TMG 0,29 a 0,48 mm), con un cambio en la granulometría en los sitios IA.11 e IA.12, para los cuales el tamaño medio de grano es inferior a 0,2, lo que implica la presencia de fracciones de arenas finas y medias (Chandía *et al.* 2024). En esta zona la exposición de la línea de costa hacia los vientos del oeste oscila entre el 6 y 24 %, siendo Coronel (IA.7), Lota Bajo (IA.11) y Colcura (IA.12), las playas más protegidas. Las distancias a centros industriales oscilan entre 0 y 0,75 km, mientras que la distancia a la desembocadura del Biobío fluctúa entre 20,5 y 31 km.

TABLA 1. Atributos físicos característicos de cada sitio de muestreo. Tipo.playa: tipo de playa (reflectiva, intermedia, disipativa); Dinam. Sedim: dinámica sedimentaria descrita por Villagrán *et al.* (2023); TMG (mm): tamaño medio de grano, según análisis granulométrico entregado por Chandía *et al.* (2024); Fetch: grado de exposición de la línea de costa, determinado mediante Baardseth (1970); Dist.D.Biobío (m): distancia a la desembocadura del río Biobío; Dist.cent.ind (m): distancia a los centros industriales Escuadrón, Coronel y Complejo MAPA. / Characteristic physical attributes of each sampling site. Tipo.playa: type of beach (reflective, intermediate, dissipative); Dinam. Sedim: sediment dynamics described by Villagrán *et al.* (2023); TMG (mm): mean grain size, according to granulometric analysis provided by Chandía *et al.* (2024); Fetch: degree of exposure of the coastline, determined by Baardseth (1970); Dist.D.Biobío (m): distance to the mouth of the Biobío river; Dist.cent.ind (m): distance to the industrial centers Escuadrón, Coronel and Complejo MAPA..

Sitio	Referencia	X-UTM	Y-UTM	Tipo.playa	Dinam.Sedim	TMG (mm)	Fetch (%)	Dist.D.Biobio (m)	Dist.cent.ind (m)
IA.1	Boca Sur	664.541	5.920.902	Intermedia	Erosión	0,39	29	1.304	9.590
IA.2	Lomas Coloradas	664.653	5.917.024	Intermedia	Erosión	0,59	30	5.182	5.712
IA.3	Escuadrón	663.827	5.910.808	Intermedia	Erosión	0,48	31	11.397	0
IA.4	Escuadrón	662.922	5.907.744	Reflectiva	Erosión	0,54	30	14.461	0
IA.5	Escuadrón	661.852	5.905.210	Reflectiva	Erosión	0,56	31	16.989	0
IA.6	Maule	661.811	5.901.632	Disipativa	Erosión	0,47	24	20.574	726
IA.7	Coronel	664.163	5.900.780	Disipativa	Erosión - Estable	0,34	6	21.484	0
IA.8	Playa Negra	664.972	5.898.319	Intermedia	Erosión - Estable	0,46	14	23.887	0
IA.9	Playa Blanca	664.825	5.896.136	Reflectiva	Erosión - Estable	0,29	18	26.069	753
IA.10	El Blanco	663.131	5.894.762	Intermedia	Erosión - Estable	0,48	11	27.443	0
IA.11	Lota Bajo	663.196	5.892.909	Intermedia	Erosión - Estable	0,19	8	29.297	0
IA.12	Colcura	664.118	5.891.075	Intermedia	Erosión - Estable	0,13	8	31.130	1.473
IA.13	Chivilingo	662.018	5.887.284	Disipativa	Acreción - Erosión	0,23	22	34.921	5.344
IA.14	Laraquete	660.296	5.884.674	Disipativa	Acreción - Erosión	0,14	25	37.565	4.080
IA.15	Arauco	656.873	5.881.493	Disipativa	Acreción - Erosión	0,35	23	41.019	0
IA.16	Carampangue	652.445	5.878.466	Disipativa	Acreción - Erosión	0,30	23	44.744	4.571
IA.17	Tubul	640.160	5.877.357	Disipativa	Acreción	0,25	18	49.828	16.413
IA.18	El Cuco	632.321	5.881.115	Disipativa	Acreción - Erosión	0,23	19	50.615	23.651
IA.19	Llico	627.709	5.882.517	Disipativa	Acreción - Erosión	0,28	9	52.378	28.265

Entre las localidades de Chivilingo y Llico (IA.13 a IA.19) el tipo de playa corresponde a playas disipativas, caracterizadas por la presencia de procesos de erosión en invierno y acreción en verano, destacando Tubul como una zona donde los procesos de deposición de sedimentos ocurren tanto en invierno como en verano (Villagrán *et al.* 2023). La granulometría de esta zona está caracterizada por la presencia de arenas finas y medias, con un tamaño de grano que oscila entre 0,14 y 0,35 mm (Chandía *et al.* 2024). La exposición de la línea de costa hacia los vientos del oeste oscila entre 9 y 25 %, siendo las playas de Tubul (IA.17), El Cuco (IA.18) y Llico (IA.19) las más protegidas. Las distancias a centros industriales oscilan entre 0 y 0,75 km, mientras que las distancias a la desembocadura del Biobío van entre 20,5 y 31 km. Las distancias a centros industriales oscilan entre 0 y 28 km, mientras que la distancia lineal a la desembocadura del Biobío oscila entre 34,9 y 52 km.

ESPECIES IDENTIFICADAS

En las campañas realizadas se logró la identificación de un total de siete taxones. De estos, cinco pudieron ser identificados a nivel específico, mientras que los dos restantes solo pudieron ser clasificados a nivel de familia (Tabla 2). Estos taxones corresponden a las especies: *Emerita analoga*, *Excirrolana braziliensis*, *Excirrolana hirsuticauda*, *Orchestoidea tuberculata*, *Phaleria maculata*, además de dos familias de Poliquetos (Spionidae y Opheliidae). De éstos, solo las especies *E. analoga*, *E. braziliensis*, *E. hirsuticauda* y *O. tuberculata* estuvieron presentes durante las tres campañas de muestreo, siendo *E. hirsuticauda* la especie presente en el mayor número de unidades de muestreo, alcanzando un total de 118 registros (Tabla 2). En contraste, los poliquetos solo se registraron en las campañas estival e invernal del año 2022, siendo la familia Opheliidae la única presente en ese último periodo (Tabla 2).

En cuanto a la abundancia de especies, *E. analoga* destaca como la más importante, especialmente durante octubre 2021, cuando se registró la presencia de más de 300 individuos de esta especie en los sitios muestreo analizados (Fig. 2), con máximos en IA.11 (Norte de Bahía Lota), IA.12 (Colcura) y en IA.14 (Laraquete; Fig. 1). Sin embargo, la abundancia de esta especie experimentó un marcado descenso en el transcurso de las demás campañas, y en prácticamente todos los sitios

de muestreo (Fig. 2). En segundo lugar, *E. hirsuticauda* mostró comparativamente altas abundancias, particularmente, durante enero 2022 (Fig. 2). Desde una perspectiva espacial, las mayores abundancias se observaron entre los sitios IA.10 a IA.14 (Fig. 1 y Fig. 2). Adicionalmente, los sitios IA.1 e IA.2 (Sur desembocadura Biobío) destacaron por presentar altas abundancias de *E. analoga* durante octubre 2021 (Fig. 2).



FIGURA 2. Abundancias totales (N° de individuos/1140 cm²) registrados por taxa, sitio y campaña de muestreo. / Total abundances (No. of individuals/1140 cm²) recorded by taxa, site and sampling survey.

ASOCIACIONES COMUNITARIAS

El resultado del NMDS realizado para la evaluación del patrón de distribución predominante en las comunidades de playas de arena, revela que la estructura de la comunidad es adecuadamente representada en la ordenación bidimensional (stress < 0,1), observándose que al agrupar los puntajes por sitio de muestreo (Fig. 3a), se logra una diferenciación estadísticamente significativa que explica el 62% de la variabilidad presente en la ordenación multivariada (PERMANOVA $R^2 = 0,62$; $P < 0,001$). Espacialmente (ver Fig. 1), este resultado indica que los sitios de muestreo ubicados entre Boca Sur y Playa Negra (IA.1 a IA.8), además de IA.10 (El Blanco) se segregan del resto de los sitios muestreados debido a la mayor abundancia de *E. analoga* (IA.1, IA.2, IA.7, IA.10) y de *O. tuberculata* (IA.4, IA.5, IA.8). Por otra parte, los sitios de muestreo ubicados en la sección sur del golfo, específicamente entre Colcura y Llico (IA.12 a IA.19), además de IA.9 (Playa Blanca), se caracterizaron por una mayor abundancia de *E. braziliensis*, *E. hirsuticauda* y de los poliquetos Spionidae y Opheliidae.

