

PROGRAMA DE MONITOREO MEDIO MARINO Y ESTUARINO. PROYECTO MAPA

(MODERNIZACIÓN AMPLIACIÓN PLANTA ARAUCO. MAPA).



ECOLOGÍA BENTÓNICA SUBMAREAL MACROINVERTEBRADOS

**Campaña 9.
2^{do} Trimestre 2017**

INSTITUCIÓN EJECUTORA

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y OCEANOGRÁFICAS

DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFÍA

PERSONAL PARTICIPANTE

Investigador Principal:

Dr. Eduardo Hernández

Co-Investigadores

Dr. Rodrigo Veas

Dra. Patricia Bocaz

Dra. M. Cristina Krautz

ÍNDICE

1. RESUMEN	4
2. INTRODUCCIÓN	6
3. OBJETIVO	7
4. MATERIALES Y MÉTODOS	8
4.1. Trabajo en Terreno	8
4.2. Trabajo en Laboratorio	10
5. RESULTADOS	13
5.1. Sedimento	13
5.2. Macrofauna	17
6. DISCUSIÓN	40
7. CONCLUSIONES	43
8. REFERENCIAS	44

1. RESUMEN

Durante el mes de mayo del 2017 se llevó a cabo la novena campaña para “monitorear los parámetros comunitarios de la macrofauna bentónica sublitoral y estuarina” en el área adyacente al Complejo Horcones de Arauco. Este estudio se enmarca dentro del Programa de Monitoreo del Ambiente Marino y Estuarino. RCA 037-2014 “Modernización Ampliación Planta Arauco”.

Esta campaña se ejecutó de acuerdo lo señalado por la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA) que exigió que a partir del 1° de octubre de 2016, todas las actividades muestreo, medición y/o análisis deban ser ejecutadas por una o más Entidades Técnicas de Fiscalización Ambiental (ETFA). En consecuencia, dichas actividades se realizaron con ETFA’s autorizadas por la SMA y empresas acreditadas por el Instituto Nacional de Normalización (INN) siguiendo el orden jerárquico dictado por la SMA y las exigencias impuestas en la Res. Ex. N°37/2013 y el DS N°38/2013.

Los sedimentos marinos se clasificaron como arena fina, a excepción de LBA-13 que se clasifica como Arena Muy Fina. En la mayoría de las estaciones el porcentaje de limo-arcilla fue menor a 1.0%, excepto en LBA-13 donde fue de 4.41%, y en LBA-05 donde fue 1.35%. El contenido de materia orgánica total (%MOT) en los sedimentos, presentó un rango desde 1.47% en LBA-08 hasta un 3.46% en LBA-13. Las mediciones de potencial Redox mostraron condiciones reductoras para las estaciones LBA-01 y LBA-06. Los sedimentos estuarinos estuvieron compuestos por arena muy fina en río Laraquete (LBA-17), y arena gruesa en el río Carampangue (LBA-18). En el caso de LBA-17 (río Laraquete) presentó un 99.04% de arena, mientras que en LBA-18 (río Carampangue) el sedimento presentó un 13.43% de grava y un 86.53% de arena. El contenido de materia orgánica (%MOT) fue de 1.0% en LBA-17, y <0.1% en LBA-18. Solamente en LBA-18 el potencial Redox del sedimento indicó condiciones reductoras.

La macrofauna sublitoral del área marina adyacente al Complejo Horcones estuvo representada por un total de 77 especies (o taxa), siendo Polychaeta el grupo más importante, tanto en términos de abundancia (91.11%), como en biomasa (73.25%). Las especies más abundantes fueron: *Polydora socialis* (8908 ind 3.2 m⁻²; 21.53%), *Aricidea pigmentata* (8528

ind 3.2 m⁻²; 20.61%), *Prionospio peruana* (6397 ind 3.2 m⁻²; 15.46%), *Spiophanes bombyx* (5418 ind 3.2 m⁻²; 13.09%), *Mediomastus branchiferus* (2584 ind 3.2 m⁻²; 6.24%), *Paraprionospio pinnata* (1973 ind 3.2 m⁻²; 4.77%), y Oedocerotidae (1948 ind 3.2 m⁻²; 4.71%).

El análisis de la estructura comunitaria del área marina por medio de clasificación (análisis de conglomerados) y ordenación (MDS) sugieren visualmente tres grupos: I) LBA-ZPL, II) LBA-01, LBA-03 y LBA-08, y III) LBA-05, LBA-06, LBA-10 y LBA-13.

La macrofauna colectada en las desembocaduras de los ríos Laraquete (LBA-17) y Carampangue (LBA-18) en su conjunto alcanzó un total de 14 especies (o taxa), y estuvo dominada en términos numéricos (86.52%) y en biomasa (97.30%) por Polychaeta. Las especies más abundantes fueron: *Perinereis cf. gualpensis* (738 ind 0.2 m⁻², 35.67%), *Spio* sp. (659 ind 0.2 m⁻², 31.85%), *Capitella* sp. (328 ind 0.2 m⁻², 15.85%), Oligochaeta Indet. (184 ind 0.2 m⁻², 8.89%), y Amphipoda (79 ind 0.2 m⁻², 3.82%). Los análisis de similitud (ANOSIM) y PERMANOVA encuentran diferencias significativas en la estructura comunitaria de los ríos Laraquete y Carampangue.

Según los índices SEP y W en conjunto, ninguna estación, ni marina, ni estuarina presentarían algún grado de perturbación. Sin embargo, si sólo consideramos SEP, ninguna de las 2 estaciones estuarinas presentarían perturbación, mientras que todas las estaciones marinas, excepto LBA-13, estarían perturbadas.

2. INTRODUCCIÓN

Los hábitat bentónicos sustentan diversas comunidades, las cuales están constituidas por especies que poseen diferentes respuestas al *stress* natural y antropogénico (Forde *et al.*, 2013). En efecto, la macrofauna bentónica posee muchas cualidades ventajosas para evaluar la calidad ambiental (Pearson & Rosenberg, 1978; Carrasco & Gallardo, 1989; Gray *et al.*, 1988; Levin *et al.*, 2001; Paul *et al.*, 2001; Dauvin, 2007). Entre ellas, son organismos sedentarios, poco móviles y muchas especies son sensitivas a la contaminación. Además, poseen ciclos de vida que van desde escalas temporales de meses hasta años, lo que les permite integrar los efectos ambientales por largos períodos de tiempo y en lugares localizados. En consecuencia, el monitoreo de los cambios en la estructura comunitaria de la fauna bentónica se ha convertido en una herramienta importante en la evaluación de efectos antropogénicos sobre el ecosistema acuático (Clarke & Warwick, 2001; Marques *et al.*, 2012).

El presente estudio se enmarca dentro del Programa de Monitoreo del Ambiente Marino y Estuarino, (RCA 037-2014, considerando 8.6 Plan de Seguimiento Ambiental: Efluente, Aguas Subterráneas, Medio Marino, Estuarino y Río, Programa de Monitoreo Río Carampangue, “Modernización Ampliación Planta Arauco”). Este programa contempla “*el seguimiento del ambiente marino y estuarino a través del monitoreo de las siguientes matrices ambientales: ecología bentónica de nivel submareal e intermareal, calidad de la columna de agua, sedimento y organismos, avifauna, plancton, hidrografía, bioensayos y biomarcadores (bioindicadores)*” (Ver Tabla 1). En este informe se reportan los resultados de la novena campaña de monitoreo del macrobentos sublitoral y estuarino. El muestreo y análisis de la macrofauna bentónica fue realizado por el Laboratorio de Ecología Bentónica de la empresa Ecogestión Ambiental Ltda., laboratorio acreditado por el INN bajo la Norma Chilena 17025 Of. 20005, Acreditación LE 1284 para la macrofauna bentónica. Las mediciones de Potencial Redox y granulometría fueron realizadas también por Ecogestión Ambiental Ltda., laboratorio acreditado por el INN, Acreditación LE 1283. La Materia Orgánica Total y humedad para las estaciones marinas las realizó el laboratorio Biotecmar de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, y las mediciones de Humedad en las estaciones estuarinas el Laboratorio Comercial SGS-Chile. Ambos laboratorios acreditados

y autorizados como ETFA por la SMA. El análisis de los datos fue desarrollado por la Universidad de Concepción.

Tabla 1. Programa de Monitoreo de Ecología Bentónica Submareal (extraído de RCA 037/2017, Tabla 8-17).

Matriz	N° de estaciones de Muestreo/Repeticiones	Localización de Estación	Parámetros
Marina	8 estaciones	<p>Las mismas 7 estaciones monitoreadas para el levantamiento de información de la Línea de Base del presente EIA.</p> <p>Adicionalmente se agrega una estación en la Zona de Protección Litoral (ZPL)</p> <p>Las estaciones involucradas en este monitoreo son: LBA-1, LBA-3, LBA-5, LBA-6, LBA-8, LBA-10, LBA-13, LBA- ZPL</p>	<p>Parámetros físicos: Granulometría, MOT</p> <p>Parámetros Biológicos y Comunitarios: Diversidad específica (Shannon-Wiener), Relación o medida de equidad o uniformidad, Cálculo del número esperado de especies, Análisis de similitudes, Análisis de varianza, Clasificación numérica, Ordenación comunitaria, Curvas ABC, Curvas RSA, Índice SEP.</p>
Estuarina	2 estaciones	<p>1 estación en Laraquete 1 estación en Carampangue</p> <p>Las estaciones corresponden a aquellas monitoreadas durante el levantamiento de información de la Línea de Base.</p> <p>Las estaciones involucradas en este monitoreo son: LBA-17, LBA-18</p>	<p>Parámetros físicos: Granulometría, MOT</p> <p>Parámetros Biológicos y Comunitarios: Diversidad específica (Shannon-Wiener), Relación o medida de equidad o uniformidad, Cálculo del número esperado de especies, Análisis de similitudes, Análisis de varianza, Clasificación numérica, Ordenación comunitaria, Curvas ABC, Curvas RSA, Índice SEP.</p>

3. OBJETIVO

Conforme a la RCA 037-2014 “Modernización Ampliación Planta Arauco (Tabla 8-1)”, el objetivo del presente estudio es monitorear los parámetros comunitarios de la macrofauna bentónica sublitoral y estuarina.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Trabajo en Terreno

4.1.1. Área Marina

Durante el mes de mayo del 2017 se llevó a cabo la novena campaña de monitoreo del macrozoobentos sublitoral. Éste se realizó por medio de un crucero oceanográfico, a bordo de la L/C Kay Kay II, perteneciente a la Universidad de Concepción. La obtención de muestras y análisis de ellas fue realizada por la empresa Ecogestión Ambiental Ltda., laboratorio acreditado por el INN bajo Norma Chilena 17025 Of. 20005, Acreditación LE 1284 para la macrofauna bentónica. El diseño de muestreo consistió en un total de 8 estaciones localizadas en las cercanías del emisario submarino del Complejo de Celulosa Horcones de Arauco, incluyendo una estación en la Zona de Protección Litoral (ZPL) (Figura 1, Tabla 2). Las muestras de macrofauna bentónica fueron obtenidas por medio de una draga van Veen modificada, de área de mascada de 0.1 m². En cada estación se recolectaron un total de 4 réplicas, las cuales fueron individualmente lavadas y cernidas en un tamiz de 500 µm, para ser posteriormente preservadas en formalina en agua de mar al 10%, y etiquetadas para su posterior revisión en laboratorio.

