

La investigación reportada en esta tesis es parte de los programas de investigación del CICESE (Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California).

La investigación fue financiada por el CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología).

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México). El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo o titular de los Derechos Autor.

# Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California



---

## Maestría en Ciencias en Ecología Marina

---

### Diversidad del ensamblaje de poliquetos en zonas portuarias de Baja California

Tesis  
para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias

Presenta:

**Israel Rojo Ramos**

Ensenada, Baja California, México  
2023

Tesis defendida por  
**Israel Rojo Ramos**

y aprobada por el siguiente Comité

---

**Dra. Victoria María Díaz Castañeda**  
Codirectora de Tesis

---

**Dr. Jesús Ángel de León González**  
Codirector de Tesis

Miembros del comité

**Dr. Omar Valencia Méndez**

**Dr. Rafael Ramírez Mendoza**



---

**Dr. Rafael Andrés Cabral Tena**  
Coordinador del Posgrado en Ecología Marina

---

**Dra. Ana Denise Re Araujo**  
Directora de Estudios de Posgrado

Resumen de la tesis que presenta **Israel Rojo Ramos** como requisito parcial para la obtención del grado de **Maestro en Ciencias en Ecología Marina**.

### **Diversidad del ensamblaje de poliquetos en zonas portuarias de Baja California**

Resumen aprobado por:

---

**Dra. Victoria María Díaz Castañeda**  
Codirectora de Tesis

---

**Dr. Jesús Ángel de León González**  
Codirector de Tesis

Las zonas portuarias representan una fuente importante de desarrollo económico local, regional y nacional. Las diversas actividades antropogénicas en zonas portuarias causan perturbaciones impactando negativamente a la biota local, favoreciendo el establecimiento de taxa oportunistas o más resistentes, capaces de alterar la estructura de las comunidades. Los poliquetos son uno de los grupos de invertebrados más importantes en el bentos marino, en cuanto a su abundancia, diversidad y biomasa. Debido a la gran variabilidad de estrategias alimenticias y reproductivas que presentan, los poliquetos han sido capaces de introducirse en diversas áreas del mundo, por medio de agua de lastre, incrustándose en el casco de los barcos y hasta por canales. Baja California es un estado con un alto riesgo de invasión debido a que cuentan con cinco puertos, siendo el puerto de Ensenada y El Sauzal los más dinámicos, los cuales no cuentan con registros o publicaciones sobre la composición y estructura de los ensamblajes de poliquetos que lo habitan. Por lo tanto, este proyecto ha generado una base de datos de referencia de la biodiversidad de poliquetos en estos ambientes. El objetivo fue caracterizar la composición y estructura de la fauna poliquetológica esclerobionte presente en los puertos de Ensenada y El Sauzal. Para ello se colectaron muestras de tres andadores, tres boyas y dos sitios selectivos en el puerto de Ensenada y una boya, dos andadores y dos sitios selectivos en El Sauzal. Se colectaron un total de 18 familias y 22 especies en el puerto de Ensenada y 18 familias y 24 especies en El Sauzal. Los andadores y boyas presentaron diferente composición y estructura, debido a la diferencia de exposición a factores hidrodinámicos como el oleaje. La familia dominante en andadores fue Syllidae y en boyas fue Nereididae. En este trabajo no se encontraron especies invasoras. Este es el primer trabajo, sobre la diversidad de poliquetos, realizado dentro de los puertos de Ensenada y El Sauzal. Se espera que este estudio sienta las bases para comenzar un programa de monitoreo que permita la identificación temprana de especies exóticas invasoras.

**Palabras clave:** Puerto, Andador, Boya, Esclerobionte, Ensamblaje.

Abstract of the thesis presented by **Israel Rojo Ramos** as a partial requirement to obtain the **Master of Science degree in Marine Ecology**.

**Diversity of the assemblage of polychaeta in port areas of Baja California**

Abstract approved by:

---

**Dra. Victoria María Díaz Castañeda**  
Thesis co-director

---

**Dr. Jesús Ángel de León González**  
Thesis co-director

Port areas represent an important source of local, regional and national economic development. The various anthropogenic activities in port areas cause disturbances, negatively impacting the local biota, favoring the establishment of opportunistic or more resistant taxa, capable of altering the structure of the communities. Polychaetes are one of the most important groups of invertebrates in the marine benthos, in terms of their abundance, diversity and biomass. Due to the large number of feeding and reproductive strategies that polychaetes present, they have been able to enter various areas of the world, through ballast water, embedding themselves in the hull of ships and even through canals. Baja California is a state with a high risk of invasion because it has five ports, being the port of Ensenada and El Sauzal the most dynamic, which do not have records or publications on the composition and structure of the polychaete assemblages that they inhabit it. Therefore, this project has generated a reference database of polychaete biodiversity in these environments. The objective was to characterize the composition and structure of the sclerobiont polychaete present in the ports of Ensenada and El Sauzal. For this, samples were collected from three marina docks, three buoys and two selective sites in the port of Ensenada and one buoy, two docks and two selective sites in the port El Sauzal. A total of 18 polychaete families and 22 species were collected in the port of Ensenada and 18 families and 24 species in El Sauzal. The docks and buoys presented different composition and structure, due to the difference in exposure to hydrodynamic factors such as waves. The dominant family collected in docks was Syllidae and in buoys it was Nereididae. In this work no invasive species were found. This is the first study dealing with polychaete diversity in the ports of Ensenada and El Sauzal. We hope this study establishes the baseline to start a monitoring program that will allow early identification of invasive alien species.

**Keywords:** Port, Dock, Buoy, Sclerobiont, Assemblage.

## Dedicatoria

---

Este trabajo se lo dedico a mi esposa, quien fue la que vivió todo este proceso conmigo. Ella es quien estuvo ahí para apoyarme en los momentos difíciles y quien estuvo ahí para festejar en los momentos gratos. Ella es la que me dio la fuerza para continuar esta etapa de mi vida. Te lo agradezco con todo el corazón, a ti y a nuestro hijo.

## Agradecimientos

---

Al **Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE)**, y sobre todo al posgrado de Ecología Marina por darme la oportunidad de estudiar un posgrado.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)** por el apoyo económico para realizar mis estudios de maestría, con número de CVU 1035854.

A mis directores de tesis, la **Dra. Victoria María Díaz Castañeda** y al **Dr. Jesús Ángel de León**, por su asesoría, paciencia y apoyo a lo largo de todo este proceso. Gracias por el tiempo dedicado a mi educación.

A mis sinodales: **Dr. Omar Valencia Méndez** y al **Dr. Rafael Ramírez Mendoza**, por sus comentarios, conocimiento y tiempo brindado.

A los técnicos de laboratorio que me acompañaron durante mis horas de estudio y trabajo en el laboratorio, con un especial agradecimiento a la **M.C. Marina Mondragón Rojas**.

A todos los miembros del posgrado de Ecología Marina que han sido parte de mi formación académica.

A mi padre, **José Luis Rojo Carrascal**, que, a pesar de no vernos mucho, siempre ha sabido hacerse presente en mi vida, en forma de apoyo, consejos y sermones.

Al final de todos ellos quisiera agradecer especialmente a mi madre, **Martha Ascensión Ramos Osuna**. Gracias por siempre apoyarme y alentarme a realizar cosas nuevas, por enseñarme a perseguir mis objetivos y a nunca rendirme con lo que deseo. Gracias por todo el apoyo incondicional.