Al agrupar los puntajes del NMDS por campaña de muestreo (Fig. 3b), se observa una mayor superposición de las elipses resultantes hacia el centro de los ejes de ordenación, indicando una menor diferenciación entre campañas de muestreo que entre sitios (Fig. 3a). La separación temporal ocurre a lo largo del segundo eje de la ordenación, con las campañas de enero y julio 2022 siendo más similares entre sí y diferentes a octubre 2021. Esta diferenciación, si bien es estadísticamente significativa, explica una baja proporción de la variabilidad presentada en la ordenación multivariada (PERMANOVA $R^2 = 0,05$; $P = 0,041$).

El análisis PERMANOVA orientado a determinar la significancia de las variables que caracterizan cada sitio de estudio (Tabla 1) sobre la ordenación comunitaria emergente del NMDS, revela que todas las variables analizadas contribuyen de manera significativa a explicar los resultados de la ordenación comunitaria (Tabla 3). En conjunto, las seis variables lograron explicar el 52 % de la variabilidad representada en la ordenación multivariada, destacando la dinámica sedimentaria (Dinam.Sedim), el tipo de playa (Tipo.playa) y el tamaño medio de grano (TMG) como las que explican la mayor proporción de la varianza de la ordenación (25 %, 11 % y 9 %, respectivamente). Las variables Fetch (exposición de la línea de costa), distancia lineal a la desembocadura del río Biobío (Dist.D.Biobio) y distancia lineal a los centros industriales (Dist.cent.ind) resultaron estadísticamente significativas, aunque los porcentajes de varianza explicadas por cada una resultaron inferiores al 5%.

El resultado del análisis NMDS incluyendo las variables

categorías tipo de playa y dinámica sedimentaria, y las variables vectoriales TMG, Fetch, Dist.D.Biobio y Dist.cent.ind., demuestra que los sitios ubicados en la zona de Boca Sur a El Blanco (IA.1 a IA.10) se caracterizan, en general, por la presencia de procesos de erosión, con tamaños de grano mayores (Fig. 4). En estos sitios predominan las especies *Emerita analoga* (IA.1, IA.2, IA.6, IA.7, IA.10) y *Orchestoidea tuberculata* (IA.4, IA.5, IA.8). La presencia de *Orchestoidea tuberculata* se relaciona con playas reflectivas y mayor exposición de la costa. Los sitios ubicados hacia la sección sur del golfo (IA.11 a IA.19) se caracterizan, en general, como playas disipativas, en las cuales ocurren procesos de deposición de sedimento (acreción). En estos sitios ocurre una mayor riqueza taxonómica, con mayor abundancia de cirrolánidos y poliquetos de las familias Spionidae y Opheliidae. Estos sitios se caracterizan además por estar a mayor distancia de los centros industriales y alejados del efecto de la desembocadura del Biobío.

ÍNDICES COMUNITARIOS

Los índices comunitarios calculados por sitio de muestreo muestran diferencias significativas en todos los índices (Fig. 5), y en general, revelan un patrón latitudinal de norte a sur en el Golfo de Arauco, en el cual los valores de riqueza de especies (S) y los índices de diversidad de Shannon (H') y uniformidad de Pielou (J) aumentan hacia el sur (Fig. 5b, 5c, 5d y 5e), mientras que la dominancia de Simpson (D) disminuye. Sin embargo, es importante destacar que este patrón no es monótono, como en el caso de S, en donde existe un quiebre abrupto en la riqueza de especies a partir de IA.9 (exceptuando la estación IA.10; Fig. 5b). Por otro lado, la abundancia de especies (N) no sigue el patrón descrito y en su lugar, presenta dos puntos máximos. El primero de ellos se ubica entre los sitios de muestreo IA.1 a IA.2 (ver Fig. 1) y segundo se encuentra en la zona comprendida entre IA.11 a IA.14 (Lota-Laraquete; Fig. 1). Es interesante notar que las estaciones IA.9 e IA.15 exhiben los valores más altos de riqueza, diversidad y uniformidad (Fig. 5).

Para el caso de los índices calculados por campaña de muestreo, se observa que, en general, no se detectan diferencias significativas en los valores de dichos índices a lo largo de las campañas (Fig. 6), con la excepción de la abundancia (N), donde octubre 2021 exhibe niveles significativamente mayores (Fig. 6a), asociados a la mayor abundancia de *E. analoga* (Fig. 2). Es importante destacar que, pese a la ausencia de diferencias significativas en los índices S, H', J y D entre campañas, el muestreo de verano de 2022 registra valores más altos de riqueza, diversidad y uniformidad (Fig. 6b, 6c y 6d).

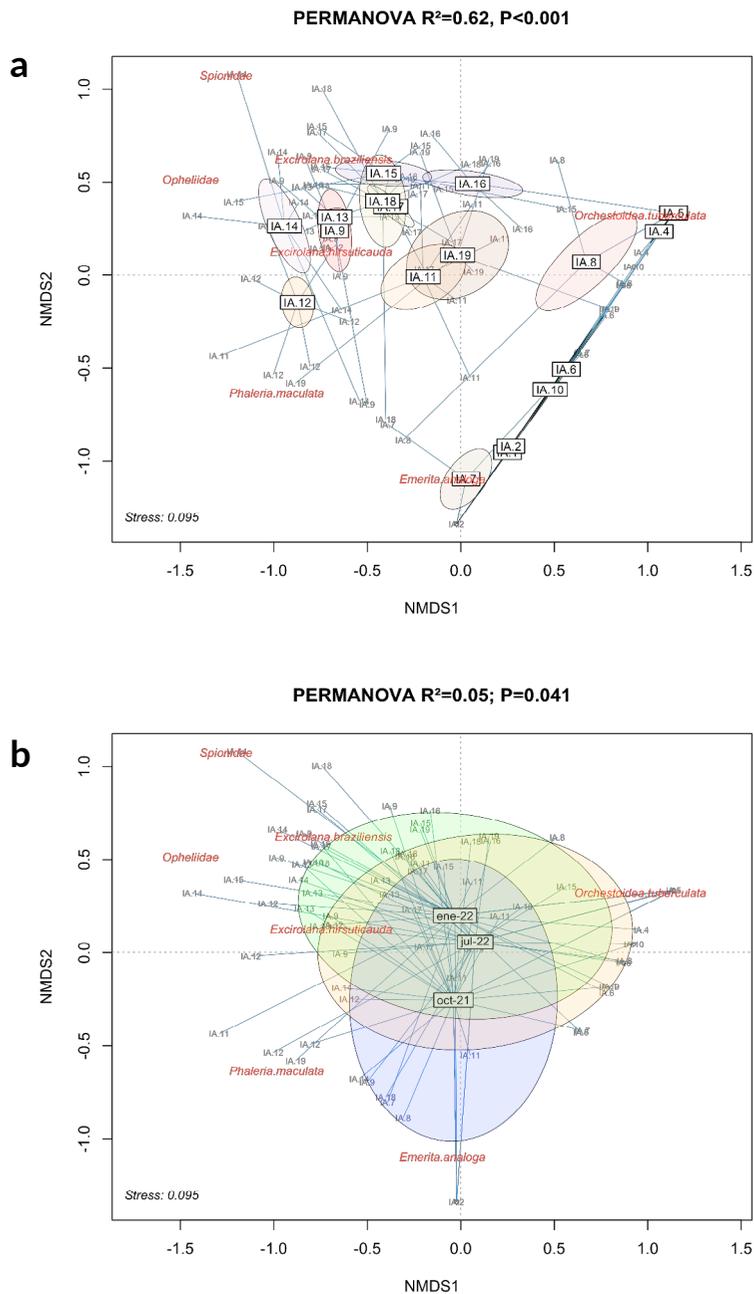


FIGURA 3. Resultado del Escalamiento No Métrico Multidimensional (NMDS). Los puntajes corresponden a los sitios de muestreo y los nombres científicos en rojo a los taxa identificados. a) puntajes agrupados por sitio de muestreo; b) puntajes agrupados por campaña de muestreo. Sobre cada representación se entrega el resultado del PERMANOVA para la determinación de la significancia de las clasificaciones sitio de muestreo (a) y campaña de muestreo (b). / Non-Metric Multidimensional Scaling Results (NMDS). The scores correspond to the sampling sites and the scientific names in red to the identified taxa. a) scores grouped by sampling site; b) scores grouped by sampling survey. PERMANOVA results for the significance of the sampling site (a) and sampling survey (b) classifications are given above each representation.