Adicionalmente, se midió el potencial Redox del sedimento por medio de una sonda electrónica (Metodología de ensayo y muestreo establecida en la Resolución Exenta SUBPESCA N° 3612 de 2009 - N° 1508 de 2014 - N° 2656 de 2014. Punto 26, letra A i, ii y iii), y se obtuvo muestras para análisis granulométrico y de contenido de materia orgánica total.

4.1.2. Área Estuarina

También durante mayo del 2017 se colectaron muestras bentónicas en dos estaciones ubicadas en la zona de la desembocadura de los ríos Laraquete y Carampangue (Figura 1. Tabla 2). En ambas estaciones se tomaron cuatro réplicas, utilizando una draga del tipo Emery, con área de mascada de 0.025 m². El procesamiento de las muestras biológicas estuarinas siguió el mismo protocolo ya señalado para las muestras colectadas en el ambiente marino. En cada estación se midió también el potencial Redox de los sedimentos siguiendo la metodología de ensayo y muestreo establecida en la Resolución Exenta SUBPESCA N° 3612 de 2009 - N° 1508 de 2014 - N° 2656 de 2014. Punto 26, letra A i, ii y iii; además de muestras para análisis granulométrico y contenido de materia orgánica total en laboratorio.

Tabla 2. Posición geográfica de las estaciones de muestreo para la macrofauna sublitoral marina y estuarina.

Ambiente	Estaciones	Coordenadas (UTM)		Profundidad (m)
Marino	LBA1	660230.38 m E	5886083.02 m S	14
	LBA3	656159.02 m E	5882106.57 m S	12
	LBA5	650529.66 m E	5879207.05 m S	14
	LBA6	655736.98 m E	5887451.09 m S	20
	LBA8	653468.58 m E	5885265.59 m S	17
	LBA10	648883.01 m E	5883538.90 m S	20
	LBA13	651728.30 m E	5887683.33 m S	30
	LBA-ZPL	656494.99 m E	5881598.08 m S	7
Estuarino	LBA-17	660938.00 m E	5885221.00 m S	1 a 2
	LBA-18	650687.93 m E	5877585.04 m S	1 a 2



Figura 1. Imagen de google earth mostrando las estaciones de muestreo para la macrofauna bentónica sublitoral y estuarina. En el recuadro naranja se indica el Complejo Horcones. La línea celeste es el límite de la Zona de Protección Litoral (ZPL).

4.2. Trabajo en Laboratorio

4.2.1. Muestras de Sedimentos

La granulometría del sedimento se determinó siguiendo la metodología de ensayo y muestreo establecida en la Resolución Exenta SUBPESCA N° 3612 de 2009 - N° 1508 de 2014 - N° 2656 de 2014. Punto 26, letra A ii, la cual es similar a la metodología usada en los informes previos (Buchanan, 1971). El tamaño medio de grano y el *sorting* fueron calculados por el método de los momentos, utilizando el programa GRADISTAT v8.0 (Blott & Pye, 2001). El contenido de materia orgánica total en las estaciones marinas se determinó siguiendo la metodología de ensayo y muestreo establecida en la Resolución Exenta SUBPESCA N° 3612 de 2009 - N° 1508 de 2014 - N° 2656 de 2014, mientras que en las estaciones estuarinas se estimó a partir de la metodología I-ENV-LAB-307 basado en métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile (INIA, 2006).

4.2.2. Muestras Biológicas

En el laboratorio, cada una de las muestras fue teñida con Rosa Bengala con el fin de facilitar la visualización y separación de los organismos de tamaño pequeño. Tanto la separación de organismos, así como su conteo e identificación taxonómica, se llevaron a cabo bajo estereomicroscopio. Los individuos de cada taxón fueron contados, y luego se les eliminó el exceso de líquido con papel absorbente, en seguida su peso húmedo fue determinado en una balanza analítica. A continuación, el peso húmedo de los diferentes taxa fue transformado a peso seco siguiendo los factores de conversión dados por Thorson (1957), Lie (1968), Rosenberg & Moller (1979) y Ricciardi & Bourget (1998).

Finalmente, se construyeron dos matrices de datos, una de abundancia (número) y otra de biomasa (peso seco, g). Ambas resumen la información para cada taxón en cada una de las estaciones de muestreo, las que fueron utilizadas para realizar los análisis numéricos y estadísticos que se describen a continuación.

4.2.3. Análisis de Datos

Con el objetivo de evaluar si hay diferencias significativas de abundancia total y/o biomasa total entre las estaciones de muestreo, tanto marinas como estuarinas, se realizó un análisis PER-ANOVA (Anderson, 2001), y en el caso de encontrar diferencias significativas, se hicieron comparaciones por pares (“*pair-wise*”) entre las estaciones de muestreo. Los análisis fueron realizados con los programas PRIMER v6 y PERMANOVA+ para PRIMER (Clarke & Warwick, 2001; Clarke & Gorley, 2006; Anderson *et al.*, 2008).

La diversidad biológica fue evaluada para cada estación de muestreo por medio de: la riqueza de especies (S), índice de diversidad de Shannon-Wiener (H’), índice de equidad de Pielou (J’) (Magurran, 2004; Levin & Gage, 1998), y el número esperado de especies. El cálculo del número esperado de especies (Magurran, 2004) se determinó utilizando los valores de abundancias obtenidas en las muestras de los distintos sitios estudiados de ambas comunidades (marina y estuarina), por medio del programa Estimates 9.1.0 (Colwell, 2013), obteniendo así dos índices distintos, los cuales fueron utilizados para comparar la riqueza de especies. El primero, corresponde a la riqueza de especies estimada S(est), donde el número

esperado de especies, se obtuvo del grupo de muestras obtenidas (32 muestras para sitios marinos y 8 muestras sitios estuarinos) según Colwell (2013). El segundo, corresponde al índice de Coleman (Cole), donde el número de especies se obtiene del número de individuos distribuidos al azar entre muestras (Coleman, 1981; Coleman *et al.*, 1982).|

Complementariamente, se construyeron curvas RSA (“*rank species abundance*”) (Shaw *et al.*, 1983) para cada estación, con la finalidad de visualizar los casos en que hubiese una alta dominancia de algún o algunos taxa.

Las similitudes en la composición y abundancia de la macrofauna entre las estaciones de muestreo fue explorada por medio de los siguientes análisis: i) análisis de similitudes (ANOSIM, Clarke & Green, 1988), ii) análisis de conglomerados, iii) Análisis de escalamiento no-métrico multidimensional (MDS).

Los datos de abundancia ocupados para los tres análisis mencionados, se procesaron siguiendo el procedimiento descrito por Field *et al.* (1982). Este procedimiento para el pretratamiento de los datos de abundancia, consiste primeramente en estandarizar a porcentaje del total de cada muestra, y luego transformarlos, en este caso, a raíz cuarta. Con la matriz resultante se calculó una matriz de similitud basada en el índice de Bray-Curtis, la cual se utilizó en los análisis ANOSIM, de conglomerados y MDS.

Además, para validar estadísticamente los resultados obtenidos por el análisis de conglomerados y por el MDS, se utilizaron, en el caso del análisis de conglomerados, el test de Perfiles de Similitud (SIMPROF), el cual es un test de remuestreo que evalúa la hipótesis nula de que un set de muestras específico, el cual no está dividido *a priori* en grupos, no difieren entre ellas en su estructura multivariada. De esta forma se obtiene la significancia estadística de los conglomerados (“*clusters*”) visualizados en el dendrograma. Adicionalmente, y utilizando la misma matriz de similitud de Bray-Curtis generada para los análisis de clasificación y ordenación, se llevó a cabo un PERMANOVA (“*Permutational Multivariate Analysis of Variance*”; Anderson, 2001), seguido de un análisis “*pair-wise*” con el fin de detectar diferencias significativas entre las estaciones de muestreo. Todos estos análisis se hicieron en el programa PRIMER v6 y PERMANOVA+ para PRIMER (Clarke & Warwick, 2001; Clarke & Gorley, 2006; Anderson *et al.*, 2008).

Una aproximación para evaluar si una comunidad bentónica está perturbada es la metodología conocida como curvas ABC (“*Abundance Biomass Comparison*”; Warwick, 1986). Esta consiste en graficar simultáneamente una curva de k-dominancia para abundancia y otra para biomasa. Teóricamente, en ambientes no perturbados, la presencia de organismos de mayor tamaño da como resultado que la curva de biomasa se encuentre por sobre la de abundancia, mientras que en ambientes altamente perturbados, dominados por organismos de pequeño tamaño, la curva de abundancia se sitúa por encima de la curva de biomasa, y en ambientes moderadamente perturbados, ambas curvas tienden a estar sobrepuestas e incluso se pueden cruzar una o más veces entre sí (Warwick & Clarke, 1994). Para evaluar en forma más objetiva las curvas ABC, se calculó el estadístico W (Clarke, 1990), el cual va desde -1 a +1; los valores negativos indican que la curva de abundancia se encuentra por sobre la curva de biomasa, mientras que los valores positivos indican lo contrario.

Como complemento a las curvas ABC, se estimó el índice SEP (“*Shannon Evenness Proportion*”; McManus & Pauly, 1990), el cual es una herramienta basada en las curvas ABC, pero que permite visualizar cambios en las comunidades bentónicas en una serie de tiempo. El índice SEP resulta de la proporción entre el índice de equidad de Pielou (J') calculado con la biomasa y del mismo índice pero obtenido con la abundancia. Valores mayores a 1 indican que la biomasa tiene mayor equidad que la abundancia, por lo tanto, existe más dominancia en términos numéricos, lo que se asociaría con una comunidad potencialmente perturbada.

5. RESULTADOS

5.1. Sedimento

Los resultados de las mediciones y análisis granulométrico para las muestras de sedimento recolectadas tanto en el área marina como en la estuarina (ríos Carampangue y Laraquete), se presentan en las Tablas 3 y 4.

Para el área marina, la mayoría de las estaciones presentaron sedimentos cuya media clasifica como arenas fina, a excepción de LBA-13 que se clasifica como Arena Muy Fina. En la mayoría de las estaciones el porcentaje de limo-arcilla fue menor a 1.0%, excepto en

LBA-13 donde fue de 4.41%, y en LBA-05 donde fue 1.35%. Además, en la mayoría de las estaciones, los sedimentos fueron bien clasificados (BC), mientras que las estaciones LBA-ZPL fue moderadamente clasificado (MC), y en LBA-13 moderadamente bien clasificada (MBC) (Tabla 3). El contenido de materia orgánica total (%MOT) en los sedimentos, presentó un rango desde 1.47% en LBA-08 hasta un 3.46% en LBA-13. El contenido de humedad fue desde 25.4% en LBA-03 hasta 29.8% en LAB-05 (Tabla 4). Finalmente, las mediciones de potencial Redox mostraron condiciones reductoras para las estaciones LBA-01 y LBA-06 (Tabla 4).

En las estaciones estuarinas, LBA-17 clasifica como arena muy fina y LBA-18 como arena gruesa. En el caso de LBA-17 (río Laraquete) presentó un 99.04% de arena, mientras que en LBA-18 (río Carampangue) el sedimento presentó un 13.43% de grava y un 86.53% de arena. En LBA-17, el *sorting* indica que son sedimentos muy bien clasificados (MBC), mientras que en LBA-18 pobremente clasificados (PC) (Tabla 3). El contenido de materia orgánica (%MOT) fue de 1.0% en LBA-17, y <0.1% en LBA-18, mientras que el porcentaje de humedad fue de 33.0% en LBA-17 y de 20.5% en LBA-18. Solamente en LBA-18 el potencial Redox del sedimento indicó condiciones reductoras (Tabla 4).