## Tabla de contenido

---

Resumen en español.....	ii
Resumen en inglés.....	iii
Dedicatoria .....	iv
Agradecimientos .....	v
Lista de figuras .....	viii
Lista de tablas.....	ix
Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1 Antecedentes .....	2
1.1.1 Poliquetos y su conocimiento en México.....	2
1.1.2 Ecología de las familias de poliquetos encontradas en este estudio.....	4
1.1.3 Comunidades bentónicas en Puertos.....	11
1.1.4 Invasiones biológicas.....	12
1.2 Justificación .....	13
1.3 Hipótesis.....	14
1.4 Objetivos .....	14
1.4.1 Objetivo general.....	14
1.4.2. Objetivos específicos.....	14
Capítulo 2. Metodología.....	15
2.1 Área de estudio .....	15
2.1.1 Bahía Todos Santos .....	16
2.1.2 Sistema de la Corriente de California.....	17
2.1.3 El Puerto de Ensenada.....	17
2.1.4 El Puerto de El Sauzal .....	18

2.2 Colecta y procesamiento de muestras .....	18
2.2.1 Colecta de muestra .....	19
2.2.2 Procesamiento de las muestras .....	19
2.3 Análisis de datos.....	21
2.3.2 Índices ecológicos.....	21
2.3.3 Análisis estadísticos.....	23
Capítulo 3. Resultados.....	25
3.1 Parámetros fisicoquímicos .....	25
3.2 Abundancia de poliquetos .....	26
3.3 Análisis de dominancia.....	28
3.4 Índices ecológicos.....	31
3.5 Análisis de Kruskal-Wallis.....	32
3.6 Análisis de Similitud entre ensamblajes.....	33
3.7 Análisis de Componentes Principales.....	37
3.8 Grupos tróficos.....	39
Capítulo 4. Discusión .....	41
Capítulo 5. Conclusiones .....	47
Literatura citada .....	48

## Lista de figuras

Figura	Página
<b>Figura 1</b> Diagrama de la morfología general de la clase Polychaeta (Modificado de Fauchald, 1977). ....	<b>3</b>
<b>Figura 2</b> Mapa de la Bahía Todos Santos señalando los puertos de Ensenada y El Sauzal. ....	<b>16</b>
<b>Figura 4</b> Temperatura y salinidad de cada sitio muestreado en los puertos de Ensenada y Sauzal. Ensenada E; Sauzal S; Andador A; Boya B; cada número es un sitio distinto. ....	<b>25</b>
<b>Figura 5</b> Valores de pH y oxígeno disuelto de cada sitio muestreado en los puertos de Ensenada y Sauzal. Ensenada E; Sauzal S; Andador A; Boya B; cada número es un sitio distinto. ....	<b>26</b>
<b>Figura 6</b> Grafica de barra de la abundancia total de poliquetos por sitio de muestreo. Ensenada E; Sauzal S; Andador A; Boya B; cada número es un sitio distinto. ....	<b>28</b>
<b>Figura 7</b> Análisis de Olmstead y Tukey de las familias de poliquetos en el puerto de Ensenada. ....	<b>29</b>
<b>Figura 8</b> Análisis de Olmstead y Tukey de las familias de poliquetos en el puerto de Sauzal. ....	<b>30</b>
<b>Figura 9</b> Mapa de calor de la contribución de la abundancia $\log(x+1)$ por cada familia en el puerto de Ensenada y Sauzal. Ensenada ENS; Sauzal SAU; Andadores A; Boyas B.....	<b>30</b>
<b>Figura 10</b> Dendrograma con datos de abundancia a nivel familia transformados a $\log(x+1)$ , se usó el coeficiente de Bray-Curtis. Ensenada E; Sauzal S; Andadores A; Boyas B.....	<b>34</b>
<b>Figura 11</b> Escalamiento multidimensional no métrico (nMDS) usando datos a nivel familia de abundancia transformados a $\log(x+1)$ . Ensenada E; Sauzal S; Andadores A; Boyas B.....	<b>34</b>
<b>Figura 12</b> Dendrograma con datos de abundancia a nivel especie transformados a $\log(x+1)$ , se usó el coeficiente de Bray-Curtis. Ensenada E; Sauzal S; Andadores A; Boyas B.....	<b>36</b>
<b>Figura 13</b> Escalamiento multidimensional no métrico (nMDS) usando datos a nivel especie de abundancia transformados a $\log(x+1)$ . Ensenada E; Sauzal S; Andadores A; Boyas B.....	<b>36</b>
<b>Figura 14</b> Análisis de componentes principales (ACP) entre los parámetros fisicoquímicos definido por los ejes 1 y 2. Temperatura T; Salinidad S; Oxígeno disuelto OD; pH. El tamaño de las burbujas indica la abundancia de cada estación.....	<b>38</b>
<b>Figura 15</b> Análisis de componentes principales (ACP) entre los parámetros fisicoquímicos definido por los ejes 1 y 2. Temperatura T; Salinidad S; Oxígeno disuelto OD; pH. El tamaño de las burbujas indica la diversidad según el índice de Shannon de cada estación. ....	<b>38</b>
<b>Figura 16</b> Gráfica de la proporción de los grupos tróficos según su tipo de alimentación. ....	<b>40</b>
<b>Figura 17</b> Gráfica de la proporción de los grupos tróficos según su movilidad. ....	<b>40</b>

## Lista de tablas

Tabla	Página
<b>Tabla 1</b> Parámetros fisicoquímicos medidos en los puertos de Ensenada y El Sauzal.....	<b>25</b>
<b>Tabla 2</b> Abundancias de las familias y especies de poliquetos encontradas en los puertos de Ensenada y El Sauzal.....	<b>27</b>
<b>Tabla 3</b> Índices ecológicos de los puertos Ensenada y El Sauzal a nivel de familia. ....	<b>31</b>
<b>Tabla 4</b> Índices ecológicos de los puertos Ensenada y El Sauzal a nivel de especie. ....	<b>31</b>
<b>Tabla 5</b> Valores p de la Kruskal-Wallis para los parámetros fisicoquímicos de andadores y boyas.....	<b>32</b>
<b>Tabla 6</b> Valores p de la prueba Kruskal-Wallis para los ensamblajes a nivel familia de Andadores y Boyas. ....	<b>32</b>
<b>Tabla 7</b> Valores p de la prueba posterior Tukey para Andadores y Boyas a nivel de especie. ....	<b>33</b>
<b>Tabla 8</b> Resumen de los resultados del SIMPER a nivel familia .....	<b>35</b>
<b>Tabla 9</b> Resumen de los resultados del SIMPER a nivel especie .....	<b>37</b>
<b>Tabla 10</b> Coeficientes en las combinaciones lineales de variables que componen los ejes.....	<b>37</b>
<b>Tabla 11</b> Grupos funcionales a los que pertenece cada familia .....	<b>39</b>

## Capítulo 1. Introducción

---

Las zonas portuarias representan una fuente importante de desarrollo económico local, regional y nacional. Dentro del área de influencia de los puertos se llevan a cabo diversas actividades entre las que se enfatizan la actividad industrial de movimiento de contenedores y carga general, pesca comercial, cruceros, marinas, pesca deportiva y otras actividades turísticas (Administración Portuaria Integral API, 2015). Sin embargo, las diversas actividades antropogénicas en zonas portuarias causan perturbaciones impactando negativamente a la biota local, favoreciendo el establecimiento de taxa oportunistas o más resistentes, capaces de alterar la estructura de las comunidades, debido a la presencia de especies invasoras, las cuales son introducidas, en su mayoría, por agua de lastre y/o bioincrustantes en los cascos de barcos (Simberloff, 2010; Okolodkov y García-Escobar, 2014).