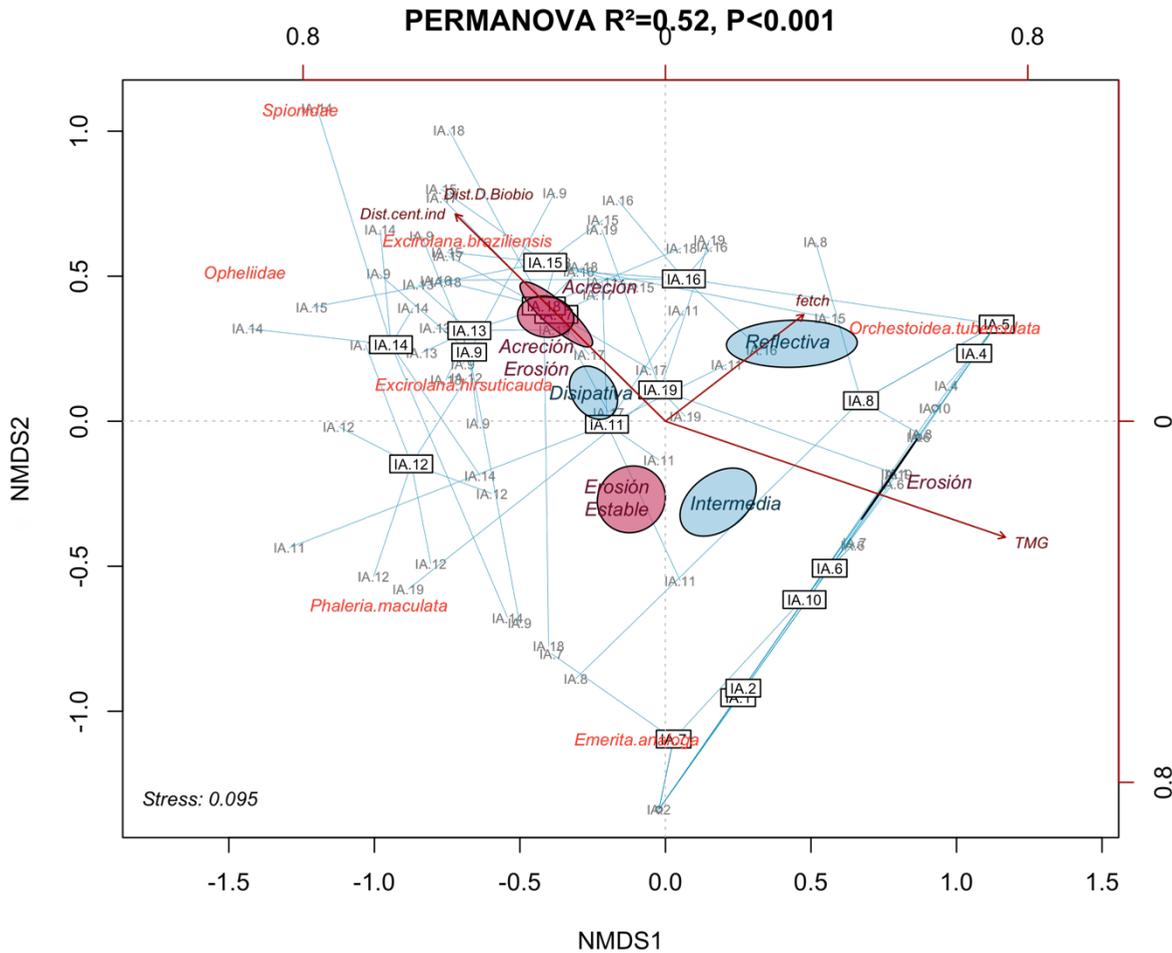


FIGURA 4. Resultado del análisis PERMANOVA para la evaluación de la significancia de las variables características de cada sitio de muestreo sobre la ordenación comunitaria emergente del NMDS. Los puntajes corresponden a los sitios de muestreo y los nombres científicos en rojo a los taxa identificados. Sobre la representación se entrega el resultado del PERMANOVA integrado para las variables incluidas en el análisis. Tipo de playa en elipses azules (95 % de confianza); Dinámica sedimentaria en elipses rojas (95 % de confianza); TMG: tamaño medio de grano; Fetch: grado de exposición de la línea de costa; Dist.D.Biobío: distancia a lineal a la desembocadura del río Biobío; Dist.cent.ind: distancia lineal a los centros industriales Escuadrón, Coronel y Complejo MAPA. / Results of the PERMANOVA analysis for the evaluation of the significance of the characteristic variables of each sampling site on the emerging community ordination of the NMDS. The scores refer to the sampling sites and the scientific names in red to the identified taxa. The result of the integrated PERMANOVA for the variables included in the analysis are shown above the graph. Beach type in blue ellipses (95 % confidence); Sedimentary dynamics in red ellipses (95 % confidence); TMG: mean grain size; Fetch: degree of exposure of the coastline; Dist.D.Biobío: linear distance to the mouth of the Biobío river; Dist.cent.ind: linear distance to the industrial centers Escuadrón, Coronel and MAPA Complex.