Tabla 3. Resultados del análisis granulométrico¹ de los sedimentos submareales y estuarinos en cada estación de muestreo durante la campaña de mayo 2017. PC = Pobremente Clasificado. MC = Moderadamente Clasificado. MBC = Moderadamente Bien Clasificado. BC = Bien Clasificado.

Ambiente	Estación	Media		Sorting		Grava	Arena	Limo-Arcilla
		ϕ		ϕ		%	%	%
Marino	LBA-05	2.811	Arena Fina	0.715	BC	0.12%	98.53%	1.35%
	LBA-08	2.570	Arena Fina	0.535	BC	0.02%	99.74%	0.24%
	LBA-10	2.806	Arena Fina	0.650	BC	0.17%	99.12%	0.71%
	LBA-13	3.086	Arena Muy Fina	1.037	MBC	0.04%	95.55%	4.41%
	LBA-01	2.518	Arena Fina	0.618	BC	0.05%	99.71%	0.24%
	LBA-03	2.582	Arena Fina	0.539	BC	0.02%	99.61%	0.37%
	LBA-06	2.679	Arena Fina	0.558	BC	0.10%	99.55%	0.35%
	LBA-ZPL	2.241	Arena Fina	0.827	MC	0.00%	99.42%	0.58%
Estuarino	LBA-17	3.041	Arena Muy Fina	0.666	MBC	0.08%	99.04%	0.88%
	LBA-18	0.471	Arena Gruesa	1.060	PC	13.43%	86.53%	0.04%

⁽¹⁾ Análisis realizados a partir de datos entregados por Biotecmar. Ver certificados en Anexo 1.

Tabla 4. Variables medidas en los sedimentos submareales y estuarinos en cada estación de muestreo durante mayo del 2017. MOT = Materia Orgánica Total.

Ambiente	Estación	Potencial Redox¹ (mV)	Humedad (%)	MOT (%)
Marino	LBA-05	8	29.8	1.80
	LBA-08	23	27.4	1.47
	LBA-10	47	29.5	1.96
	LBA-13	29	36.8	3.46
	LBA-01	-44	27.5	1.53
	LBA-03	5	25.4	1.57
	LBA-06	-57	29.0	1.99
	LBA-ZPL	52	26.0	1.69
Estuarino	LBA-17	106	33.0	1.00
	LBA-18	-10	20.5	<0.1

⁽¹⁾ Datos entregados por Ecogestion Ambiental Ltda. MOT y Humedad fueron entregados por SGS y Biotecmar, para estaciones estuarinas y submareales, respectivamente. Ver certificados en Anexo 1.

5.2. Macrofauna

5.2.1. Área Marina

La macrofauna sublitoral del área marina adyacente al Complejo Horcones estuvo representada por un total de 77 especies (o taxa) siendo el grupo más importante Polychaeta, tanto en términos de abundancia (91.11%), como también en biomasa (73.25%) (Ver Tablas 5 y 6). En las Tablas 7 y 8 se entrega la abundancia y biomasa de las especies que aportaron por sobre el 1% del total de la comunidad.

Las especies más abundantes en términos de número fueron: *Polydora socialis* (8908 ind 3.2 m⁻²; 21.53%), *Aricidea pigmentata* (8528 ind 3.2 m⁻²; 20.61%), *Prionospio peruana* (6397 ind 3.2 m⁻²; 15.46%), *Spiophanes bombyx* (5418 ind 3.2 m⁻²; 13.09%), *Mediomastus branchiferus* (2584 ind 3.2 m⁻²; 6.24%), *Paraprionospio pinnata* (1973 ind 3.2 m⁻²; 4.77%), y Oedocerotidae (1948 ind 3.2 m⁻²; 4.71%). Por otro lado, las especies más importantes en términos de biomasa fueron: *Nassarius dentifer* (5.8043 g 3.2 m⁻²; 14.51%), *Paraprionospio pinnata* (5.6509 g 3.2 m⁻²; 14.12%), *Spiophanes bombyx* (4.5189 g 3.2 m⁻²; 11.29%), *Glycera americana* (4.0550 g 3.2 m⁻²; 10.14%) y *Diopatra chilensis* (3.4971 g 3.2 m⁻²; 8.74%).

Los resultados del análisis PER-ANOVA indican que existen diferencias significativas entre las estaciones de muestreo marinas, tanto en abundancia total como en biomasa total (Tabla 9 y 11). Los resultados de los test “pair-wise” con las estaciones que mostraron diferencias significativas de abundancia total y biomasa total se entregan en las Tablas 10 y 12, respectivamente.

La riqueza de especies varió de 23 taxa en LBA-08 hasta un máximo de 45 taxa en LBA-03. La diversidad de Shannon-Wiener fue menor en LBA-03 con 1.106, mientras que en LBA-06 se registró el mayor valor ($H' = 2.205$). La equidad de Pielou fue mayor en LBA-06 y LBA-08 ($J' = 0.60$), mientras que el valor más bajo estuvo en LBA-03 ($J' = 0.29$) (Ver Tabla 13). Por otro lado, las curvas de riqueza de especies estimada $S(est)$ y del índice de Coleman (Cole), dan resultados similares entre sí (Figura 2a y b). Ambas medidas llegan como máximo cercano a 20 especies en LBA-08, y en el extremo superior entre 40 a 45 especies en LBA-03 (Ver además, Tabla 13).

Las curvas RSA en la Figura 3, muestran que en la estación LBA-01 y LBA-05 la

dominancia de una especie alcanza casi el 70% de la abundancia relativa, mientras que en las estaciones LBA-03 y LBA-ZPL alcanzan cerca del 60%. Además, las estaciones LBA-06 y LBA-13 llegan cerca del 50% de la abundancia relativa, y en las estaciones LBA-08 y LBA-10 alcanzó cerca de un 30 y 20% respectivamente.

Tanto el análisis de similitud (ANOSIM) como el de PERMANOVA, indican diferencias significativas entre las estaciones de muestreo en relación a la estructura de composición y abundancia de las especies. Por un lado ANOSIM resultó con $R = 1$, $p = 0.01$, mientras que los resultados de PERMANOVA y los test “*pair-wise*” se resumen en las Tablas 14 y 15.

El análisis de la estructura comunitaria por medio de clasificación y ordenación se visualizan en las Figuras 4 y 5. El dendrograma resultante de la clasificación numérica separa las estaciones en tres grupos: I) LBA-ZPL, II) LBA-01, LBA-03 y LBA-08, y III) LBA-05, LBA-06, LBA-10 y LBA-13. Esto es consistente, al menos visualmente, con el MDS (Figura 5), sin embargo, estadísticamente se forman 6 grupos considerando elipses del 60% similitud: I) LBA-ZPL, II) LBA-01, III) LBA-03, IV) LBA-08, V) LBA-13, y VI) LBA-05, LBA-06 y LBA-10.

En término de los índices de calidad ambiental utilizados en este estudio, tanto la visualización de las curvas ABC como el estadístico W sugieren que ninguna estación estaría perturbada (Ver Figura 6). Por otro lado, si se considera solamente el índice SEP, solamente la estación LBA-13 estaría sin perturbar ($SEP < 1$; Ver Figura 10).

Tabla 5. Abundancia numérica (ind 3.2 m⁻²) y relativa de los grupos principales de macrofauna bentónica colectada durante mayo del 2017 en la zona marina adyacente al Complejo Horcones.

Taxa	Abundancia (ind 3.2 m⁻²)	Abundancia Relativa (%)
Polychaeta	37701	91.114
Amphipoda	2718	6.569
Bivalvia	415	1.003
Cumacea	116	0.280
Gastropoda	102	0.247
Decapoda	101	0.244
Ophiuroidea	51	0.123
Nemertea	38	0.092
Ostracoda	37	0.089
Urochordata	37	0.089
Cnidaria	30	0.073
Isopoda	17	0.041
Holothuroidea	8	0.019
Hirudinea	3	0.007
Pycnogonida	2	0.005
Hemichordata	1	0.002
Mysidacea	1	0.002

Tabla 6. Biomasa total (g 3.2 m⁻²) y relativa de los grupos principales de macrofauna bentónica colectada durante mayo del 2017 en la zona marina adyacente al Complejo Horcones.

Taxa	Biomasa (g 3.2 m⁻²)	Biomasa Relativa (%)
Polychaeta	29.3057	73.246
Gastropoda	6.1330	15.329
Cnidaria	0.9830	2.457
Urochordata	0.7550	1.887
Amphipoda	0.7302	1.825
Decapoda	0.7121	1.780
Holothuroidea	0.7037	1.759
Nemertea	0.4131	1.032
Bivalvia	0.2049	0.512
Ophiuroidea	0.0378	0.094
Cumacea	0.0131	0.033
Hemichordata	0.0058	0.015
Isopoda	0.0041	0.010
Ostracoda	0.0035	0.009
Hirudinea	0.0025	0.006
Mysidacea	0.0012	0.003
Pycnogonida	0.0012	0.003

Tabla 7. Abundancia numérica (ind 3.2 m⁻²) y relativa (%) de las especies o taxa más abundantes (>1%) de la macrofauna bentónica colectada durante mayo del 2017 en la zona marina adyacente al Complejo Horcones.

Taxa	Abundancia (ind 3.2 m⁻²)	Abundancia Relativa (%)
<i>Polydora socialis</i>	8908	21.53
<i>Aricidea pigmentata</i>	8528	20.61
<i>Prionospio peruana</i>	6397	15.46
<i>Spiophanes bombyx</i>	5418	13.09
<i>Mediomastus branchiferus</i>	2584	6.24
<i>Paraprionospio pinnata</i>	1973	4.77
Oedocerotidae	1948	4.71
<i>Goniada uncinigera</i>	778	1.88
<i>Ampelisca araucana</i>	752	1.82
<i>Nephtys ferruginea</i>	573	1.38

Tabla 8. Biomasa total (g 3.2 m⁻²) y relativa (%) de las especies o taxa más importantes (>1%) de la macrofauna bentónica colectada durante mayo del 2017 en la zona marina adyacente al Complejo Horcones.

Taxa	Biomasa (g 3.2 m⁻²)	Biomasa Relativa (%)
<i>Nassarius dentifer</i>	5.8043	14.51
<i>Paraprionospio pinnata</i>	5.6509	14.12
<i>Spiophanes bombyx</i>	4.5189	11.29
<i>Glycera americana</i>	4.0550	10.14
<i>Diopatra chilensis</i>	3.4971	8.74
<i>Pectinaria chilensis</i>	2.1795	5.45
<i>Nephtys ferruginea</i>	1.2171	3.04
<i>Prionospio peruana</i>	1.0397	2.60
Actinaria	0.9195	2.30
<i>Lumbrineris bifilaris</i>	0.9103	2.28
<i>Goniada uncinigera</i>	0.8504	2.13
<i>Aricidea pigmentata</i>	0.8314	2.08
Ascidacea	0.7550	1.89
<i>Polydora socialis</i>	0.7106	1.78
Holothuroidea Indet.	0.7037	1.76
<i>Nephtys magellanica</i>	0.6769	1.69
<i>Onuphis striata</i>	0.4511	1.13
<i>Ampelisca araucana</i>	0.4349	1.09
<i>Owenia fusiformis</i>	0.4239	1.06
Nemertea Indet.	0.4131	1.03

Tabla 9. Tabla con resultados del análisis PER-ANOVA para testear si hay diferencias significativas de la abundancia total entre las estaciones de muestreo del área marina adyacente al Complejo Horcones. Se utilizaron las cuatro réplicas por estación de muestreo (ZONA = 8 estaciones). Valor *p*-permutado en negrita indica significancia estadística ($p < 0.05$).