México es uno de los países, a nivel mundial, con mayor participación en comercio vía marítima, debido a que cuenta con un excelente sistema portuario constituido por 117 puertos (15 no están concesionados a una API), permitiéndole conectar con más de 145 países (Secretaría de Comunicaciones y Transportes SCT, 2020; Altamarina, 2021). Por lo que se infiere en estas áreas que ya existen especies exóticas establecidas en territorios portuarios mexicanos y no han sido detectadas debido a la falta de estudios, listados de especies y especialistas que puedan identificarlos. En este contexto, Baja California es un estado con un alto riesgo de invasión debido a que cuenta con cinco puertos (Puerto de Ensenada, El sauzal, Isla Cedros, San Felipe y Rosarito), con un gran dinamismo de intercambio comercial, registrando conexión a 64 puertos de 28 países diferentes, por lo que continuamente atracan numerosos buques descargando altas cantidades de agua de lastre (Administración Portuaria Integral API, 2015). Asimismo, las actividades recreativas con botes en los puertos permiten el traslado de especies al incrustarse en ellos. Estas especies se mantienen con vida fuera del agua durante el tiempo suficiente para ser transportadas a un nuevo sitio (Kelly *et al.*, 2013).

Las comunidades macrobentónicas son importantes componentes de la biota portuaria, viviendo adheridos a sustratos artificiales como muelles y boyas (Chatzinikolaou *et al.*, 2021). Debido a su poca movilidad y alta capacidad de bioacumulación, estos organismos son susceptibles a los disturbios ambientales por lo que son utilizados como bioindicadores (Pawhstri *et al.*, 2014; Pastorino *et al.*, 2020). Lamentablemente, en México el estudio de estas comunidades se ha aplazado por más de 40 años, por lo que existen escasas listas de especies, poca comprensión ecológica de las comunidades e insuficiente información sobre el estado de sus residentes como nativos, exóticos o invasores (Salazar-Vallejo *et al.*,

2014). De entre esta comunidad destacan los poliquetos, un grupo de anélidos marinos con gran variedad morfológica y alta diversidad funcional, lo que les ha permitido ser un grupo exitoso en numerosos ambientes, generalmente, dominando en términos de abundancia y diversidad (Tovar-Hernández *et al.*, 2018).

En los últimos 25 años, México ha avanzado en el conocimiento de la poliquetofauna, sin embargo, todavía se desconoce gran parte de la diversidad de poliquetos a nivel nacional, debido a la falta de especialistas en poliquetos en nuestro país (de León González *et al.*, 2009; Tovar-Hernández *et al.*, 2014). Se estima que se han registrado menos del 50% del total de especies de poliquetos existentes en México (Tovar-Hernández *et al.*, 2014). Es por esto, que es importante generar una base de datos de referencia de la biodiversidad del grupo Polychaeta, de tal manera que se cuente con información básica para la identificación de riesgos biológicos como la invasión de especies exóticas.

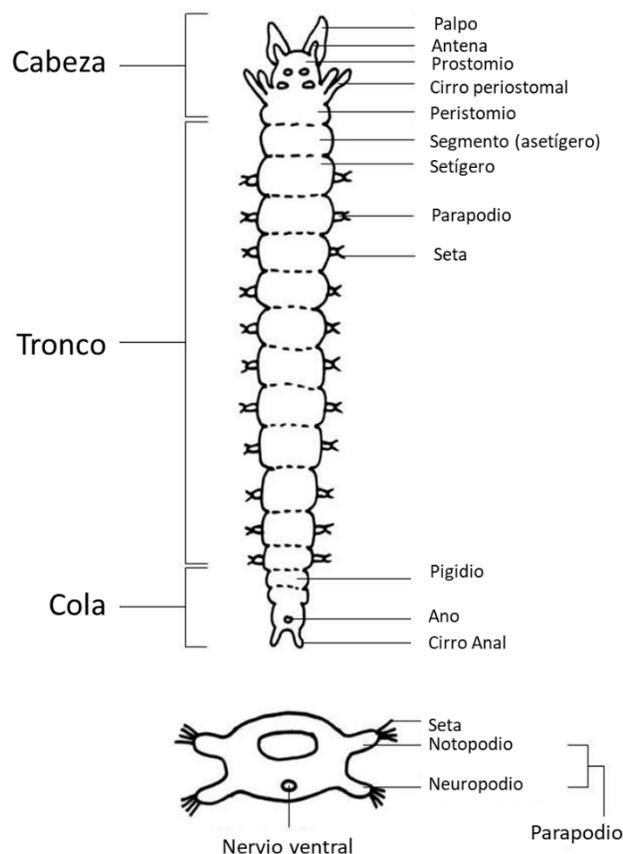
## **1.1 Antecedentes**

### **1.1.1 Poliquetos y su conocimiento en México**

Los poliquetos son uno de los grupos de invertebrados más importantes en el bentos marino, en cuanto a su abundancia, diversidad y biomasa (de León-González *et al.*, 2009). Además, se distribuyen prácticamente en todos los ambientes, pueden ser presas y depredadores, y son grandes indicadores ambientales (Elías *et al.*, 2021). Incluso algunos poliquetos son ampliamente conocidos por su valor como bioindicadores de áreas contaminadas, debido a su sensibilidad a las alteraciones en el ambiente (Fauchald, 1977). Por otra parte, en varios países ciertas especies han adquirido un significativo valor comercial al ser empleados como carnada para pesca (Glasby y Bailey-Brock, 2001). A pesar de lo antes mencionado estos organismos son todavía poco conocidos.

Los poliquetos más vistos son los errantes que viven entre algas, bajo rocas o arrastrándose sobre el sedimento. Estos organismos tienden a tener ojos bien desarrollados y apéndices sensoriales. Otros son sedentarios, viven en madrigueras o en tubos, tienen unos apéndices extensibles especiales que se proyectan por fuera del tubo, utilizados para coleccionar alimento de los alrededores o filtrarlo directamente del agua (Beesley *et al.*, 2000). En general, el cuerpo de los poliquetos es alargado y segmentado, está dividido en tres regiones básicas. La cabeza se divide en dos segmentos conocidos como prostomio y

peristomio, llevan los órganos sensoriales tales como antenas, palpos, ojos u órganos nucales. El siguiente segmento del cuerpo es el tronco, llamado soma o metastomio, porta los parapódos y setas. Cada segmento que posea setas es llamado setífero. El último segmento es el pigidio o cola donde se encuentra el ano, pueden tener o no cirros anales (Figura 1; Harris *et al.*, 2021).



**Figura 1** Diagrama de la morfología general de la clase Polychaeta (Modificado de Fauchald, 1977).

En México, se conocen más de 1500 especies, pertenecientes a 63 familias y 460 géneros, sin embargo, se estima que el total podría alcanzar entre las 3000 a 4000 especies (Tovar-Hernández *et al.*, 2014). Para fomentar el conocimiento e investigación de la taxonomía de poliquetos en México, el grupo de expertos en poliquetos en toda la república se han dedicado a generar y actualizar claves de identificación para todas las familias conocidas en los litorales mexicanos y el mar Caribe, los cuales fueron plasmados en el libro “Anélidos marinos de México y América tropical” (de León-González *et al.*, 2021a).