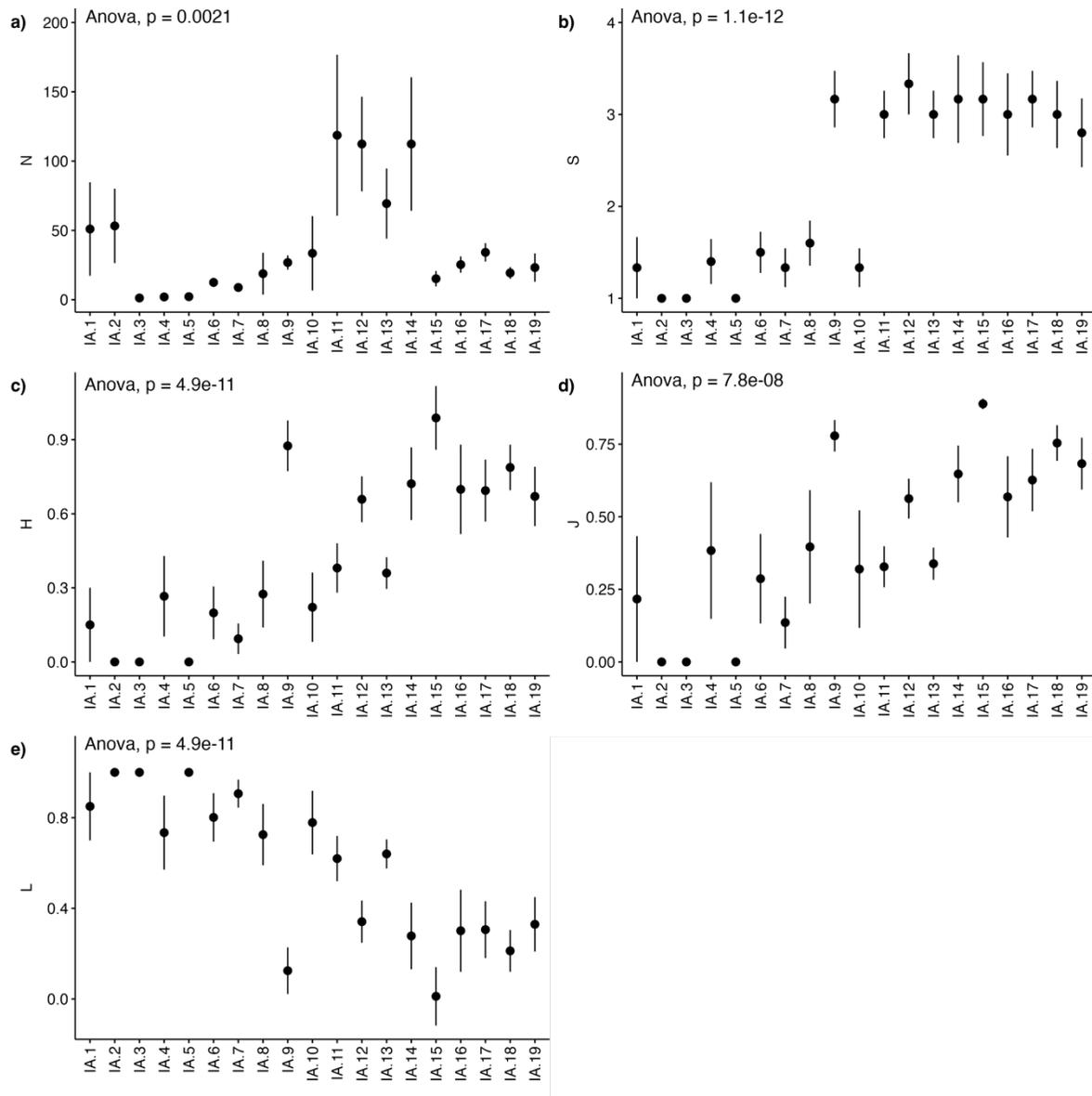


FIGURA 5. Índices comunitarios por sitio de muestreo. El punto representa el valor promedio por sitio y la barra vertical el error estándar de la media. Sobre cada representación se indica la existencia de diferencias significativas entre sitios mediante prueba ANOVA. a) Abundancia total; b) Riqueza de especies; c) Diversidad de Shannon Weaver; d) Uniformidad de Pielou; e) Dominancia de Simpson. / Community indices by sampling site. The dot represents the mean value per site and the vertical bar represents the standard error of the mean. Above each representation, the existence of significant differences between sites is indicated by ANOVA test. a) Total abundance; b) Species richness; c) Shannon Weaver diversity; d) Pielou's uniformity; e) Simpson's dominance.

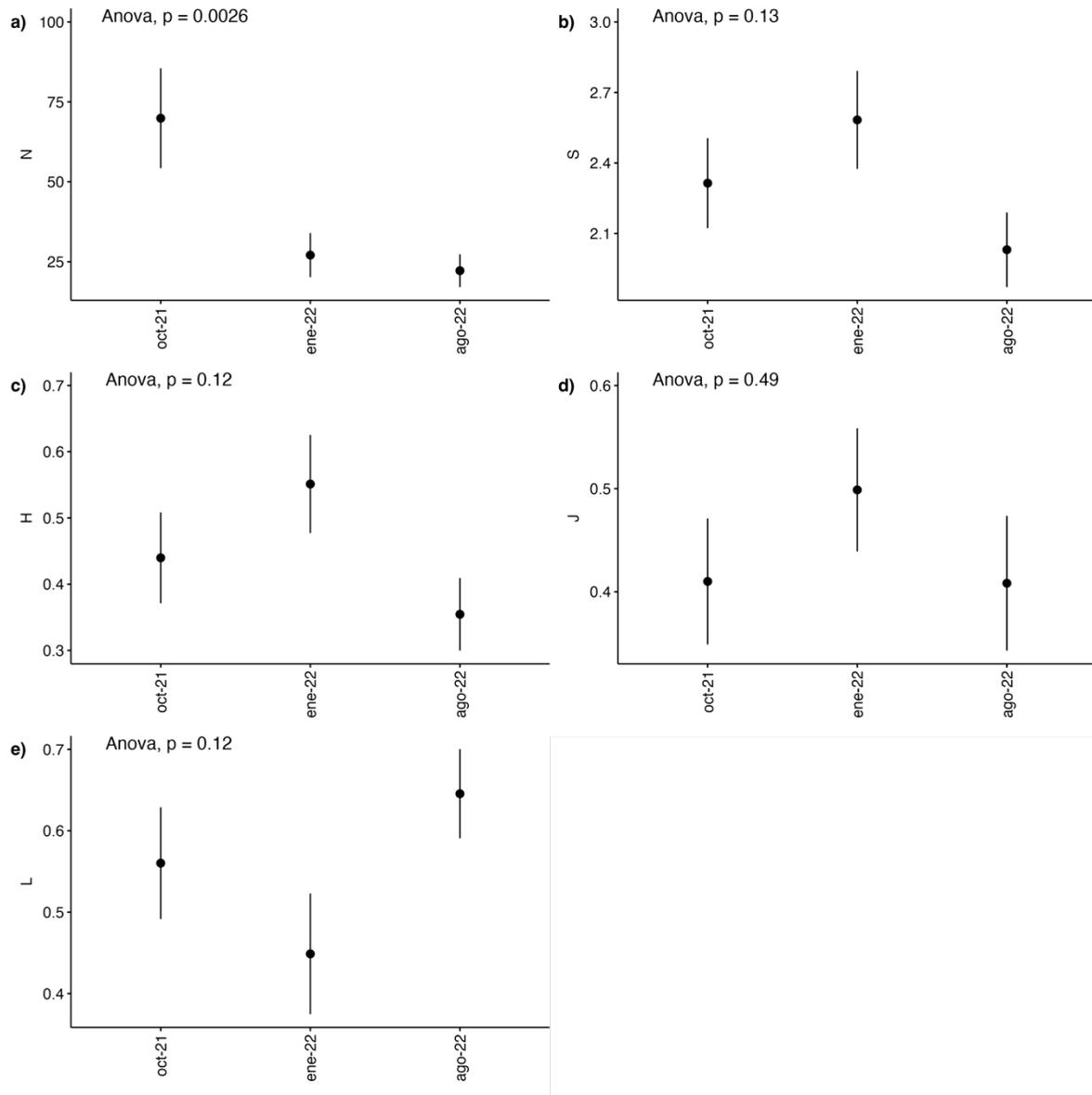


FIGURA 6. Índices comunitarios por campaña de muestreo. El punto representa el promedio por campaña de muestreo y la barra vertical el error estándar de la media. Sobre cada representación se indica la existencia de diferencias significativas entre campañas mediante prueba ANOVA. a) Abundancia total; b) Riqueza de especies; c) Diversidad de Shannon Weaver; d) Uniformidad de Pielou; e) Dominancia de Simpson. / Community indices by sampling survey. The dot represents the mean value per survey and the vertical bar represents the standard error of the mean. Above each representation, the existence of significant differences between surveys is indicated by ANOVA test. a) Total abundance; b) Species richness; c) Shannon Weaver diversity; d) Pielou's uniformity; e) Simpson's dominance.

TABLA 2. Número de cuadrantes con presencia de cada taxa identificado por campaña de muestreo. N=228 cuadrantes muestreados por campaña. / Number of quadrats with presence of each identified taxa by sampling survey. N=228 quadrats sampled per survey.

Phylum	Clase	Familia	Taxa	Campaña			Total
				oct-21	ene-22	ago-22	
Arthropoda	Malacostraca	Hippidae	<i>Emerita analoga</i> (Stimpson, 1857)	40	36	32	108
Arthropoda	Malacostraca	Cirolanidae	<i>Excirrolana braziliensis</i> Richardson, 1912	36	43	16	95
Arthropoda	Malacostraca	Cirolanidae	<i>Excirrolana hirsuticauda</i> Menzies, 1962	35	41	42	118
Arthropoda	Malacostraca	Talitridae	<i>Orchestoidea tuberculata</i> Nicolet, 1849	28	29	23	80
Arthropoda	Hexapoda	Tenebrionidae	<i>Phaleria maculata</i> (Kulzer, 1959)	1			1
Annelida	Polychaeta	Spionidae	Spionidae		4		4
Annelida	Polychaeta	Opheliidae	Opheliidae		6	4	10
Totales				140	159	117	416

TABLA 3. Resultado del análisis PERMANOVA para la evaluación de la significancia de las variables características de cada sitio de muestreo sobre la ordenación comunitaria emergente del NMDS. Tipo.playa: tipo de playa (reflectiva, intermedia, disipativa); Dinam. Sedim: dinámica sedimentaria descrita por Villagrán *et al.* (2023); TMG: tamaño medio de grano, según análisis granulométrico entregado por Chandía *et al.* (2024); Fetch: grado de exposición de la línea de costa, determinado mediante Baardseth (1970); Dist.D.Biobío: distancia a la desembocadura del río Biobío; Dist.cent.ind: distancia a los centros industriales Escuadrón, Coronel y Complejo MAPA. / PERMANOVA analysis results for the significance evaluation of the characteristic variables of each sampling site on the emerging community ordination of the NMDS. Tipo.playa: type of beach (reflective, intermediate, dissipative); Dinam.Sedim: sediment dynamics described by Villagrán *et al.* (2023); TMG: mean grain size, according to granulometric analysis provided by Chandía *et al.* (2024); Fetch: degree of exposure of the coastline, determined by Baardseth (1970); Dist.D.Biobío: distance to the mouth of the Biobío river; Dist. cent.ind: distance to the industrial centers Escuadrón, Coronel and MAPA Complex.