Fuente	g.l.	SCE	CME	Pseudo-F	P(permutación)	Permutaciones únicas
ZONA	7	3508,1	501,15	43,838	0,0001	9949
Residuos	24	274,36	11,432			
Total	31	3782,4				

Tabla 10. Resultados del test de comparaciones “*pair-wise*” para evaluar diferencias significativas en la abundancia de las estaciones de muestreo ubicadas en el área marina adyacente al Complejo Horcones. Valores *p*-permutados y *p*-MonteCarlo (*P*(MC)) en negrita indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Groups	t	Permutaciones		
		P(perm)	únicas	P(MC)
LBA - 1, LBA - 3	18,062	0,0311	35	0,0001
LBA - 1, LBA - 5	12,117	0,0301	35	0,0001
LBA - 1, LBA - 6	5,1805	0,0275	35	0,0022
LBA - 1, LBA - 8	1,0200	0,3172	35	0,3417
LBA - 1, LBA - 10	1,9800	0,1128	35	0,0988
LBA - 1, LBA - 13	4,9823	0,0276	35	0,0032
LBA - 1, LBA - ZPL	5,1966	0,0284	35	0,0019
LBA - 3, LBA - 5	2,5766	0,0289	35	0,0404
LBA - 3, LBA - 6	31,045	0,0289	35	0,0001
LBA - 3, LBA - 8	8,1229	0,0300	35	0,0003
LBA - 3, LBA - 10	20,541	0,0269	35	0,0001
LBA - 3, LBA - 13	14,563	0,0297	35	0,0001
LBA - 3, LBA - ZPL	18,593	0,0298	35	0,0001
LBA - 5, LBA - 6	11,526	0,0281	35	0,0001
LBA - 5, LBA - 8	6,8796	0,0297	35	0,0003
LBA - 5, LBA - 10	11,909	0,0286	35	0,0001
LBA - 5, LBA - 13	8,3244	0,0269	35	0,0002
LBA - 5, LBA - ZPL	9,4531	0,0247	35	0,0001
LBA - 6, LBA - 8	3,1303	0,0281	35	0,0225
LBA - 6, LBA - 10	3,6580	0,0296	35	0,0111
LBA - 6, LBA - 13	1,1516	0,2729	35	0,2872
LBA - 6, LBA - ZPL	1,0041	0,4032	35	0,3494
LBA - 8, LBA - 10	1,9520	0,1430	35	0,0909
LBA - 8, LBA - 13	3,3679	0,0589	35	0,0154
LBA - 8, LBA - ZPL	3,3232	0,0272	35	0,0163
LBA - 10, LBA - 13	3,5934	0,0273	35	0,0110
LBA - 10, LBA - ZPL	3,7674	0,0285	35	0,0093
LBA - 13, LBA - ZPL	0,2920	0,7706	35	0,7813

Tabla 11. Tabla con resultados del análisis PER-ANOVA para testear si hay diferencias significativas de la biomasa entre las estaciones de muestreo del área marina adyacente al Complejo Horcones. Se utilizaron las cuatro réplicas por estación de muestreo (ZONA = 8 estaciones). Valor *p*-permutado en negrita indica significancia estadística ($p < 0.05$).

Fuente	g.l.	SCE	CME	Pseudo-F	P(permutación)	Permutaciones únicas
ZONA	7	2709,9	387,12	11,69	0,0001	9947
Residuos	24	794,78	33,116			
Total	31	3504,6				

Tabla 12. Resultados del test de comparaciones “*pair-wise*” para evaluar diferencias significativas en la biomasa de las estaciones de muestreo ubicadas en el área marina adyacente al Complejo Horcones. Valores *p*-permutados y *p*-MonteCarlo (*P*(MC)) en negrita indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Grupos	t	Permutaciones		
		P(perm)	únicas	P(MC)
LBA - 01, LBA - 03	2,8655	0,0564	35	0,0225
LBA - 01, LBA - 05	2,0323	0,0877	35	0,0858
LBA - 01, LBA - 06	1,4327	0,3234	35	0,2101
LBA - 01, LBA - 08	2,1080	0,1168	35	0,0753
LBA - 01, LBA - 10	0,9181	0,3947	35	0,3839
LBA - 01, LBA - 13	2,3928	0,0541	35	0,0517
LBA - 01, LBA - ZPL	0,9881	0,3685	35	0,3578
LBA - 03, LBA - 05	0,5469	0,5688	35	0,6092
LBA - 03, LBA - 06	3,2715	0,0582	35	0,0169
LBA - 03, LBA - 08	7,4100	0,0281	35	0,0003
LBA - 03, LBA - 10	4,2366	0,0286	35	0,0041
LBA - 03, LBA - 13	1,3609	0,2263	35	0,2173
LBA - 03, LBA - ZPL	6,9666	0,0305	34	0,0007
LBA - 05, LBA - 06	1,3993	0,2034	35	0,2112
LBA - 05, LBA - 08	4,9570	0,0275	35	0,0016
LBA - 05, LBA - 10	2,0073	0,0887	35	0,0901
LBA - 05, LBA - 13	0,2752	0,7739	35	0,8161
LBA - 05, LBA - ZPL	4,0366	0,0280	35	0,0057
LBA - 06, LBA - 08	6,0313	0,0251	35	0,0009
LBA - 06, LBA - 10	1,4097	0,2576	35	0,2128
LBA - 06, LBA - 13	2,7489	0,0606	35	0,0317
LBA - 06, LBA - ZPL	5,2951	0,0277	35	0,0023
LBA - 08, LBA - 10	5,1768	0,0273	35	0,0020
LBA - 08, LBA - 13	7,5551	0,0302	35	0,0002
LBA - 08, LBA - ZPL	1,9980	0,1121	35	0,0926
LBA - 10, LBA - 13	4,1008	0,0289	35	0,0056
LBA - 10, LBA - ZPL	4,1031	0,0249	35	0,0061
LBA - 13, LBA - ZPL	7,4466	0,0300	35	0,0005

Tabla 13. Riqueza de especies (S), equidad de Pielou (J') y diversidad de Shannon-Wiener (H') para las estaciones de muestreo ubicadas en el área marina aledaña al Complejo Horcones durante mayo 2017.

Estación	S	J'	H'
LBA - 01	32	0,4031	1,397
LBA - 03	45	0,2907	1,106
LBA - 05	39	0,3588	1,314
LBA - 06	39	0,6017	2,205
LBA - 08	23	0,6014	1,886
LBA - 10	38	0,5059	1,840
LBA - 13	29	0,4995	1,682
LBA - ZPL	29	0,4754	1,601

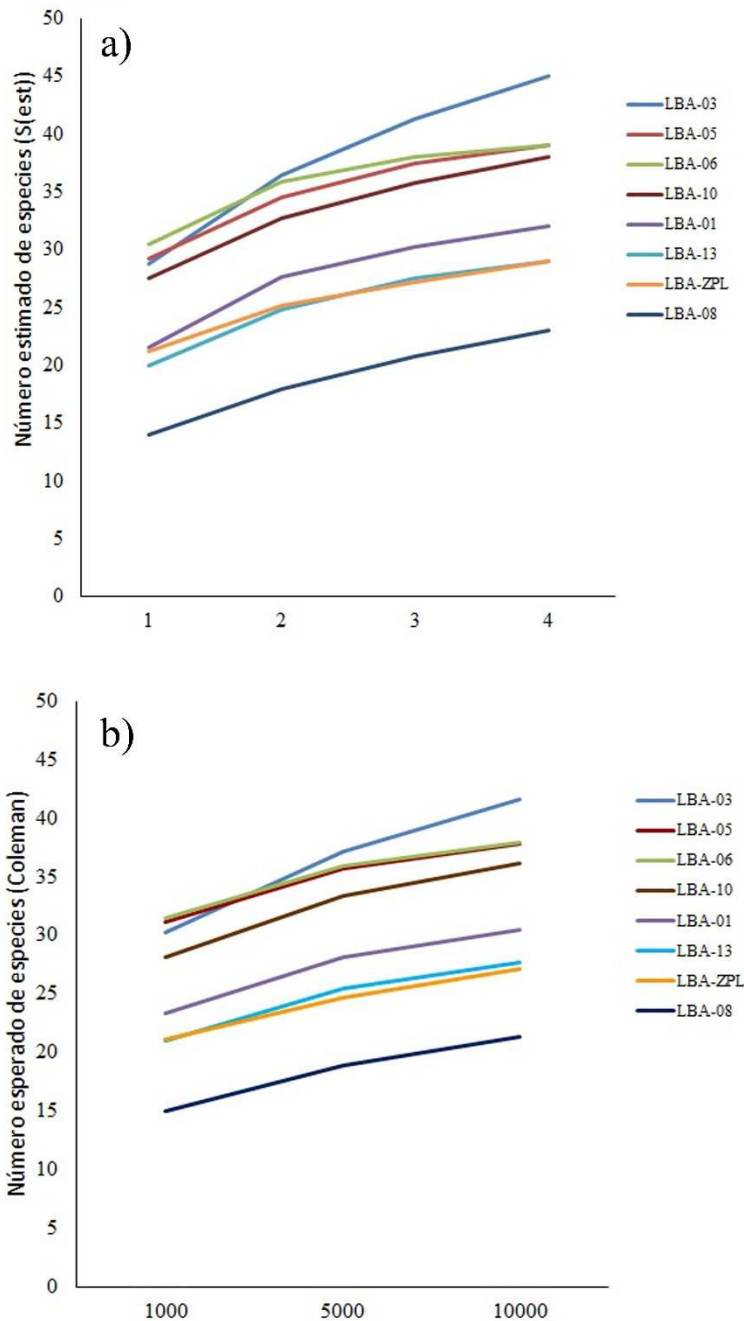


Figura 2. Curvas de Rarefacción en área marina adyacente al Complejo Horcones en mayo del 2017. En (a) se representa el número esperado de especies, según el valor obtenido de S(est), que corresponde a la riqueza estimada, basada en el número de muestras obtenidas. En (b) se representan los valores obtenidos del índice de Coleman, basado en el número de individuos.