## 1.1.2 Ecología de las familias de poliquetos encontradas en este estudio

### 1.1.2.1 Capitellidae

Los capitélidos son organismos típicos de fondos blandos con una morfología similar a las lombrices de tierra. Comúnmente, se encuentran enterrados en el sedimento, no obstante, son organismos móviles y se alimentan de materia orgánica y las poblaciones bacterianas asociadas, por lo que se les clasifica como depositóvoros superficiales o subsuperficiales. Todas las especies de esta familia se alimentan usando una faringe no-muscular eversible. Son considerados indicadores de contaminación debido a su capacidad de colonizar y reproducirse en sedimentos con altas concentraciones de materia orgánica y otros contaminantes. A nivel mundial se consideran 43 géneros con 200 especies, de las cuales solo se han reportado 31 especies en el Pacífico mexicano (Jumars *et al.*, 2015; García-Garza, 2021).

### 1.1.2.2 Chrysopetalidae

Los crisopetálidos se distinguen por sus notosetas en forma de pétalos de color dorado que cubren el dorso. Generalmente, son pequeños, alcanzando como máximo los 10 centímetros de largo, y frágiles. Son gusanos poco abundantes y suelen encontrarse en sustratos bióticos, como epibiontes de esponjas, corales, hidrozooos, briozooos, conchas de verméticos y bivalvos, tubos de poliquetos sabeláridos y serpúlidos, tunicados, así como en pastos marinos y macroalgas. Estos aparentan ser en su mayoría carroñeros o carnívoros, aunque se reportan de algunos organismos semi-parasitos, alimentándose sobre otros invertebrados o algas. Se conocen 91 especies de crisopetálidos a nivel mundial, pertenecientes a 30 géneros. En el Pácifico tropical de América se han registrado 24 especies y 14 géneros (Jumars *et al.*, 2015; Cruz-Gómez *et al.*, 2021).

### 1.1.2.3 Cirratulidae

Los cirratúlidos son un componente importante y habitual de las comunidades bénticas intermareales y submareales. Son poliquetos claramente regionalizados de pocos milímetros hasta los 250 mm. Presentan gran variedad de procesos reproductivos, sexual y asexual puede ser por arquitomía (Consiste en la fisión del cuerpo y la regeneración de la región faltante de cada fragmento). Ocupan diversos hábitats como el

sedimento, bajo rocas y conchas, asociados a bancos de moluscos bivalvos, algas y praderas de fanerógamas marinas. Son clasificados como depositores de superficie con una motilidad discreta, exceptuando especies del género *Dodecaceria* y constructores de bolas de barro que son sésiles. Se refieren a algunas especies de esta familia como poliquetos oportunistas por su tolerancia a los fondos enriquecidos orgánicamente donde suelen ser numerosos. Varias especies de cirratúlidos son capaces de colonizar fondos defaunados. La familia comprende cerca de 240 especies distribuidas en 17 géneros mundialmente (Jumars *et al.*, 2015; Díaz-Díaz y Salazar-Vallejo, 2021).

#### **1.1.2.4 Dorvilleidae**

Los dorvilleídeos son un grupo de poliquetos de talla pequeña, desde unos cuantos milímetros, hasta unos pocos centímetros. Pueden ser de vida libre o parásitos de otros invertebrados. Muchas especies son consideradas oportunistas y proliferan en áreas enriquecidas de materia orgánica o altamente contaminadas. Se considera que todas las especies de *Dorvilleidae* pueden ser carnívoras, pero algunas pueden sobrevivir comiendo micro- o macroalgas y otros organismos de ventilas o emanaciones tienen una dieta rica en bacterias quimiosintéticas. La reproducción es muy variada y usualmente tienen sexos separados, aunque es común el hermafroditismo. Las especies descritas para esta familia son cerca de 200 y 37 géneros (Jumars *et al.*, 2015; Carrera-Parra, 2021a).

#### **1.1.2.5 Eunicidae**

Los eunícidos son uno de los grupos de poliquetos con mayor riqueza de especies, con organismos de unos cuantos milímetros hasta seis metros de longitud. Esta familia tiene una distribución mundial, comúnmente encontrados en regiones tropicales. Son capaces de habitar cualquier tipo de sustrato, siendo más frecuentes en sustratos duros. Tienen un amplio espectro de hábitos alimenticios, pudiendo ser carnívoros, herbívoros, carroñeros o incluso sedimentívoros. Son organismos dioicos con diferentes modos de reproducción, aunque la más documentada es la epitoquía, la cual consiste en cambios morfológicos asociados a la reproducción y que le permiten nadar por la columna de agua. Para el grupo *Eunicidae* se han descrito 9 géneros con más de 400 especies, de las cuales más de 250 se encuentran en el género *Eunice* (Jumars *et al.*, 2015; Carrera-Parra y Molina-Acevedo, 2021).

### 1.1.2.6 Hesionidae

Los hesiónidos se caracterizan por la cefalización de los segmentos anteriores y muestran dos tipos de cuerpo: pueden ser organismos con una estructura corporal fuerte o pueden ser diminutos. Son residentes de los intersticios en los sedimentos, vivir asociados a otros invertebrados o habitar fondos rocosos, en donde suelen ser frecuentes, pero poco abundantes. Los miembros de este grupo tienen una faringe muscular eversible, provista de mandíbulas; por lo que se considera carnívoras a las especies de mayor tamaño y microherbívoras o sedimentívoras a las más pequeñas. Se reconocen cerca de 150 especies en 35 géneros a nivel mundial (Jumars *et al.*, 2015; Salazar-Vallejo y Rizzo, 2021).

### 1.1.2.7 Lumbrineridae

Los lumbrinéridos son un grupo de talla mediana a pequeña con una amplia distribución mundial, siendo más comunes en las regiones templadas y tropicales. A pesar de que la mayoría de las especies de esta familia suelen ser excavadoras de fango o arena, existen algunas que prefieren los sustratos duros como rocas coralinas o vivir asociados a otros invertebrados como esponjas, erizos o briozoos. Anteriormente se creía que este grupo era omnívoro, sin embargo, estudios de isótopos estables realizados en diversos géneros de la familia, apoyan la idea de que estos poliquetos son carnívoros. Existe poca información sobre la biología y ecología de esta familia, no obstante, se ha demostrado que algunas especies tienen preferencia por áreas enriquecidas con materia orgánica (Jumars *et al.*, 2015; Carrera-Parra, 2021b).

### 1.1.2.8 Nereididae

Los neréididos tienen una amplia distribución mundial, desde los trópicos hasta los océanos Ártico y Antártico. Son capaces de habitar en diversos hábitats, tanto marinos como en cavernas, cenotes, arroyos de agua dulce e incluso en selvas tropicales entre la hojarasca cercana al mar. La mayoría de las especies presentan tallas medianas y largas. Nereididae es considerada una familia funcionalmente omnívora, debido a la plasticidad dietética y conductual, además, posee a las especies más longevas entre los poliquetos, como es el caso de *Alitta virens* que puede vivir más de 8 años. Los neréididos poseen sexos separados, pocas especies presentan hermafroditismo, pero la mayoría presenta epitoquia. Se conocen 47 géneros y aproximadamente 690 especies en todo el mundo; en América tropical se han registrado 103 especies pertenecientes a 24 géneros (Jumars *et al.*, 2015; de León-González *et al.*, 2021c).

### **1.1.2.9 Oeononidae**

Los oenónidos son poliquetos excavadores de sedimentos blandos que tienen una amplia distribución y su talla varía entre 1 y 90 cm de longitud, pueden llegar a tener más de 1000 segmentos (Paxton, 2000). Dentro de este grupo podemos encontrar especies endoparásitas, de vida libre o endoparásitas en alguna etapa de su desarrollo. Se conoce poco acerca de su biología, tienen sexos separados sin existir dimorfismo sexual y exceptuando a las especies parasitarias, presentan una actividad carnívora. La familia tiene alrededor de 100 especies distribuidas en 18 géneros (Jumars *et al.*, 2015; Carrera-Parra, 2021c).