Fuente de variación	gl	SumaCuad	R ²	F	valor-p
Tipo.playa	2	2,00	11%	10,60	0,001
Dinam.Sedim	3	4,55	25%	16,03	0,001
TMG	1	1,58	9%	16,69	0,001
Fetch	1	0,28	2%	2,99	0,038
Dist.D.Biobio	1	0,71	4%	7,53	0,002
Dist.cent.ind	1	0,44	2%	4,66	0,006
Residual	93	8,79	48%		
Total	102	18,36			

DISCUSIÓN

La distribución y abundancia de la macrofauna de playas de arena depende de diversos factores, entre los que destacan las características del sedimento (Gray & Elliott 2009), la pendiente de la playa (Brazeiro 1999) y la dinámica de acreción/erosión (McLachlan & Brown 2006). En general, las playas de latitudes medias de Chile poseen un patrón intra anual caracterizado por la pérdida de arena durante el invierno, debido principalmente a la mayor frecuencia de tormentas,

mientras que en verano tiende a producirse acumulación de arena. Este patrón ha sido registrado en playas de las regiones de Ñuble (Veas *et al.* 2017) y del Biobío (Villagrán *et al.* 2023). De acuerdo con Villagrán *et al.* (2023) las playas del Golfo de Arauco aquí analizadas se caracterizan por la presencia de procesos de erosión durante la mayor parte del año en la zona de Escuadrón, mientras que más al sur, en la Bahía de Coronel, ocurre erosión en invierno con estabilización del sedimento en verano. Los autores indican que los procesos de acreción ocurren principalmente en verano para la zona ubicada hacia

el sur de Lota, entre Laraquete y Llico, destacando en Tubul la ocurrencia de procesos de acreción en verano e invierno.

Normalmente, las comunidades de playas de arena responden a estos procesos con una mayor abundancia en verano y menor durante los meses de invierno (e.g., Leber 1982; Degraer *et al.* 1999; McLachlan & Brown 2006). Aunque la información sobre las comunidades macrobentónicas de playas de arena del Golfo de Arauco publicada en revistas con comité editorial es limitada (Jaramillo *et al.* 2012; Rodil *et al.* 2016; Sepúlveda & Valdivia 2017; Jaramillo *et al.* 2021), las investigaciones realizadas demuestran que la composición específica de éstas es similar a la observada otras playas de Chile centro-sur, donde las especies dominantes son el crustáceo decápodo *Emerita analoga*, isópodos del género *Excirrolana* y anfípodos talítridos normalmente *O. tuberculata* (e.g., Brazeiro *et al.* 1998; Contreras *et al.* 2003; Hernández *et al.* 1998; Jaramillo *et al.* 1993, 2001).

Estas especies poseen un patrón de distribución diferencial a lo largo del perfil de la playa, por un lado *E. analoga* habita en la zona de barrido de la ola y no más allá de la línea de resaca (límite de la arena saturada de agua), los isópodos del género *Excirrolana* viven preferentemente en la zona media del intermareal, mientras que *O. tuberculata* prefiere el intermareal superior (Jaramillo 1987). Esta distribución tiene implícita la mayor capacidad para soportar desecación de los crustáceos peracáridos, lo que se relaciona con la dinámica reproductiva de estas especies. Las hembras *E. analoga* portan los huevos fecundados hasta que de ellos eclosiona una larva zoea, la cual pasa en el plancton hasta cuatro meses antes de reclutar en la playa como megalopa (Johnson & Lewis 1942; Efford 1970). En cambio, los peracáridos incuban los huevos en una bolsa tipo marsupio que poseen las hembras, hasta que eclosionan pequeños juveniles (Richardson, 2000).

Nuestros resultados indican que las especies más abundantes registradas fueron el crustáceo decápodo *E. analoga*, los isópodos *E. hirsuticauda* y *E. braziliensis*, y el anfípodo *O. tuberculata*. Las especies *E. analoga* y *E. hirsuticauda* estuvieron presentes en todos los sitios estudiados, aunque con una abundancia que varió temporal y espacialmente (Fig. 2). En términos temporales, la menor abundancia total de la macrofauna fue observada durante invierno y verano entre la desembocadura del Biobío y Bahía de Coronel (sitios IA.1 a IA.8), llegando a cero en IA.1 e IA.2 durante invierno. Una de las especies más abundantes fue *E. analoga*, cuyas densidades fueron máximas en la campaña de octubre 2021, hallazgo que probablemente se deba al asentamiento de este crustáceo, ya que el número de individuos fue del orden de cientos en los sitios de mayor abundancia. Este máximo de abundancia en las campañas de primavera/verano en playas del Golfo de Arauco fue observado por Rodil *et al.* (2016), para la playa

de Llico (IA.19) entre el 2010 al 2013. Estudios efectuados a lo largo de Chile, indican que el máximo reclutamiento de *E. analoga* se produce principalmente en primavera/verano, entre los meses de octubre a diciembre (El Tabo 33,45° S, Osorio *et al.* 1967; Cobquecura 36,15° S a Dichato 36,55° S, Veas *et al.* 2013; Mehuín 39° S, Contreras *et al.* 1999). Por otro lado, en la costa de Valparaíso, Conan *et al.* (1975) informaron de dos períodos de asentamiento, uno en invierno y otro al inicio de la primavera (junio y finales de septiembre).

A diferencia de *E. analoga*, la abundancia del isópodo *E. hirsuticauda* fue alta en los tres muestreos realizados, aunque puntualmente los sitios IA.11 (Lota) y IA.13 (Chivilingo) presentaron mayores niveles durante el verano 2022. Estas observaciones coinciden con los hallazgos de Rodil *et al.* (2016), quienes encontraron que la abundancia de *E. hirsuticauda* en playa de Llico (IA.19) no mostró un patrón estacional claro a lo largo del período 2010-2013. Dado que esta especie posee desarrollo directo, su persistencia no depende del éxito de la fase larval y posterior asentamiento, sino de la disponibilidad de alimento y de la sobrevivencia de las hembras grávidas. El período reproductivo de *E. hirsuticauda* en la zona sur de Chile, ha sido reportado entre los meses de primavera/verano (Contreras *et al.* 2003). La alta abundancia de esta especie en IA.11 (Lota) y IA.13 (Chivilingo) durante el verano indicaría que en dichas playas del Golfo de Arauco podría estar ocurriendo lo mismo.

La abundancia del anfípodo *O. tuberculata* a lo largo de la costa del Golfo de Arauco fue baja en comparación con *E. analoga* y *E. hirsuticauda*. Uno de los principales factores que regula la abundancia de esta especie y de otros talítridos en el intermareal superior y en el suprameral, es la presencia de "wrack", término utilizado para designar los depósitos de materia orgánica que pueden acumularse en las playas de arena, compuestos por macroalgas, plantas terrestres, troncos y restos animales, cuyo origen principal son las varazones producto de la acción del oleaje (Colombini *et al.* 2000; Colombini & Chelazzi 2003, Jaramillo *et al.* 2006). Debido a que el wrack se acumula en parches, y que su presencia no es constante a lo largo del año, los organismos que se alimentan de él, o que lo utilizan como refugio, tienden a seguir su distribución tanto espacial como temporalmente.

En términos generales, nuestros resultados indican que la mayoría de los sitios ubicados entre la desembocadura del Biobío y El Blanco (IA.1 a IA.10, exceptuando IA.9, Playa Blanca) presentaron centroides alejados de la mayoría de los otros sitios en el NMDS, y se caracterizaron en general por una menor abundancia y riqueza taxonómica. Los sitios del IA.11 al IA.14 (Lota Bajo a Laraquete) tendieron a presentar las mayores abundancias y riquezas de especies. En tanto, los sitios ubicados al sur de IA.15 presentaron abundancias

intermedias en los tres muestreos, y en general, los valores más altos de diversidad. El análisis del efecto de las variables tipo de playa, dinámica sedimentaria, tamaño medio de grano, exposición de la línea de costa, distancia a la desembocadura del río Biobío y distancia de los principales centros industriales, sobre la estructura comunitaria, demostró que todas éstas mostraron significancia estadística en el NMDS, explicando en conjunto el 52 % de la variabilidad de la ordenación multivariada, destacando la dinámica sedimentaria, el tipo de playa y el tamaño medio de grano como las variables de mayor importancia. Los sitios ubicados entre la desembocadura del Biobío y la caleta El Blanco en Lota (IA.1 a IA.10) se caracterizaron, en general, por la presencia de procesos de erosión, con mayores tamaños de grano, ubicándose más cerca de centros urbanos y más cerca de la desembocadura del Biobío. En estos sitios las especies *E. analoga* y *O. tuberculata* fueron las más importantes, destacando que *O. tuberculata* presentó mayor abundancia en playas categorizadas como reflectivas y con mayor exposición de la costa. Por su parte, los sitios ubicados hacia la sección sur del golfo (IA.11 a IA.19) se caracterizaron como playas disipativas con presencia de procesos de acreción. En estos sitios se observó una mayor riqueza taxonómica, con mayor abundancia de anfípodos cirrolánidos y poliquetos.