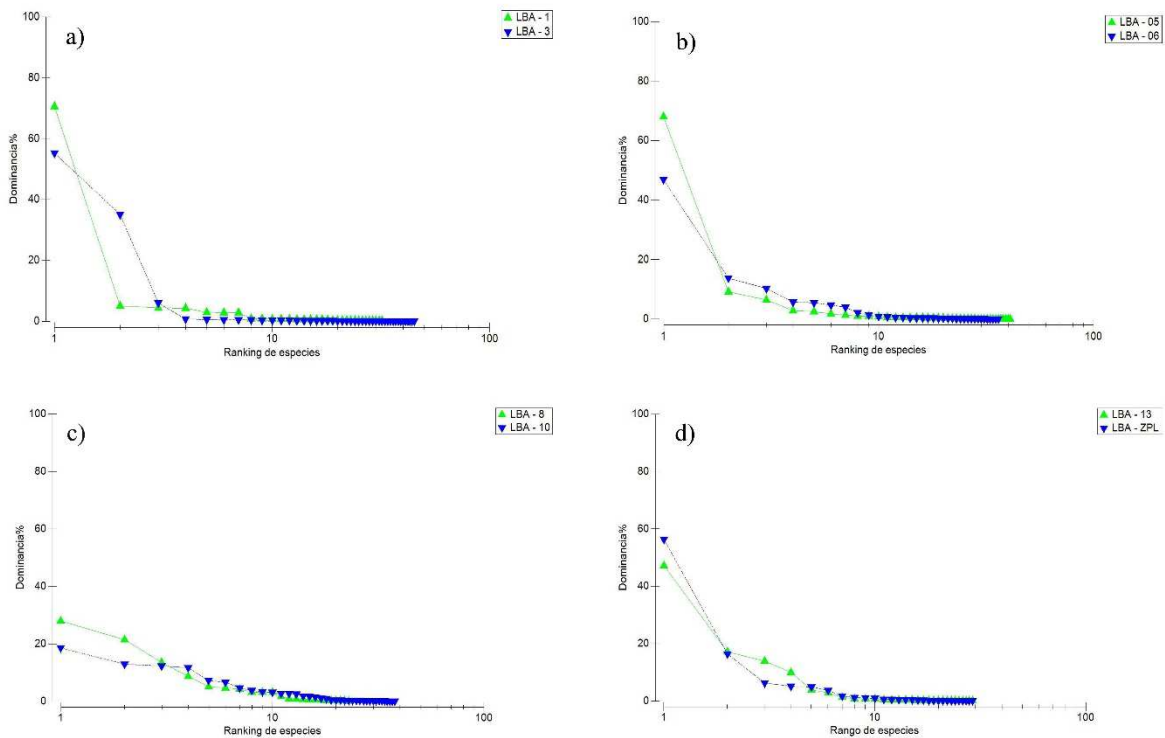


Figura 3. Curvas RSA para el ambiente marino en las 8 estaciones de muestreo, a) estaciones LBA-01 y LBA-03, b) estaciones LBA-05 y LBA-06, c) estaciones LBA-8 y LBA-10 y d) LBA-ZPL y LBA-13.

Tabla 14. Tabla con resultados del análisis PERMANOVA para testear si hay diferencias significativas en la estructura comunitaria multivariada entre las estaciones de muestreo del área marina adyacente al Complejo Horcones. Se utilizaron las cuatro réplicas por estación de muestreo (ZONA = 8 estaciones). Valor *p*-permutado en negrita indica significancia estadística (*p*<0.05).

Fuente	g.l.	SCE	CME	Pseudo-F	P(permutación)	Permutaciones únicas
ZONA	7	46948	6706,9	28,811	0,0001	9892
Residuos	24	5586,9	232,79			
Total	31	52535				

Tabla 15. Resultados del test de comparaciones “*pair-wise*”, para testear si hay diferencias significativas en la estructura comunitaria multivariada entre las estaciones de muestreo del área marina adyacente al Complejo Horcones. Valores *p*-permutados y *p*-MonteCarlo (*P*(MC)) en negrita indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Grupos	t	Permutaciones		
		P(perm)	únicas	P(MC)
LBA - 1, LBA - 3	4,7913	0,0274	35	0,0003
LBA - 1, LBA - 5	4,8634	0,0313	35	0,0001
LBA - 1, LBA - 6	4,6581	0,0295	35	0,0003
LBA - 1, LBA - 8	3,0000	0,0302	35	0,0014
LBA - 1, LBA - 10	3,8148	0,0288	35	0,0009
LBA - 1, LBA - 13	5,6500	0,0289	35	0,0001
LBA - 1, LBA - ZPL	4,6417	0,0284	35	0,0003
LBA - 3, LBA - 5	5,6240	0,0258	35	0,0004
LBA - 3, LBA - 6	5,7109	0,0319	35	0,0002
LBA - 3, LBA - 8	3,9861	0,0291	35	0,0006
LBA - 3, LBA - 10	5,3545	0,0272	35	0,0002
LBA - 3, LBA - 13	6,7299	0,0259	35	0,0001
LBA - 3, LBA - ZPL	7,0623	0,0306	35	0,0001
LBA - 5, LBA - 6	4,4178	0,0289	35	0,0003
LBA - 5, LBA - 8	5,2425	0,0315	35	0,0003
LBA - 5, LBA - 10	4,2119	0,0308	35	0,0004
LBA - 5, LBA - 13	4,2615	0,0300	35	0,0004
LBA - 5, LBA - ZPL	8,9349	0,0283	35	0,0001
LBA - 6, LBA - 8	5,0020	0,0281	35	0,0002
LBA - 6, LBA - 10	3,9824	0,0310	35	0,0004
LBA - 6, LBA - 13	4,2891	0,0289	35	0,0005
LBA - 6, LBA - ZPL	9,3685	0,0310	35	0,0001
LBA - 8, LBA - 10	4,1660	0,0255	35	0,0006
LBA - 8, LBA - 13	6,0502	0,0272	35	0,0003
LBA - 8, LBA - ZPL	4,9231	0,0255	35	0,0001
LBA - 10, LBA - 13	4,7149	0,0279	35	0,0002
LBA - 10, LBA - ZPL	7,3915	0,0299	35	0,0001
LBA - 13, LBA - ZPL	8,2369	0,0264	35	0,0001

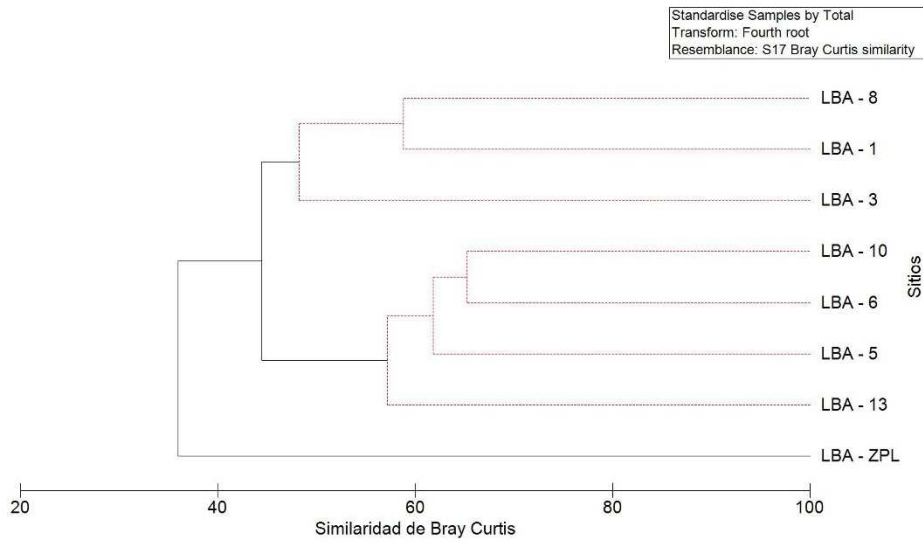


Figura 4. Dendrograma para las estaciones del área marina adyacente al Complejo Horcones en mayo del 2017. Las líneas rojas indican estaciones o grupos de estaciones que no tienen diferencias significativas en su estructura comunitaria multivariada, determinado por medio de perfiles de similitud al 5% de significancia.

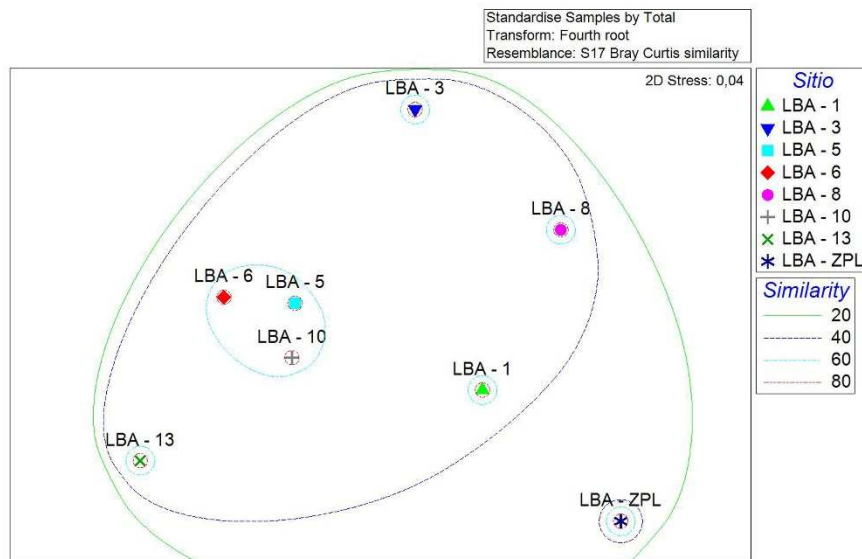


Figura 5. Resultados del análisis de escalamiento no métrico multidimensional (MDS) para las estaciones del área marina adyacente al Complejo Horcones en mayo del 2017.