### **1.1.2.10 Opheliidae**

Los ofélidos se encuentran distribuidos desde el Ártico al Antártico, y están presentes desde el intermareal hasta los 7000 m de profundidad. Los miembros de esta familia miden entre 5 mm y 7 cm y presentan entre 30 y 60 segmentos (Rouse y Pleijel, 2001). La mayoría de sus especies son excavadores y consumidores de detritus, no obstante, se han encontrado ejemplares en redes de arrastre de plancton. Tienen dos formas muy características: delgados con forma de torpedo o gruesos en su parte anterior y afilados en su parte posterior. Hasta ahora no se ha documentado reproducción asexual entre los ofélidos. Funcionalmente se les clasifica como depositóvoros subsuperficiales móviles con una faringe desarmada. Actualmente se conocen 7 géneros con un total de 160 especies en todo el mundo (Jumars *et al.*, 2015; Lagunas-Pérez *et al.*, 2021).

### **1.1.2.11 Orbiniidae**

Esta familia tiene una amplia distribución. Los orbínidos son poliquetos excavadores que habitan diferentes ambientes marinos, aunque prefieren las zonas costeras con poca profundidad, también están presentes en ambientes profundos y se han encontrado en ventilas hidrotermales (Blake y Hilbig, 1990). Son comunes en fondos blandos, areno-lodosos o con vegetación sumergida. Son organismos que miden entre 3-20 cm, aunque algunas especies alcanzan los 30 cm de longitud. Por sus hábitos alimenticios se les considera depositóvoros subsuperficiales móviles. Presentan reproducción sexual generalmente gonocórica, y se reproducen una vez al año. Tienen una vida media de entre dos a tres años. Dentro de la familia se han reconocido 20 géneros con aproximadamente 171 especies a nivel mundial, de las cuales se han registrado solo 7 géneros y 33 especies en México (Jumars *et al.*, 2015; Solís-Weiss *et al.*, 2021).

### **1.1.2.12 Phyllodocidae**

Tienen una amplia distribución mundial, en diversos sustratos. Los filodócidos se reconocen por sus cirros dorsales que asemejan tener la forma de hojas y por sus patrones de pigmentación, líneas longitudinales o transversales que se repiten en cada segmento. Todos son depredadores activos, carnívoros o posiblemente omnívoros, frecuentemente encontrados en zonas costeras asociados a sustrato duro, rocas, camas de mejillones o entre balanos. Estos poliquetos habitan la zona litoral y sublitoral, aunque algunas especies se han encontrado a más de 8000 m de profundidad. Miden entre algunos mm hasta 1 m de longitud y tienen entre 20 y 1000 segmentos. Son organismos dioicos, generalmente la fertilización ocurre en la columna de agua tras haber liberado sus gametos. Hasta el momento se han registrado 102 especies para América tropical, aunque aún se consideran algunos registros como cuestionables (Jumars *et al.*, 2015; Villalobos-Guerrero *et al.*, 2021).

### **1.1.2.13 Polynoidae**

Esta familia presenta una amplia distribución, desde los trópicos hasta Antártica (Beesley *et al.* 2000). Los polinoideos forman parte de un grupo conocido como poliquetos escamosos que se caracterizan por presentar a lo largo del dorso dos hileras de élitros (estructuras similares a las escamas). Esta familia es fácilmente distinguible por su prostomio bilobulado y la presencia de cirros dorsales que se alternan con los élitros. Son un grupo cosmopolita, generalmente de vida libre, algunas especies viven asociadas a diversos invertebrados, siendo los cnidarios y los equinodermos los más habituales. En su mayoría estos organismos son depredadores carnívoros. Viven en ambientes variados, zonas de pastos marinos, zonas rocosas, en madrigueras de otros animales como crustáceos y áreas con baja salinidad. Dentro de los poliquetos, Polynoidae es una de las familias más ricas estimando que existen unas 900 especies pertenecientes a 167 géneros. Para el Pacífico oriental tropical se han registrado 71 especies de 31 géneros (Jumars *et al.*, 2015; Salazar-Silva, 2021).

### **1.1.2.14 Sabellariidae**

Los sabeláridos son poliquetos sésiles que viven en tubos rígidos que ellos mismos construyen utilizando distintos materiales como granos de arena, fragmentos de conchas, foraminíferos, espinas de erizos y placas de balanos. Algunas especies son gregarias y forman “arrecifes”, otras son solitarias. Miden entre 2

y 5 cm de longitud y tienen cerca de 100 segmentos (Rouse y Pleijel, 2001). La mayoría de especies se consideran filtradoras. Los sabeláridos viven entre 3-10 años. Este grupo tiene una amplia distribución, encontrándose en todos los océanos del mundo. Se han registrado habitando desde superficies rocosas en la plataforma continental hasta los 6,000 metros de profundidad. Los géneros de esta familia tienen distribuciones geográficas limitadas a distintas variaciones en el ambiente, como la profundidad o el tipo de grano de arena. Actualmente, se considera que existen 136 especies, repartidas en 12 géneros diferentes a nivel mundial, de las cuales se reconocen 39 especies ubicadas en ocho géneros y 16 especies de registros cuestionables en el Pacífico oriental tropical y Gran Caribe (Chávez-López y Bastida-Zavala, 2021).

#### **1.1.2.15 Sabellidae**

Presentan una distribución mundial, pueden vivir en sustratos duros o en fondos blandos y algunos en agua dulce. Algunas especies pueden perforar el carbonato de calcio, viviendo en corales y moluscos. Los sabélidos son anélidos tubícolas que se caracterizan por la modificación del prostomio en forma de corona radiolar, convirtiendo a esta en una de las familias más vistosas. Miden desde menos de 1 mm hasta 45 cm (Giangrande et al, 2000). La mayoría se alimentan como suspensívoros y algunas especies también puede ser depositóvoras. Se han descrito aproximadamente 500 familias consideradas en 56 géneros, de los cuales se han registrado 95 especies y 29 géneros en América tropical (Tovar-Hernández y Fitzhugh, 2021).

#### **1.1.2.16 Serpulidae**

Los serpúlidos son los únicos poliquetos que pueden construir tubos calcáreos, con excepción de *Glomerula piloseta* (Perkins, 1991), un sabélido que también forma tubos calcáreos. El tamaño de esta familia es muy diverso, algunas especies pueden medir desde poco menos de 5 mm hasta 12 cm. Igualmente, tienen una longevidad diferente, por ejemplo, algunas especies de la subfamilia Spirorbinae viven apenas unos cuantos meses, mientras que se ha visto que algunos Spirobranchus viven más de diez años, de los cuales se han encontrado individuos de más de 40 años. Los serpúlidos habitan principalmente en sustratos duros y por la capacidad que tienen algunas especies de construir arrecifes a partir de tubos calcáreos agregados se les considera, ingenieros de ecosistemas (organismos que modulan, directa o indirectamente, la disponibilidad de recursos). La incrustación de estos organismos en sustratos artificiales ha causado problemas de diversos indoles, como el incremento de corrosión, la dificultad de navegación, obstrucción

de conductos y competencia por espacio con moluscos nativos. En México, se han registrado 25 géneros y 92 especies, de las cuales 12 especies son consideradas exóticas en el Pacífico oriental tropical (Bastida-Zavala y Sánchez-Ovando, 2021).