Estos resultados indicarían que en playas erosivas, ubicadas hacia el norte del Golfo de Arauco, la riqueza y diversidad de especies es menor que la observada en la sección sur del golfo, donde el patrón de la dinámica de las playas estaría caracterizado por la mayor frecuencia de procesos de acreción. El patrón descrito también puede relacionarse con la mayor presencia de actividad industrial observada en Escuadrón (IA.3 a IA.5), Coronel (IA.6 a IA.8) y Lota (IA.10 a IA.11), y puede en parte explicar el máximo la riqueza y diversidad de especies observado en Playa Blanca (IA.9) balneario que se encuentra entre las bahías de Coronel y Lota, que no recibe influencia directa de la actividad industrial local. La pluma de la descarga del Biobío puede ser considerada también como un modulador de las comunidades intermareales de playas de arena, especialmente dado que se ha demostrado que durante el invierno su influencia abarca toda la zona de Escuadrón, extendiéndose hasta la Bahía de Coronel (Vergara *et al.* 2023), pudiendo explicar en parte la baja riqueza de especies observada en esta zona. Jaramillo *et al.* (2021) señalan que la presencia de estructuras costeras, tales como defensas, costaneras u otras estructuras construidas en el borde litoral afectan negativamente la diversidad y abundancia de la macrofauna intermareal de playas de arena, particularmente para aquellas especies que habitan el intermareal medio y superior. Por esta razón, resulta relevante para efectos de la futura Norma Secundaria, seleccionar sitios de muestreo

que, en lo posible, no estén directamente afectados por la presencia de este tipo de estructuras, como es el caso de los sitios aquí analizados.

En síntesis, los resultados obtenidos evidencian la complejidad de las interacciones biológico-ambientales que determinan la distribución y abundancia de las comunidades macrobentónicas en las playas de arena del Golfo de Arauco. Esto lleva a que sea difícil establecer relaciones directas entre la dinámica de las comunidades de la macrofauna de playas de arena analizadas y las intervenciones antrópicas a las que está sometida la zona litoral. En efecto, nuestros resultados evidencian que las variables que resultan más relevantes como factores que explican la estructura de las comunidades analizadas son la dinámica sedimentaria, el tipo de playa y el tamaño de grano, las cuales no están directamente asociadas con efectos antrópicos. Sin embargo, los sitios de muestreo que mostraron menores niveles de riqueza y diversidad de especies, se encuentran precisamente en las áreas donde la actividad industrial es más importante (Escuadrón, Coronel y Lota), pudiendo señalar la presencia de efectos sinérgicos entre condiciones ambientales naturales y factores antrópicos.

Nuestros resultados señalan la necesidad de profundizar en análisis que permitan comprender en el mediano plazo, en qué medida los cambios inducidos por el avance de la actividad industrial pueden afectar o no la dinámica de las playas de arena en una zona de múltiples usos, como es el Golfo de Arauco. Costa *et al.* (2022) examinan la respuesta de las comunidades de la macrofauna a perturbaciones de origen antropogénico y a la morfodinámica de las playas, indicando que las especies supralitorales responden negativamente a efectos locales, mientras que los organismos intermareales con etapas larvales planctónicas fueron más afectados por la urbanización a mayor escala, resultados que coinciden con lo descrito por Jaramillo *et al.* (2021) para el caso de playas que incluyeron zonas con defensas costeras en el Golfo de Arauco. Estos hallazgos subrayan la importancia de considerar la multiplicidad de factores capaces de generar perturbación en el análisis de los impactos humanos sobre estos ecosistemas, y destacan la necesidad de incorporar medidas integrales que consideren tanto los aspectos naturales como las perturbaciones antropogénicas en la conservación de la estructura y funcionalidad de las playas de arena.

CONCLUSIONES

Durante los meses de octubre 2021, enero 2022 y julio 2022 se muestreó 19 sitios de playas de arena en la zona costera del Golfo de Arauco, registrándose la presencia de siete taxones, que incluyeron al crustáceo anomuro *Emerita*

analog, al anfípodo *Orchestoidea tuberculata*, a los isópodos *Excirolana braziliensis* y *Excirolana hirsuticauda*, al coleóptero *Phaleria maculata*, y a poliquetos de las familias Spionidae y Opheliidae.

Las especies *E. analog*, *E. braziliensis*, *E. hirsuticauda*, *O. tuberculata* y *P. maculata* estuvieron presentes durante las tres campañas, siendo *E. hirsuticauda* la especie observada en el mayor número de unidades de muestreo.

El análisis de la estructura comunitaria permitió observar la existencia de un patrón espacial en el cual los sitios ubicados entre la desembocadura del Biobío, Coronel y Lota, tienden a segregarse del resto, debido a una mayor abundancia de *E. analog* y *O. tuberculata*, mientras que los sitios de muestreo ubicados en la sección sur del golfo, entre Colcura y Llico, se caracterizaron por una mayor presencia de *E. braziliensis*, *E. hirsuticauda*, y de los poliquetos Spionidae y Opheliidae.

La diferenciación entre campañas de muestreo, resultó menos evidente que la diferenciación entre sitios de muestreo, observándose sin embargo, que las campañas de enero y julio 2022 resultaron similares entre sí y distintas de octubre 2021, lo que se explica principalmente por la alta abundancia de *E. analog* observada en esta campaña.

El análisis de índices comunitarios demostró la existencia de diferencias significativas entre sitios para todos los índices analizados, observándose un patrón latitudinal caracterizado por valores más altos para la mayoría de los índices en las estaciones de muestreo ubicadas al sur del golfo. Por el contrario, el análisis entre campañas de muestreo, no mostró diferencias significativas, salvo en el caso de la abundancia, para la cual se observó valores significativamente más altos durante octubre de 2021, asociados a la mayor abundancia de *E. analog*.

Estos resultados revelan que las comunidades de playas de arena del Golfo de Arauco exhiben un patrón de distribución espacialmente consistente, observándose un quiebre hacia el sur de Lota, con una mayor riqueza y diversidad de especies hacia la sección sur del golfo y una mayor predominancia de *E. analog* y *O. tuberculata* hacia el norte. Los factores que explicaron esta diferenciación espacial se asociaron con la dinámica sedimentaria, el tipo de playa y la granulometría. La cercanía a centros industriales, a la desembocadura del río Biobío y la exposición de la línea de costa, no alcanzaron la importancia de las variables características del tipo de playa. Levantamientos de mediano plazo debieran permitir analizar la presencia de efectos sinérgicos entre condiciones naturales y efectos antropogénicos sobre la biodiversidad de las playas de arena, especialmente en el contexto del establecimiento de una nueva Norma Secundaria de Calidad Ambiental para el Golfo de Arauco.

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

- Anderson, M.J. 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology* 26: 32-46.
- Barbier, E.B., Hacker, S.D., Kennedy, C., Koch, E.W., Stier, A.C., Silliman, B.R. 2011. The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs* 81:169-193.
- 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>
- Brazeiro, A., Rozbaczylo, N., Fariña, J.M. 1998. Macrofaunal spatial distribution on a exposed sandy beach of central Chile: effects of intertidal morphodynamic. *Investigaciones Marinas* 26: 119-126. <https://doi.org/10.4067/S0717-71781998002600011>
- Brazeiro, A. 1999. Community patterns in sandy beaches of Chile: richness, composition, distribution and abundance of species. *Revista Chilena de Historia Natural* 72: 93-105.
- Brazeiro, A. 2001. Relationship between species richness and morphodynamics in sandy beaches: What are the underlying factors? *Marine Ecology Progress Series* 224. 35-44. [10.3354/meps224035](https://doi.org/10.3354/meps224035).
- Castro, L.R., Troncoso, V.A., Figueroa, D.R. 2007. Fine-scale vertical distribution of coastal and offshore copepods in the Golfo de Arauco, central Chile, during the upwelling season. *Progress in Oceanography* 75: 486-500.
- Colombini, I., Aloia, A., Fallaci, M., Pezzoli, G., Chelazzi, L. 2000. Temporal and spatial use of stranded wrack by the macrofauna of a tropical sandy beach. *Marine Biology* 136: 531-541.
- Colombini, I., Chelazzi, L. 2003. Influence of marine allochthonous input on sandy beach communities. *Oceanography and Marine Biology*, 41, 115-159.