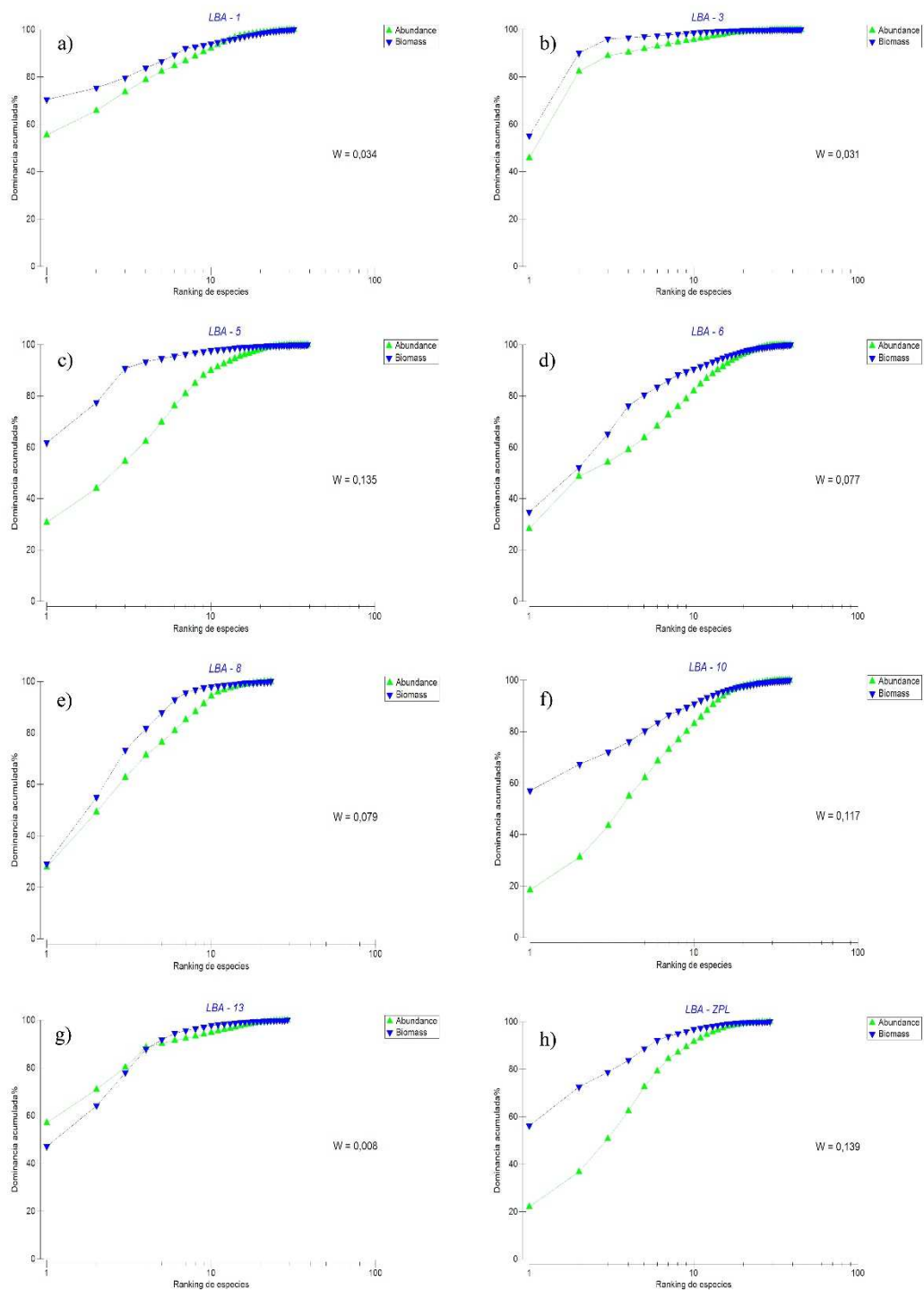


Figura 6. Curvas ABC para el ambiente marino en mayo del 2017. Se representa la relación de dominancia entre la abundancia y la biomasa para los distintos sitios muestreados, en a) LBA-01, b) LBA-03, c) LBA-05, d) LBA-06, e) LBA-08, f) LBA-10, g) LBA-13 y h) LBA-ZPL.

5.2.2. Área Estuarina

La macrofauna colectada en las desembocaduras de los ríos Laraquete (LBA-17) y Carampangue (LBA-18) en su conjunto alcanzó un total de 14 especies (o taxa), y estuvo dominada en términos numéricos (86.52%) y en biomasa (97.30%) por Polychaeta (Tablas 16 y 18).

Los poliquetos alcanzaron una abundancia total de 1790 ind 0.2 m⁻², y las especies más abundantes fueron *Perinereis cf. gualpensis* (738 ind 0.2 m⁻², 35.67%), *Spio* sp. (659 ind 0.2 m⁻², 31.85%), *Capitella* sp. (328 ind 0.2 m⁻², 15.85%), Oligochaeta Indet. (184 ind 0.2 m⁻², 8.89%), y Amphipoda (79 ind 0.2 m⁻², 3.82%) (Tablas 16 y 17). En términos de biomasa Polychaeta aporta con 1.6613 g 0.2 m⁻², siendo *Perinereis cf. gualpensis* el más importante, dando cuenta del 80.24% de la biomasa total, seguido de *Spio* sp. (14.95%) (Tablas 18 y 19). El análisis PER-ANOVA muestra que hay diferencias significativas entre ambos estuarios tanto en abundancia como biomasa total de la macrofauna bentónica (Tablas 20 y 21).

La riqueza de especies fue de 7 en el río Laraquete y de 11 en el río Carampangue, mientras que la diversidad de Shannon fue similar entre ambos sitios ($H' \sim 1.4$), y la equidad mayor en Laraquete (Tabla 22). Por otro lado, las curvas de riqueza de especies estimada S(est) y del índice de Coleman (Cole), dan resultados similares entre sí (Figura 7a y b). Ambas medidas llegan como máximo a 5-6 taxa en LBA-17 (río Laraquete), y alrededor de 10-11 taxa en LBA-18 (río Carampangue), lo que es coincidente a los datos observados de terreno. Las curvas RSA muestran que tanto en LBA-17 y LBA-18, una especie presenta una dominancia entre 50 a 60%, mientras que en LBA-18 se observa una segunda especie dominante con cerca del 30%, y en LBA-17 cercana al 20% (Figura 8).

Los análisis ANOSIM y PERMANOVA (Tabla 22), encuentran diferencias significativas entre la comunidad de los ríos Laraquete y Carampangue (ANOSIM. $R = 1$, $p = 0.029$; PERMANOVA, $p = 0.029$). Las curvas ABC, junto al estadístico W, sugieren que ambas zonas no estarían perturbadas (Figura 9). El índice SEP < 1 en ambas zonas también sugiere que no estarían perturbadas (Figura 10).

Tabla 16. Abundancia numérica (ind 0.2 m⁻²) y relativa de los grupos principales de macrofauna bentónica colectada durante mayo del 2017 en el área estuarina de los ríos Laraquete y Carampangue.

Taxa	Abundancia (ind 0.2 m⁻²)	Abundancia Relativa (%)
Polychaeta	1790	86.52
Oligochaeta	184	8.89
Amphipoda	79	3.82
Bivalvia	14	0.68
Nemertea	2	0.10

Tabla 17. Abundancia numérica (ind 0.2 m⁻²) y relativa (%) de las especies o taxa más abundantes (>1%) de la macrofauna bentónica colectada durante mayo del 2017 en el área estuarina de los ríos Laraquete y Carampangue.

Taxa	Abundancia (ind 0.2 m⁻²)	Abundancia Relativa (%)
<i>Perinereis cf. gualpensis</i>	738	35.67
<i>Spio</i> sp.	659	31.85
<i>Capitella</i> sp.	328	15.85
Oligochaeta Indet.	184	8.89
Amphipoda Indet	79	3.82
<i>Rhynchospio glutaea</i>	48	2.32
<i>Kingiella chilena</i>	14	0.68
<i>Prionospio peruana</i>	7	0.34
<i>Aricidea pigmentata</i>	4	0.19
Nemertea Indet.	2	0.10
<i>Paraprionospio pinnata</i>	2	0.10
Magelonidae	2	0.10
<i>Goniada uncinigera</i>	1	0.05
Sabellidae	1	0.05

Tabla 18. Biomasa total (g 0.2 m⁻²) y relativa (%) de los grupos principales de macrofauna bentónica colectada durante mayo del 2017 en el área estuarina de los ríos Laraquete y Carampangue.

Taxa	Biomasa (g 0.2 m⁻²)	Biomasa Relativa (%)
Polychaeta	1.6613	97.30
Oligochaeta	0.0192	1.12
Nemertea	0.0112	0.66
Amphipoda	0.0106	0.62
Bivalvia	0.0052	0.30

Tabla 19. Biomasa total (g 0.2 m⁻²) y relativa (%) de las especies o taxa más abundantes (>1%) de la macrofauna bentónica colectada durante mayo del 2017 en la zona estuarina de los ríos Laraquete y Carampangue.

Taxa	Biomasa (g 0.2 m⁻²)	Biomasa Relativa (%)
<i>Perinereis cf. gualpensis</i>	1.3701	80.24
<i>Spio</i> sp.	0.2553	14.95
<i>Capitella</i> sp.	0.0202	1.18
Oligochaeta Indet.	0.0192	1.12

Tabla 20. Resultados del análisis PER-ANOVA, para testear si hay diferencias significativas en la abundancia total entre las estaciones de muestreo del área estuarina de los ríos Laraquete y Carampangue. Se utilizaron las cuatro réplicas por estación de muestreo (ZONA = 2 estaciones). Valor *p*-permutado en negrita indica significancia estadística (*p*<0.05).

Fuente	g.l.	SCE	CME	Pseudo-F	P(permutación)	Permutaciones únicas
ZONA	1	2356,2	2356,2	82,568	0,029	35
Residuos	6	171,22	28,536			
Total	7	2527,4				

Tabla 21. Resultados del análisis PER-ANOVA para testear si hay diferencias significativas de la biomasa total entre las estaciones de muestreo del área estuarina de los ríos Laraquete y Carampangue. Se utilizaron las cuatro réplicas por estación de muestreo (ZONA = 2 estaciones). Valor *p*-permutado en negrita indica significancia estadística ($p < 0.05$).

Fuente	g.l.	SCE	CME	Pseudo-F	P(permutación)	Permutaciones únicas
ZONA	1	1728,4	1728,4	43,367	0,027	35
Residuos	6	239,13	39,854			
Total	7	1967,5				

Tabla 22. Riqueza (S), equidad de Pielou (J') y diversidad de Shannon-Weaner (H') para las estaciones de muestreo ubicadas la zona estuarina de los ríos Laraquete (LBA-17) y Carampangue (LBA-18) durante mayo del 2017.

Estación	S	J'	H'
LBA - 17	7	0,7529	1,465
LBA - 18	11	0,6069	1,455

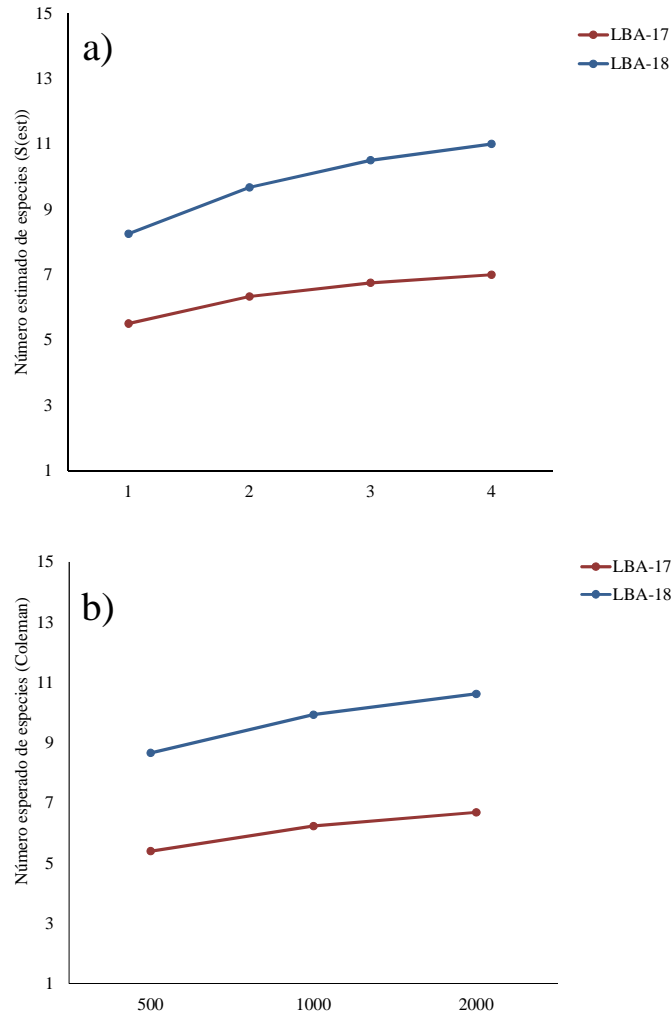


Figura 7. Curvas de Rarefacción en ambiente estuarino en los ríos Laraquete (LBA-17) y Carampangue (LBA-18). En (a) se representa el número esperado de especies, según el valor obtenido de $S(est)$ que corresponde a la riqueza estimada, basada en el número de muestras obtenidas. En (b) se representan los valores obtenidos del índice de Coleman, basado en el número de individuos.