#### **1.1.2.17 Spionidae**

Se presentan en todos los hábitats marinos y son abundantes. Algunas especies viven en agua dulce y otras perforan las conchas y viven dentro de los moluscos. Los espionidos son generalmente pequeños, midiendo entre 1 mm y 5 cm, sin embargo, algunas especies llegan a medir entre los 14-16 cm. Estos poliquetos son suspensívoros, filtran partículas del agua, algunas especies poseen la habilidad de cambiar su patrón de alimentación depositóvoros dependiendo de las condiciones hidrodinámicas. Se les considera especies oportunistas por su alta abundancia en localidades con contaminación por materia orgánica. Presentan dos tipos de reproducción asexual: paratomía, que es la división del cuerpo en dos mitades, y éstas se regeneran, y arquitomía, que es la fragmentación del cuerpo en varios segmentos individuales que se regeneran. Su reproducción sexual es gonocórica, aunque se ha registrado que algunas especies presentan hermafroditismo. Esta familia es una de las más diversas, contiene 618 especies agrupadas en 39 géneros (Delgado-Blas, 2021).

#### **1.1.2.18 Syllidae**

Los sílidos son un grupo fácilmente reconocido por el proventrículo, una estructura muscular del sistema faríngeo de este grupo de poliquetos. Se distribuyen en todas las latitudes y son particularmente dominantes en sustratos duros y zonas cubiertas de macroalgas. Estos poliquetos son organismos generalmente pequeños, se reporta que miden de 1 mm hasta algunos cm (Rouse y Pleijel, 2001) y son aplanados de 1 mm diámetro por lo que nunca son dominantes en biomasa. Se dividen en cuatro subfamilias Eusyllinae, Exogoninae, Syllinae y Autolytinae. Las dos últimas compuestas por especies carnívoras especialistas, asociadas a colonias de esponjas, hidroides, corales o ascidias. Se conocen dos formas principales de reproducción: epigamia, que es la transformación completa del organismo en un individuo reproductor, y esquizogamia, el organismo modifica la parte posterior del mismo para desprenderla y formar un individuo reproductor independiente llamado estolón. Dentro de esta familia se han registrado 76 géneros y poco más de 700 especies (Góngora-Garza, 2021).

### **1.1.2.19 Terebellidae**

Los terebélidos son poliquetos conspicuos de tallas variables, desde 1 cm hasta 40 cm. Son anélidos sedentarios que construyen tubos con materiales que encuentran en el fondo. Sin embargo, también hay especies excavadoras de fondos blandos o incluso, nadadoras. Esta familia está ampliamente distribuida y presenta una gran diversidad de taxa descritos. Habitan desde zonas someras hasta profundas. La mayoría son depositóvoros selectivos, viven de 1 hasta 6 años. Se alimentan capturando con sus tentáculos pequeñas partículas ricas en microalgas y otros microorganismos. Para el Pacífico oriental tropical se han registrado 21 géneros y 53 especies, sin embargo, algunos de estos registros son dudosos, por ser descritos en regiones muy diferentes ecológicamente y distantes (Lodoño-Mesa, 2021). Se conocen alrededor de 400 especies y 44 géneros a nivel mundial (Hutchings *et al.*, 2017).

### **1.1.3 Comunidades bentónicas en Puertos**

Los puertos son de los ecosistemas costeros más perturbados debido a que son recipientes y fuentes de intensas presiones antropogénicas, centralizando un amplio rango de problemas ambientales, tales como emisiones de contaminantes en el aire, dragado y transporte de sedimentos, instalaciones industriales, construcción de embarcaderos y recubrimientos antiincrustantes, almacenamiento y derrame de materiales peligrosos, e introducción de especies exóticas invasoras (Darbra *et al.*, 2005; Chatzinikolaou *et al.*, 2018; Mosbahi *et al.*, 2021). En muchos casos, los puertos se consideran ensenadas costeras que tienen un flujo y cambios de agua relativamente limitados, aumentando la concentración de materia orgánica, con hidrodinámica desde alto hasta moderado, buena oxigenación, débil circulación de corriente y altas tasas de sedimentación (Chatzinikolaou *et al.*, 2018). La fauna portuaria responde al gradiente de materia orgánica, presentándose una transición de comunidades bentónicas normales en la entrada del puerto a las áreas internas azoicas del puerto con concentraciones más altas de materia orgánica e hidrodinámica de baja energía (Chan *et al.*, 2016).

La macrofauna bentónica de los puertos que reflejan áreas semicerradas con conexión restringida al mar abierto es bien conocida a escala mundial (Dauvin *et al.*, 2017). En los puertos con altos niveles de contaminación, un número limitado de especies ha sido reportado, con una dominancia de poliquetos tolerantes a la contaminación en respuesta a un alto estrés ambiental. Sin embargo, la mayoría de los puertos muestran un estado de proliferación de especies oportunistas de poliquetos principalmente de

las familias Cirratulidae, Spionidae y Capitellidae (Guerra-García *et al.*, 2003; Guerra-García y García-Gómez, 2004; Covazzi-Harriague *et al.*, 2012).

De acuerdo, con Salazar-Vallejo *et al.* (2014), existe un atraso en el conocimiento de la biota portuaria en México de aproximadamente 40 años, ya que fue la Secretaría de Marina (SEMAR) quien realizó listados de las especies de diferentes grupos taxonómicos presentes en los puertos mexicanos a finales de los años 70s y principio de los 80s. En la actualidad estos reportes son difíciles de consultar ya que no son digitales. De cualquier manera, estos son reportes antiguos que necesitan ser actualizados, siendo importante aumentar el esfuerzo de estudios en puertos.

#### **1.1.4 Invasiones biológicas**

Las invasiones biológicas son el resultado del transporte de una especie desde su lugar de origen a otro y son una de las principales causas de afectaciones a la biodiversidad en sistemas terrestres, marinos y de agua dulce (Früh *et al.*, 2012; Gouillieux *et al.*, 2022). Además, provocan importantes modificaciones ambientales que, en conjunto con el calentamiento global, perturban los ciclos biogeoquímicos y alteran diversos hábitats, causando la pérdida de especies y ecosistemas (Mendoza y Koleff, 2014). Cabe mencionar que, las especies invasoras son la causa de grandes daños a la economía, solamente en EE. UU. se gastan aproximadamente 120 millones de dólares al año en programas de manejo y control, así como también remplazo de piezas importantes para algunas instalaciones de tratamiento de agua, las cuales resultan irreparables tras una infestación a infraestructuras, como boyas o muelles, por bioincrustaciones (Pimentel *et al.*, 2005; de Poorter *et al.*, 2009). Por lo que existen diversos programas (locales, nacionales o mundiales) de prevención, enfocados en la acuicultura y el transporte marítimo (Gouillieux *et al.*, 2022).

Muchas especies son trasladadas intencionalmente con el motivo de usarlas en diferentes actividades económicas como cultivos para consumo humano, como organismos ornamentales en la acuariofilia, como cebos en la pesca deportiva o como control biológico (Calado y Chapman, 2006; Mendoza *et al.*, 2015; de León-González *et al.*, 2021b). En el caso de los ambientes marinos, existen diversos vectores por los que se puede introducir una especie como por el agua de lastre o incrustados en los cascos de los barcos. Las embarcaciones utilizan el agua de lastre en la navegación marítima para dar estabilidad a los buques y lograr seguridad, sin embargo, también son una vía de transporte de numerosas especies exóticas (Okolodkov y García-Escobar, 2014). El número de introducciones ha aumentado debido al incremento en embarcaciones y la velocidad de los cruceros transoceánicos, logrando realizar más viajes

en menos tiempo (Jensen y Knudsen, 2005). Hewitt y Campbell (2010) registraron más de 1780 especies invasoras marinas en todo el mundo, de las cuales se estimaron que cerca de un tercio han sido introducidas por agua de lastre y/o adheridas al casco de las embarcaciones.