- Conan, G., Melo, C., Yany, G. 1975. Evaluation de la production d'une population littorale du crabe Hippidae *Emerita analoga* (Stimpson) par intégration des paramètres de croissance et de mortalité. 10th European Symposium on Marine Biology 2: 129-150.
- Contreras, H., Defeo, O., & Jaramillo, E. 1999. Life History of *Emerita analoga* (Stimpson) (Anomura, Hippidae) in a Sandy Beach of South Central Chile. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 48(1): 101-112. <https://doi.org/10.1006/ecss.1998.0396>
- Contreras, H., Jaramillo, E., Duarte, C., Mclachlan, A. 2003. Population abundances, growth and natural mortality of the crustacean macroinfauna at two sand beach morphodynamic types in southern Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 76(4): 543-561. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2003000400002>
- Clarke, K., Ainsworth, M. 1993. A method of linking multivariate community structure to environmental variables. *Marine Ecology Progress Series* 92: 205-219.
- Chandía, C., Salamanca, M., Hernández, A., Bermedo, L., Hernández-Miranda, E., Inostroza-Michael, O. 2024. Variación Espacial y Estacional de Metales y Compuestos Orgánicos en los Sedimentos Costeros del Golfo de Arauco. *Gayana* 88(2): 195-214.
- Costa, L., Fanini, L., Zalmon, I.R., Defeo, O., Mclachlan, A. 2022. Cumulative stressors impact macrofauna differentially according to sandy beach type: A meta-analysis. *Journal of Environmental Management* 307: 114594. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114594>
- Defeo, O., Jaramillo, E., Lyonnet, A. 1992. Community Structure and Intertidal Zonation of the Macroinfauna on the Atlantic Coast of Uruguay. *Journal of Coastal Research* 8(4): 830-839.
- Defeo, O., Mclachlan, A. 2005. Patterns, processes and regulatory mechanisms in sandy beach macrofauna: a multi-scale analysis. *Marine Ecology Progress Series* 295: 1-20. <https://doi.org/10.3354/meps295001>
- Defeo, O., Mclachlan, A., Schoeman, D.S., Schlacher, T.A., Dugan, J., Jones, A., Lastra, M., Scapini, F. 2009. Threats to sandy beach ecosystems: A review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 81: 1-12.
- Degraer, S., Mouton, I., De Neve, L., Vincx, M. 1999. Community structure and intertidal zonation of the macrobenthos on a macrotidal, ultra-dissipative sandy beach: Summer-winter comparison. *Estuaries* 22(3): 742-752. <https://doi.org/10.2307/1353107>
- Efford, I. 1970. Recruitment to sedentary marine populations as exemplified by the mole crab, *Emerita analoga* (Decapoda, Hippidae). *Crustaceana* 18: 293-308.
- Fernández, M., Jaramillo, E., Marquet, P.A., Moreno, C.A., Navarrete, S.A., Ojeda, F.P., Valdovinos, C.R., Vazquez, J. 2000. Diversity, dynamics and biogeography of Chilean benthic nearshore ecosystems: an overview and guidelines for conservation. *Revista Chilena de Historia Natural*.
- Gray, J.S., Elliott, M. 2009. *Ecology of Marine Sediments: From Science to Management*. Oxford University Press. 241 pp. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198569015.001.0001>
- Hernández, C.E., Contreras, S.H., Gallardo, J.A., Cancino, J.M. 1998. Estructura comunitaria de la macroinfauna a lo largo de una playa arenosa de Chile central: Lenga, Bahía San Vicente. *Revista Chilena de Historia Natural* 71: 303-311.
- Huettel, M., Rusch, A. 2000. Transport and degradation of phytoplankton in permeable sediment. *Limnology and Oceanography* 45: 534-549.
- Jaramillo, E. 1987. Sandy beach macroinfauna from the Chilean coast: zonation patterns and zoogeography. *Vie et Milieu* 37: 165-174.
- Jaramillo, E., Mclachlan, A. 1993. Community and population responses of the macroinfauna to physical factors over a range of exposed sandy beaches in south-central Chile. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 37: 615-624.
- Jaramillo, E., Mclachlan, A., Coetzee, P. 1993. Intertidal zonation patterns of macroinfauna over a range of exposed sandy beaches in south-central Chile. *Marine Ecology Progress Series* 101: 105-118. <https://doi.org/10.3354/meps101105>
- Jaramillo, E. 1994. Patterns of species richness in sandy beaches of South America. *South African Journal of Zoology* 29: 227-234.
- Jaramillo, E., Contreras, H., Duarte, C., Quijón, P. 2001. Relationships Between Community Structure of the Intertidal Macroinfauna and Sandy Beach Characteristics Along the Chilean Coast. *Marine Ecology* 22(4): 323-342. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0485.2001.01752.x>
- Jaramillo, E., De La Huz, R., Duarte, C., Contreras, H. 2006. Algal wrack deposits and macroinfaunal arthropods on sandy beaches of the Chilean coast. *Revista Chilena de Historia Natural* 79: 337-351. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2006000300006>
- Jaramillo, E., Manzano, M., Morales, G., Velázquez, C. 2012. Interacción entre defensas costeras artificiales en playas arenosas y perturbaciones naturales de gran escala: el terremoto del 27F de 2010 en la costa del centro-sur de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande* 53: 75-84. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022012000300005>
- Jaramillo, E., Dugan, J., Hubbard, D., Manzano, M., Duarte, C. 2021. Ranking the ecological effects of coastal armoring on mobile macroinvertebrates across intertidal zones on sandy beaches. *Science of The Total Environment* 755: 142573. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142573>
- Johnson, M.W., Lewis, W.W. 1942. Pelagic larval stages of the mole crabs *Emerita analoga* (Stimpson), *Blepharipoda occidentalis* Randall, and *Lepidopa myops* Stimpson.