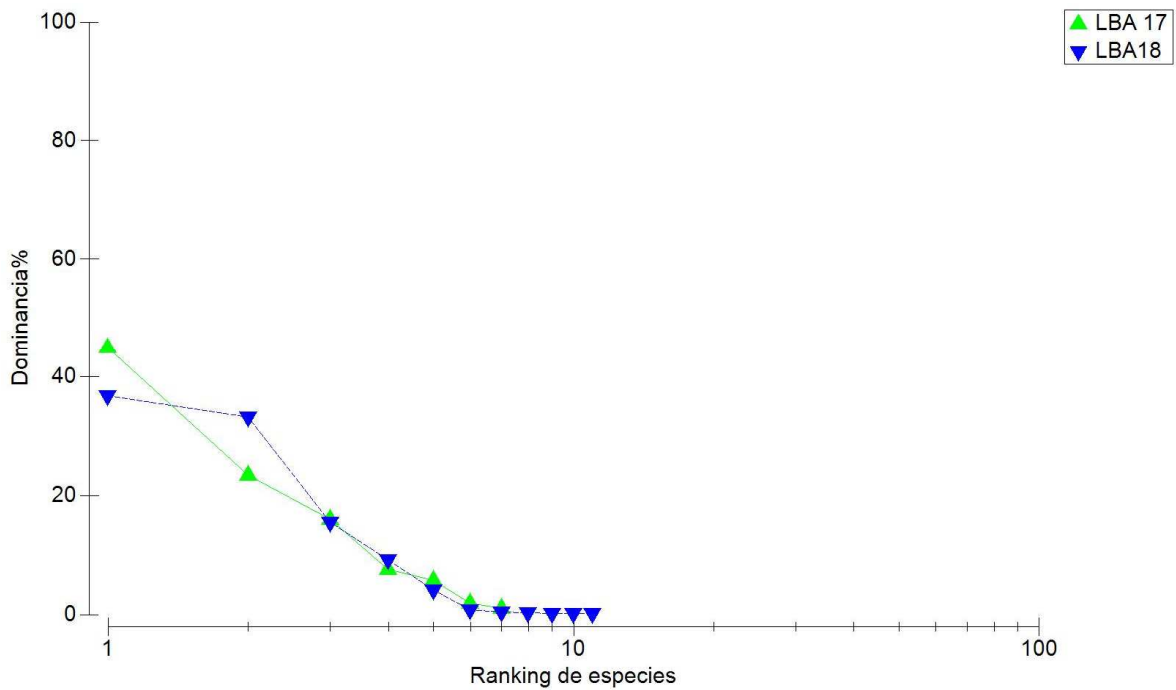


Figura 8. Curvas RSA para el ambiente estuarino. LBA-17 = río Laraquete. LBA-18 = río Carampangue en mayo de 2017.

Tabla 22. Tabla con resultados del análisis PERMANOVA, para testear si hay diferencias significativas en la estructura comunitaria multivariada entre las estaciones de muestreo del área estuarina de los ríos Laraquete y Carampangue. Se utilizaron las cuatro réplicas por estación de muestreo (ZONA = 2 estaciones). Valor *p*-permutado en negrita indica significancia estadística ($p < 0.05$).

Fuente	g.l.	SCE	CME	Pseudo-F	P(permutación)	Permutaciones únicas
ZONA	1	3132,3	3132,3	18,472	0,029	35
Residuos	6	1017,4	169,57			
Total	7	4149,7				

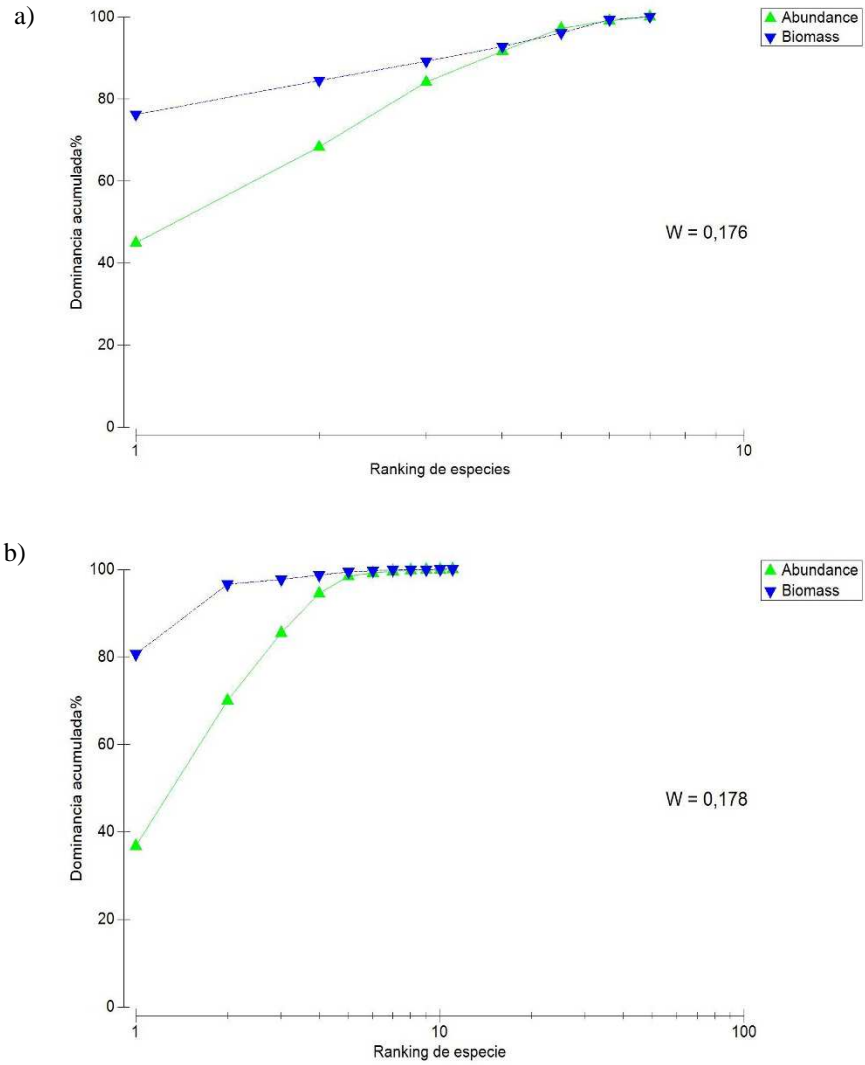


Figura 9. Curvas ABC área estuarina. Se representa la relación de dominancia entre la abundancia y la biomasa para los distintos sitios muestreados, en (a) para el sitio LBA-17 (Laraquete), (b) para el sitio LBA-18 (Carampangue) en mayo del 2017.

6. DISCUSIÓN

Al igual que en las ocho campañas anteriores, la macrofauna sublitoral de la zona de estudio estuvo dominada por Polychaeta, tanto en número como en biomasa. Este patrón encontrado en la campaña de mayo 2017, considera a las siguientes especies como las más abundantes: *Polydora socialis* (8908 ind 3.2 m⁻²; 21.53%), *Aricidea pigmentata* (8528 ind 3.2 m⁻²; 20.61%), *Prionospio peruana* (6397 ind 3.2 m⁻²; 15.46%), *Spiophanes bombyx* (5418 ind 3.2 m⁻²; 13.09%), *Mediomastus branchiferus* (2584 ind 3.2 m⁻²; 6.24%), *Paraprionospio pinnata* (1973 ind 3.2 m⁻²; 4.77%), y Oedocerotidae (1948 ind 3.2 m⁻²; 4.71%), mientras que en mayo del año 2016 fueron *Paraprionospio pinnata* (16434 ind 3.2 m⁻²; 40.75%), *Aricidea pigmentata* (6470 ind 3.2 m⁻²; 16.04%), *Mediomastus branchiferus* (4585 ind 3.2 m⁻²; 11.37%), y *Prionospio peruana* (2391 ind 3.2 m⁻²; 5.93%), dando cuenta de un recambio en la abundancia relativa de algunas de las especies de poliquetos más abundantes. La dominancia de los poliquetos ha sido previamente reportada para la macrofauna bentónica del Golfo de Arauco (Carrasco & Gallardo, 1983), de la Bahía de Concepción (Cárcamo *et al.*, 2017) y en aguas costeras de la región del Bío-Bío (Veas *et al.*, 2012).

En el área estuarina los poliquetos también fueron el grupo más abundante de macrofauna, específicamente *Perinereis cf. gualpensis* (738 ind 0.2 m⁻², 35.67%), *Spio* sp. (659 ind 0.2 m⁻², 31.85%), *Capitella* sp. (328 ind 0.2 m⁻², 15.85%), Oligochaeta Indet. (184 ind 0.2 m⁻², 8.89%), y Amphipoda (79 ind 0.2 m⁻², 3.82%). En la campaña anterior de primavera (mayo 2016), las taxa más abundantes fueron *Perinereis cf. gualpensis* (1204 ind 0.2 m⁻², 36.75%), *Spio* sp. (1100 ind 0.2 m⁻², 33.58%) y *Rhynchospio glutaea* (789 ind 0.2 m⁻², 24.08%), determinando una continuidad en la dominancia de las primeras dos especies en relación a sus abundancias relativas en el periodo otoñal.

Durante el presente monitoreo, los análisis de clasificación y ordenación permiten visualizar tres grupos: I) LBA-ZPL, II) LBA-01, LBA-03 y LBA-08, y III) LBA-05, LBA-06, LBA-10 y LBA-13. Por otro lado, en mayo 2016, se visualizaron cinco grupos de estaciones, formadas por: I) LBA-ZPL, II) LBA-01, LBA-03 y LBA-8, III) LBA-05, LBA-10, IV) LBA-06, y V) LBA-13, sugiriendo algún grado de cohesión temporal (i.e. otoño) en la similitud de algunas estaciones de muestreo. Además, las estaciones estuarinas, al igual

que en las campañas anteriores, mostraron diferencias estadísticamente significativas en la composición de especies entre ellas.

Como se ha discutido en informes anteriores, las curvas ABC adolecen de varios problemas al momento de ser utilizadas para evaluar perturbaciones a partir de la macrofauna bentónica (Para ejemplos de la literatura referirse a informes de campañas anteriores). Por otra parte, el índice SEP es una herramienta útil cuando se evalúan cambios en la comunidad a lo largo de una serie de tiempo. Sin embargo, evaluar una muestra en particular a partir de este índice no es recomendable, ya que el índice debe ser antes ampliamente utilizado para que sus limitaciones sean claramente establecidas (McManus & Pauly, 1990), como por ejemplo, su invalidez en el caso de ambientes defaunados (Yoo *et al.*, 2010). Por las razones ya señaladas, se decidió evaluar si la comunidad macrobentónica presentaba algún grado de perturbación integrando las dos metodologías utilizadas en este estudio. Se graficó los valores del índice SEP en función de los valores del estadístico W para cada estación de muestreo, tanto marina como estuarina (Figura 10). Si se asume que ambas aproximaciones son válidas, y que valores mayores a 1 de SEP, y valores negativos de W son indicadores de una comunidad perturbada, entonces vemos en la Figura 10 que ninguna estación, ni marina ni estuarina, presentan estas dos características. Sin embargo, si sólo consideramos SEP, las estaciones marinas, excepto LBA-13, estarían todas perturbadas. Esto confirma la necesidad de buscar algún otro índice que permita evaluar el grado de perturbación de las comunidades macrobentónicas. Comparativamente, en mayo del 2016 los índices SEP y W, indicaron que solamente las estaciones marinas LBA-01, LBA-05, LBA-08, LBA-13 y LBA-ZPL se encontraban perturbadas.