El establecimiento exitoso de una especie exótica, tras su introducción, dependerá de diversos factores, principalmente que el sitio de destino presente condiciones fisicoquímicas apropiadas, la ausencia de depredadores y/o competidores, y la disponibilidad de recursos (Hayden *et al.*, 2009). Stachowicz *et al.* (1999) mencionan que los sitios con mayor diversidad son más resistentes a las invasiones, debido a la falta de espacios o nichos para ocupar. De acuerdo con lo anterior, los ambientes con comunidades pobres son vulnerables a las invasiones, ya que la cantidad de espacios disponibles para ocupar es mayor, ejemplo de estos son los sitios contaminados (Nehring, 2006).

Debido a la gran variabilidad de estrategias alimenticias y reproductivas que presentan los poliquetos han sido capaces de introducirse en diversas áreas del mundo, por medio de agua de lastre, incrustándose en el casco de los barcos y hasta por canales (Çinar, 2009). Nishi y Kato (2004) reportaron un total de 74 especies de poliquetos exóticos alrededor del mundo. En cambio, Çinar (2013) menciona que se han reportado 292 especies exóticas de poliquetos, de las cuales 180 especies han sido reconocidas como establecidas y 31 especies casuales, es decir, solo fueron reportadas una vez y no se han vuelto a encontrar (Zenetos *et al.*, 2010).

Con respecto a las especies introducidas en México, de León-González *et al.* (2021b) mencionan que existen 11 especies exóticas registradas en los mares mexicanos, *Boccardiella ligerica* (Ferrogniere, 1898) para el Golfo de México, y otras diez en el Pacífico. *Alitta succinea* (Leuckart in Frey y Leuckart, 1847), *Branchiomma bairdi* (McIntosh, 1885), *Ficopomatus miamiensis* (Treadwell, 1934), *Hydroides elegans* (Haswell, 1883), *H. diramphus* (Mørch, 1863), *H. sanctaecrucis* Krøyer (in Mørch, 1863), *Capitella capitata* (Fabricius, 1780), *Exogone (Exogone) verugera* (Claparède, 1868), *Prionospio malmgreni* (Claparède, 1870) (Okolodkov *et al.*, 2007) y *Polydora websteri* Hartman (in Loosanof y Engle, 1943) se consideran especies exóticas dentro de las costas del Pacífico mexicano. (Villalobos-Guerrero *et al.*, 2012).

## 1.1 Justificación

En Baja California no se cuenta con registros o publicaciones sobre la composición y estructura de los ensamblajes de poliquetos presentes en puertos. Por lo tanto, este proyecto ha generado una base de

datos de referencia de la biodiversidad de poliquetos en estos ambientes. Se presenta valiosa información básica para las actividades de gestión portuaria y protección ambiental. Por otra parte, en un enfoque ecológico, el caracterizar la composición y estructura de las comunidades de poliquetos (diversidad, riqueza específica y abundancia), permitirá tener un mayor conocimiento de las poblaciones de especies nativas e introducidas de poliquetos.

## **1.2 Hipótesis**

El ensamblaje de poliquetos esclerobiontes tendrá una composición taxonómica y diversidad similar en el Puerto de Ensenada y El Sauzal.

## **1.3 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Caracterizar la composición y estructura de la fauna poliquetológica esclerobionte en los puertos de Ensenada y El Sauzal

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar los Puertos de Ensenada y El Sauzal mediante los parámetros fisicoquímicos: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH.
- Describir la composición taxonómica y funcional de la fauna de poliquetos esclerobiontes en ambos puertos.
- Determinar los factores principales que afectan en la variación de la composición y estructura de los ensamblajes.
- Determinar si existen especies exótico-invasoras

## Capítulo 2. Metodología

---

Este trabajo de investigación es parte de un proyecto más extenso: “Poliquetos exóticos invasores en marinas y puertos de México: vulnerabilidad y resiliencia ante el cambio climático”, cuya primera fase se realizó en 2021 y consistió en muestreos en puertos y marinas de los litorales mexicanos. Los muestreos se realizaron en los andadores (plataformas o muelles flotantes) presentes en las marinas turísticas, que son estructuras flotantes y por lo que se encuentran siempre al mismo nivel de inmersión.

Mientras que en los puertos se muestrearon las boyas de navegación y señalización. En cada zona se muestrearon tres andadores y tres boyas, cubriendo una distribución amplia de los puertos y marinas. Adicionalmente, para cada muestra se tomaron tres réplicas.

Además, se efectuaron muestreos selectivos en busca de grupos taxonómicos de interés (Serpulidae, Nereididae, Sabelidae, entre otros). Se revisaron otras estructuras sumergidas en el agua aparte de boyas y andadores, tales como pilotes, muelles, cascos de embarcaciones, rocas de escolleras, cimientos, cabos, redes y trampas sumergidas y otras estructuras flotantes inusuales (basura flotante como maderas, llantas, plásticos, unicel y otros objetos a la deriva). Es importante aclarar que para la toma de muestra de los selectivos no se utilizó el cuadrante, ni se replicaron las muestras, por lo que no se utilizaron en los análisis estadísticos.

En este proyecto se abarcan los puertos de Ensenada y El Sauzal. En ellos se colectaron muestras de tres andadores, tres boyas y dos selectivos en el puerto de Ensenada y una boya, dos andadores y dos selectivos en El Sauzal. Por lo que, en total se revisaron 31 muestras, considerando las réplicas correspondientes.

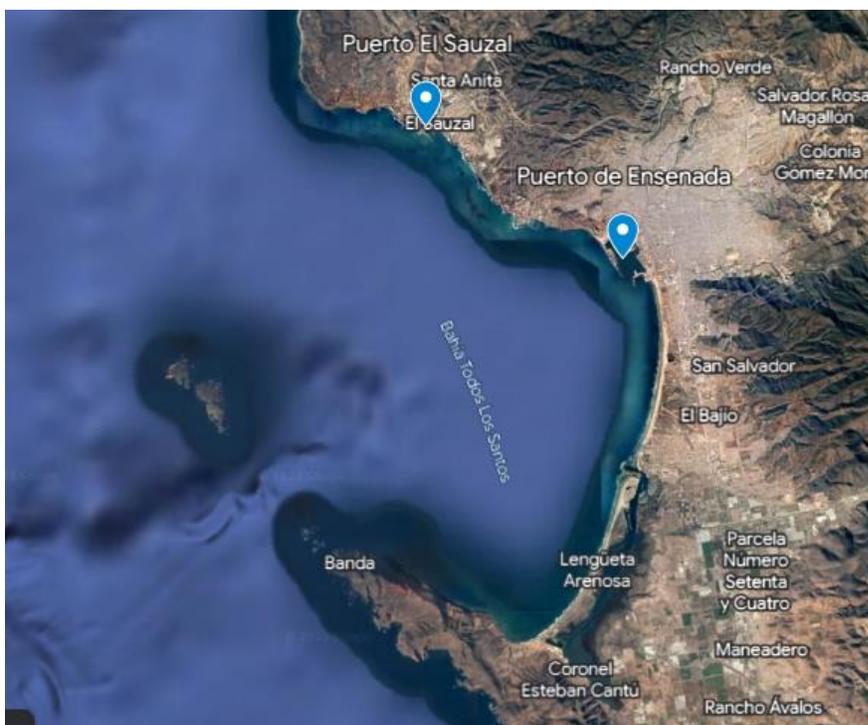
### 2.1 Área de estudio

Para este estudio se muestrearon dos puertos de altura de la costa oeste de Baja California, localizados dentro de Bahía Todos Santos, el puerto de Ensenada y El Sauzal.