- Biological Bulletin 83: 67-87.
- Kassambara, A. 2023a. rstatix: Pipe-Friendly Framework for Basic Statistical Tests. R package version 0.7.2. <https://CRAN.R-project.org/package=rstatix>.
- Kassambara, A. 2023b. ggpubr: 'ggplot2' Based Publication Ready Plots. R package version 0.6.0, <https://CRAN.R-project.org/package=ggpubr>.
- Landaeta, M.F., Castro, L.R. 2006. Spawning and larval survival of the Chilean hake *Merluccius gayi* under later summer conditions in the Gulf of Arauco, central Chile. Fisheries Research 77: 115-121.
- Leber, K.M. 1982. Seasonality of macroinvertebrates on a temperate, high wave energy sandy beach. Bulletin of Marine Science 32: 86-98.
- Letelier, J., Pizarro, O., Nuñez, S. 2009. Seasonal variability of coastal upwelling and the upwelling front off central Chile. Journal of Geophysical Research: Oceans 114.
- MA. 2005. Ecosystems and human well-being: synthesis. Island Press, Washington, DC.
- Martínez, C., Grez, P.W., Martín, R.A., Acuña, C.E., Torres, I., Contreras-López, M. 2022. Coastal erosion in sandy beaches along a tectonically active coast: The Chile study case. Progress in Physical Geography: Earth and Environment 46: 250-271. SAGE Publications Ltd.
- McLachlan, A., Brown, A.C. 2006. The Ecology of Sandy Shores. Elsevier. 387 pp. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-372569-1.X5000-9>
- McLachlan, A., Defeo, O., Jaramillo, E., Short, A.D. 2013. Sandy beach conservation and recreation: Guidelines for optimizing management strategies for multi-purpose use. Ocean & Coastal Management 71: 256-268. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2012.10.005>
- Mead, A. 1992. Review of the Development of Multidimensional Scaling Methods. Journal of the Royal Statistical Society. Series D (The Statistician) 41: 27-39. Royal Statistical Society, Wiley.
- Nel, R., Campbell, E.E., Harris, L., Hauser, L., Schoeman, D.S., McLachlan, A., Du Preez, D.R., Bezuidenhout, K., Schlacher, T.A. 2014. The status of sandy beach science: Past trends, progress, and possible futures. Estuarine, Coastal and Shelf Science 150: 1-10.
- Neumann, B., Vafeidis, A.T., Zimmermann, J., Nicholls, R.J. 2015. Future Coastal Population Growth and Exposure to Sea-Level Rise and Coastal Flooding - A Global Assessment. PLOS ONE 10:e0118571. Public Library of Science.
- Oksanen, J., Simpson, G. L., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., O'hara, R. B., Solymos, P., Stevens, M. H. H., Szoecs, E., Wagner, H., Barbour, M., Bedward, M., Bolker, B., Borcard, D., Carvalho, G., Chirico, M., Caceres, M. D., Durand, S., Evangelista, H. B. A., Fitzjohn, R., Friendly, M., Furneaux, B., Hannigan, G., Hill, M. O., Lahti, L., Mcglinn, D., Ouellette, M.-H., Cunha, E. R., Smith, T., Stier, A., Braak, C. J. F. T., Weedon, J. 2022. vegan: Community Ecology Package. R package version 2.6-6.1 <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- Osorio C., Bahamonde, N., López, M.T. 1967. El Limanche [*Emerita analoga* (Stimpson)] en Chile: Boletín Museo Nacional de Historia Natural (Chile) 29: 61-116
- Pacheco, A., Ferreira, Ó., Williams, J.J., Garel, E., Vila-Concejo, A., Dias, J.A. 2010. Hydrodynamics and equilibrium of a multiple-inlet system. Marine Geology 274: 32-42.
- Parlagreco, L., Melito, L., Devoti, S., Perugini, E., Soldini, L., Zitti, G., Brocchini, M. 2019. Monitoring for Coastal Resilience: Preliminary Data from Five Italian Sandy Beaches. Sensors 19: 1854. Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- Pielou, E.C. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. Journal of Theoretical Biology 13: 131-144.
- R Core Team. 2024. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>. Vienna, Austria.
- Richardson, A., Chester, E.T., Swain, R. 2000. Brood plate morphology and its implications for brooding in an ecological series of talitrid amphipods. Polskie Archiwum Hydrobiologii. 47: 631-642.
- Rodil, I.F., Jaramillo, E., Acuña, E., Manzano, M., Velásquez, C. 2016. Long-term responses of sandy beach crustaceans to the effects of coastal armouring after the 2010 Maule earthquake in South Central Chile. Journal of Sea Research 108: 10-18. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2015.12.007>
- Roukounis, C.N., Tsihrintzis, V.A. 2022. Indices of Coastal Vulnerability to Climate Change: a Review. Environmental Processes 9: 29. <https://doi.org/10.1007/s40710-022-00577-9>
- Rozbaczylo, N. 1980. Clave para el reconocimiento de familias de anélidos poliuetos del mar chileno. Studies on Neotropical Fauna and Environment 15: 167-196. Taylor & Francis.
- Rozbaczylo, N. 2007. Clave para las familias de Polychaeta. Clave traducida por N. Rozbaczylo de: Glasby, C.J. & K. Fauchald. 2000. Clave para las familias de Polychaeta. pp. 53-61 In: Beesley, P.L., Ross, G.J.B., Glasby, C.J. (Eds.) Polychaetes & Alliens: The Southern Sintesis. Fauna of Australia. Vol. 4ª Polychaeta, Myzostomida, Pogonophora, Echiura, Sipuncula. Csiro Publishing: Melbourne XII. 465 pp.
- Rozbaczylo, N., Moreno, R.A., Díaz-Díaz, O. 2017. Poliuetos bentónicos en Chile: pp. 51-70. En: Díaz-Díaz, O., Bone, D., Rodríguez, C.T., Delgado-Blas, V.H. (Eds.), Poliuetos de Sudamérica. Volúmen especial del Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela. Cumaná, Venezuela
- Schoeman, D.S., Schlacher, T.A., Defeo, O. 2014. Climate-change impacts on sandy-beach biota: crossing a line in the sand.

- Global Change Biology 20: 2383-2392.
- Seers, B. 2022. windfetch: Calculate Wind Fetch. R package version 0.1.1, <https://github.com/blasee/windfetch>.
- Sepúlveda, R.D., Valdivia, N. 2017. Macrobenthic Community Changes of Intertidal Sandy Shores after a Mega-Disturbance. *Estuaries and Coasts* 40(2): 493-501. <https://doi.org/10.1007/s12237-016-0158-1>
- Shannon, C.E., Weaver, W. 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press. Urbana, IL, EEUU. 144 pp.
- Short, A.D. 1996. The role of wave height, period, slope, tide range and embaymentisation in beach classifications: a review. *Revista Chilena de Historia Natural*: 589-604.
- Short, A.D. 1999. *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. John Wiley, London, 379 pp.
- Simpson, E. H. 1949. Measurement of Diversity. *Nature* 163:688-688.
- Small, C. & Nicholls, R. J. 2003. A Global Analysis of Human Settlement in Coastal Zones. *Journal of Coastal Research* 19:584-599. Coastal Education & Research Foundation, Inc.
- Sobarzo, M., Saldías, G. S., Tapia, F. J., Bravo, L., Moffat, C. & Largier, J. L. 2016. On subsurface cooling associated with the Biobío River Canyon (Chile). *Journal of Geophysical Research: Oceans* 121:4568-4584.
- Thompson, L. M. C. & Schlacher, T. A. 2008. Physical damage to coastal dunes and ecological impacts caused by vehicle tracks associated with beach camping on sandy shores: a case study from Fraser Island, Australia. *Journal of Coastal Conservation* 12: 67-82.
- 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: Oceans* 108.
- Veas, R., Hernández-Miranda, E., Quiñones, R.A., Díaz-Cabrera, E., Rojas, J.M., Fariña, J.M. 2013. The influence of environmental factors on the abundance and recruitment of the sand crab *Emerita analoga* (Stimpson 1857): Source-sink dynamics? *Marine Environmental Research* 89: 9-20. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2013.04.004>
- Veas, R., Hernández-Miranda, E., Martínez, C., Lercari, D., Quiñones, R. 2017. Spatial-temporal changes of the morphodynamic beach state before and after the 2010 mega-earthquake and tsunami along south-central Chile. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 51(2): 237-253. <https://doi.org/10.1080/00288330.2016.1206577>
- Venables, W.N., Ripley, B.D. 2002. *Modern Applied Statistics with S*. Fourth Edition. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0. 498 pp.
- Vergara, O., Echevin, V., Sobarzo, M., Sepúlveda, H., Castro, L., Soto, 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>
- Villagrán, M., Gómez, M., Martínez, C. 2023. Coastal Erosion and a Characterization of the Morphological Dynamics of Arauco Gulf Beaches under Dominant Wave Conditions. *Water* 15, 23. <https://doi.org/10.3390/w15010023>
- Volkenborn, N., Polerecky, L., Hedtkamp, S.I.C., Van Beusekom, J.E.E., De Beer, D. 2007. Bioturbation and bioirrigation extend the open exchange regions in permeable sediments. *Limnology and Oceanography* 52(5): 1898-1909. doi:10.4319/lo.2007.52.5.1898
- Wickham, H. 2016. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York.
- Winckler, P., Contreras-López, M., Campos-Caba, R., Beyá, J.F., Molina, M. 2017. The storm of August 8, 2015 in the regions of Valparaíso and Coquimbo, Central Chile. *Latin American Journal of Aquatic Research* 45:622-648.
- Winckler, P., Aguirre, C., Farías, L., Contreras-López, M., Masotti, Í. 2020. Evidence of climate-driven changes on atmospheric, hydrological, and oceanographic variables along the Chilean coastal zone. *Climatic Change* 163: 633-652.
- Winckler, P., Contreras-López, M., Garreaud, R., Meza, F., Larraguibel, C., Esparza, C., Gelcich, S., Falvey, M., Mora, J. 2022. Analysis of Climate-Related Risks for Chile's Coastal Settlements in the ARclim Web Platform. *Water* 14: 3594.
- 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.
- Yannicelli, B., Castro, L.R., Valle-Levinson, A., Atkinson, L., Figueroa, D. 2006. Vertical distribution of decapod larvae in the entrance of an equatorward facing bay of central Chile: implications for transport. *Journal of Plankton Research* 28: 19-37

Received: 10.05.2024

Accepted: 14.11.2024