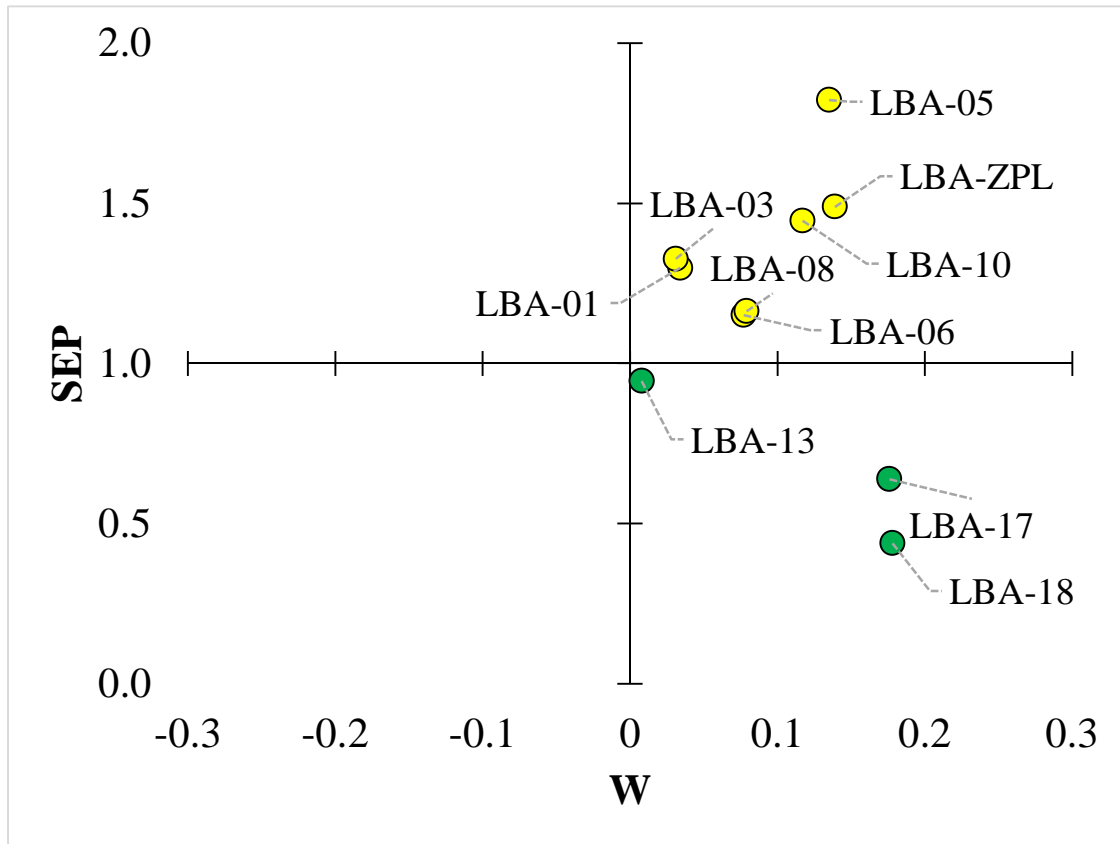


Figura 10. Relación entre índice SEP y estadístico W para todas las estaciones de muestreo (marinas y estuarinas). En verde estaciones en que ambas medidas sugieren una comunidad no perturbada. En amarillo estaciones en que sólo una de las dos medidas sugiere una comunidad perturbada.

7. CONCLUSIONES

Los resultados de esta campaña de monitoreo permiten concluir que:

1. La macrofauna sublitoral de esta zona de estudio estuvo numéricamente dominada por *Polychaeta* en el área marina (91.11%), y en el área estuarina (86.52%).
2. Las especies más abundantes en el área marina fueron: *Polydora socialis* (8908 ind 3.2 m⁻²; 21.53%), *Aricidea pigmentata* (8528 ind 3.2 m⁻²; 20.61%), *Prionospio peruana* (6397 ind 3.2 m⁻²; 15.46%), *Spiophanes bombyx* (5418 ind 3.2 m⁻²; 13.09%), *Mediomastus branchiferus* (2584 ind 3.2 m⁻²; 6.24%), *Paraprionospio pinnata* (1973 ind 3.2 m⁻²; 4.77%), y *Oedocerotidae* (1948 ind 3.2 m⁻²; 4.71%).
3. Las especies más importantes en el área estuarina fueron: *Perinereis cf. gualpensis* (738 ind 0.2 m⁻², 35.67%), *Spio* sp. (659 ind 0.2 m⁻², 31.85%), *Capitella* sp. (328 ind 0.2 m⁻², 15.85%), *Oligochaeta* Indet. (184 ind 0.2 m⁻², 8.89%), y *Amphipoda* (79 ind 0.2 m⁻², 3.82%).
4. Los análisis de clasificación y ordenación sugieren tres grupos: I) LBA-ZPL, II) LBA-01, LBA-03 y LBA-08, y III) LBA-05, LBA-06, LBA-10 y LBA-13.
5. Según los índices SEP y W en conjunto, ninguna estación, ni marina, ni estuarina presentarían algún grado de perturbación. Sin embargo, si sólo consideramos SEP, ninguna de las 2 estaciones estuarinas presentarían perturbación, mientras que todas las estaciones marinas, excepto LBA-13, estarían perturbadas.

8. REFERENCIAS

Anderson MJ (2001) A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecol.* 26: 32–46.

Anderson MJ. Gorley RN. Clarke KR (2008) PERMANOVA+ for PRIMER: guide to software and statistical methods. PRIMER-e. Plymouth.

Blott SJ. Pye K (2001) GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surf Proc Land.* 26: 1237–1248.

Buchanan JB (1971) Measurements of the physical and chemical environment. In: Holme NA. McIntyre AD (eds) *Methods for the Study of Marine Benthos*. IBP Handbook N° 16. Blackwell. Oxford. pp 30–52.

Cárcamo PJ. Hernández-Miranda E. Veas R. Quiñones R (2017) Macrofaunal community structure in Bahía Concepción (Chile) before and after the 8.8 Mw Maule mega-earthquake and tsunami. *Mar Env Res.* 130: 233–247.

Carrasco FD. Gallardo VA (1983) Abundance and distribution of the macrobenthic infauna of the Gulf of Arauco, Chile. *Inter. Revue ges. Hydrobiologie.* 68: 825–838.

Carrasco FD. Gallardo VA (1989) La contaminación marina y el valor de la macroinfauna en su evaluación y vigilancia: casos de estudio en el litoral de Concepción, Chile. *Biología Pesquera.* 18: 15–27.

Clarke KR (1990) Comparisons of dominance curves. *J Exp Mar Biol Ecol.* 138: 143–157.

Clarke KR. Green RH (1988) Statistical design and analysis for a 'biological effects' study. *Mar Ecol Progr Ser.* 46: 213–226.

Clarke KR. Warwick RM (2001) *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*. 2nd edn. PRIMER-e. Plymouth.

Clarke KR. Gorley RN (2006) PRIMER v6: user manual/tutorial. PRIMER-e. Plymouth.

Coleman BD (1981) On random placement and species-area relations. *Mathematical Biosciences.* 54: 191–215.

Coleman BD. Mares MA. Willig MR & Hsieh Y-H (1982) Randomness, area, and species richness. *Ecology* 63. 1121-1133.

Colwell RK (2013) EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species

from samples. Version 9. User's Guide and application published at: <http://purl.oclc.org/estimates>.

Dauvin JC (2007) Paradox of estuarine quality: Benthic indicators and indices. consensus or debate for the future. *Mar Pollut Bull.* 55: 271–281.

Field JG. Clarke KR. Warwick RM (1982) A practical strategy for analyzing multispecies distribution patterns. *Mar Ecol Progr Ser.* 8: 37–52.

Forde J. Shin PK. Somerfield PJ. Kennedy RM (2013) M-AMBI derived from taxonomic levels higher than species allows Ecological Status assessments of benthic habitats in new geographical areas. *Ecol Indic.* 34: 411–419.

Gray JS. Carr MR. Clarke KR. Green RH. Pearson TH. Rosenberg R. Warwick RM (1988) Analysis of community attributes of the benthic macrofauna of Frierfjord/Langesundfjord and in a mesocosm experiment. *Mar Ecol Progr Ser.* 46: 151–165.

INIA (2006). Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. Serie Actas INIA N°34. Gobierno de Chile. Ministerio de agricultura. INIA. 164 pp.

Levin LA. Gage JD (1998) Relationships between oxygen, organic matter and the diversity of bathyal macrofauna. *Deep Sea Research II.* 45: 129–163.

Levin LA. Boesch DF. Covish A. Dahm C. Erseus C. Ewel KC. Kneib RT. Moldenke A. Palmer MA. Snelgrove P. Strayer D. Weslawski JM (2001) The function of marine critical transition zones and the importance of sediment biodiversity. *Ecosystems.* 4: 430–451.

Lie U (1968) A quantitative study of benthic infauna in Puget Sound, Washington, USA, in 1963-1964. *FiskDir. Skr. Ser. HavUnders.* 14(5): 229–556.

Magurran AE (2004) *Measuring biological diversity.* Oxford: Blackwell Publishing.

Marques JC. Costa MJ. Elliott M (2012) Introducing “Assessing ecological quality in estuarine and coastal systems – Management perspective”. *Est Coast and Shelf Sci.* 112: 1–3.

McManus JW. Pauly D (1990) Measuring Ecological Stress: Variations on a Theme. *Mar Biol.* 106: 305–308.

Paul JF. Scott KJ. Campbell DE. Gentile JH. Strobel CS. Valente RM. Weisberg SB. Holland AF. Ranasinghe JA (2001). Developing and applying a benthic index of estuarine condition for the Virginian Biogeographic Province. *Ecol Ind.* 1: 83–99.

Pearson TH. Rosenberg R (1978). Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr and Mar Biol: An Ann Rev.* 16: 229–311.

Ricciardi A. Bourget E (1998) Weight-to-weight conversion factors for marine benthic macroinvertebrates. *Mar Ecol Prog Ser.* 163: 245–251.

Rosenberg R. Moller P (1979) Salinity stratified benthic macrofaunal communities and long-term monitoring along the west coast of Sweden. *J Exp Mar Biol Ecol.* 37: 175–203.

Shaw KM. Lamshead PJD & Platt HM (1983) Detection of pollution-induced disturbance in marine benthic assemblages with special reference to nematodes. *Mar Ecol Progr Ser.* 11: 195–202.

Thorson G (1957) Bottom communities (Sublittoral or shallow shelf). *Mem geol Soc Am.* 67(1): 461–534.

Veas R. Hernández-Miranda E. Quiñones RA. Carrasco FD (2012) Spatio-temporal biodiversity of soft bottom macrofaunal assemblages in shallow coastal waters exposed to episodic hypoxic events. *Mar Env Res.* 78: 1-14.

Warwick RM (1986) A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. *Mar Biol.* 92: 557–562.

Warwick RM. Clarke KR (1994) Relearning the ABC: taxonomic changes and abundance/biomass relationships in disturbed benthic communities. *Mar Biol.* 118: 739–744.

Yoo JW. Lee YW. Ruesink JL. Lee CG. Kim CS. Park MR. Yoon KT. Hwang IS. Maeng JH. Rosenberg R. Hong JS (2010) Environmental quality of Korean coasts as determined by modified Shannon–Wiener evenness proportion. *Environ Monit Assess.* 170: 141–157.