### 2.1.1 Bahía Todos Santos

Bahía Todos Santos, es un cuerpo de agua semi cerrado, localizado en la zona noroeste de la Península de Baja California, se ubica a 110 km al sur de la frontera entre E.E. U.U.- México (Figura 2). Esta bahía se extiende desde “La Salina” hasta “Punta Banda”, cubriendo un área de 180 km<sup>2</sup> y está conectada al océano Pacífico a través de dos entradas, al norte y sur de las islas de Todos Santos. La profundidad promedio de la bahía es de 50 m, con un mínimo de 40 m en la entrada norte y máximo de 350 m en la entrada sur (Delgadillo-Hinojosa *et al.*, 2015). El clima es considerado tipo mediterráneo con una precipitación media de 265 mm/año, alcanzando sus niveles más altos en los meses de invierno-primavera. Presenta temperaturas de hasta 22.8°C en verano y 12.7°C en invierno (Tanahara *et al.*, 2021).

La hidrografía de la costa norte de Baja California es influenciada por dos corrientes de agua importantes: la Corriente de California, caracterizada por ser un flujo de agua fría y con baja salinidad de origen subártico y la Corriente subterránea de California que al contrario posee una salinidad relativamente alta de  $34.20 \pm 0.09$  ups (Kurczyn *et al.*, 2019). Además, la presencia de frecuentes vientos provenientes del noroeste induce surgencias a lo largo de toda la costa durante prácticamente todo el año, con tendencias de ser más fuertes durante primavera y verano (Delgadillo-Hinojosa *et al.*, 2020).



**Figura 2** Mapa de la Bahía Todos Santos señalando los puertos de Ensenada y El Sauzal.

### **2.1.2 Sistema de la Corriente de California**

El Sistema de la Corriente de California (SCC) es una ramificación del gran giro subtropical del Pacífico Norte que fluye por la costa oeste de Norteamérica, iniciando al sur de British Columbia, recorriendo toda la península de Baja California, finalizando al sur de Baja California Sur (Badan, 1997; Gangopadhyay *et al.*, 2011). Debido a su influencia en las costas de Norteamérica se considera una de las cinco corrientes de límite oriental con fuertes zonas de surgencias. Esta corriente se encarga de traer masas de agua fría desde latitudes altas a las más bajas y junto con las fuertes surgencias provoca que la costa del Pacífico sea más fresca que la costa del Atlántico (Jacox *et al.*, 2018).

### **2.1.3 El Puerto de Ensenada**

Ensenada es un puerto de altura, localizado sobre la costa occidental de la Península de Baja California, dentro de la Bahía de Todos Santos, en las coordenadas 31°51'00" Norte y 116°37'30" Oeste. Recibe su nombre por el mismo municipio al que pertenece Ensenada y se encuentra a 106 km de la frontera con Estados Unidos de Norteamérica. El recinto portuario abarca un área total de 3.377 km<sup>2</sup>. Sus actividades principales son comerciales, el manejo de carga contenerizada, gráneles agrícolas y minerales, sin embargo, también es utilizado para actividades de pesca comercial y deportiva, cruceros, marinas y astilleros. Además, es considerado uno de los 16 puertos más importantes de México por sus actividades comerciales de importación y exportación (Secretaría de Marina SEMAR, 2023).

El clima del puerto se considera seco mediterráneo templado, ya que las precipitaciones son escasas de aproximadamente 100 a 300 mm/año. Con respecto al viento, en primavera y verano las corrientes predominan del Noroeste con una magnitud de 3-10 nudos. En cambio, durante otoño e invierno, soplan los denominados "Vientos de Santa Ana" caracterizados por ser cálidos y secos, con magnitudes mayores que alcanzan 21 nudos. La brisa marina, sopla del mar a tierra durante el día y en sentido contrario en la noche, siendo persistentes y fuertes durante el verano y débiles en el invierno (Secretaría de Marina SEMAR, 2023).

#### **2.1.4 El Puerto de El Sauzal**

El Sauzal se localiza a 10 km al norte del puerto de Ensenada, en las coordenadas 31°53'41" Norte y 116°42'22" Oeste. Se encuentra en medio de dos playas, una al norte de cantos rodados y otra arenosa al sureste. Este puerto colinda con el Parque Industrial Portuario (SEMARNAT, 2005). Tiene una superficie de 1560 m<sup>2</sup> con un rompeolas de rocas de 500 m de largo y un canal de navegación, que comunica con Bahía Todos Santos, de aproximadamente 100 m de ancho y de máximo 9 m de profundidad, por el cual acceden las embarcaciones. El viento presenta direcciones dominantes del este con velocidades máximas de hasta 10 m/s. En marzo se han presentado temperaturas tan altas como 29°C, del aire y de hasta 17°C del agua de mar. La salinidad, en los primeros 10 metros de profundidad, es de 33.2-33.4 usp (Flores-Vidal *et al.*, 2005).

Importantes compañías pesqueras se ubican en este puerto, principalmente en la zona noroeste, la cual ha sido expuesta a descargas de grandes cantidades de sanguaza y desechos orgánicos de los barcos pesqueros desde hace muchos años. En este puerto se han observado indicios de contaminación, particularmente orgánica, como zonas con baja concentración de oxígeno, o acumulación de metales pesados en organismos filtradores (Rivera, 1984). Otros reportes han sido sobre los diversos contaminantes en la columna de agua y la acumulación de materia orgánica en los sedimentos (Segovia-Zavala *et al.*, 1988; Núñez, 1994).

## **2.2 Colecta y procesamiento de muestras**

El método de colecta es un proceso estandarizado diseñado por varios investigadores expertos en el estudio de los poliquetos, e.g. Dr. Jesús Ángel de León González y Dr. Sergio Ignacio Salazar Vallejo. Los pasos por seguir para los muestreos fueron los siguientes:

- 1) Selección del sitio de muestreo.
- 2) Determinación de los parámetros fisicoquímicos del agua con una sonda multiparamétrica.
- 3) Registro de coordenadas geográficas.
- 4) Toma de muestra.

### 2.2.1 Colecta de muestra

Para los muestreos se utilizó una red y espátula previamente lavadas y desinfectadas con una solución de hipoclorito de sodio al 10%. Un cuadrante fabricado de tubo de PVC de 50 cm de lado (0.25 m<sup>2</sup>) fue utilizado para delimitar el área a raspar. Se requirieron dos personas dentro del agua para la toma de muestra, una encargada de delimitar el área y desprender el material y la segunda de que todo quedará dentro de la bolsa de malla. Se colectaron tres muestras de andadores y tres de boyas de Ensenada, se tomaron dos muestras de andadores y una boya de El Sauzal.

Procedimiento para la colecta de muestras:

- 1) El marco de PVC se colocó en los primeros 50 cm del andador que se encuentra debajo del nivel del agua, y con la espátula se delimitó el área a raspar. Toda la biota esclerobionte contenida en la superficie delimitada se colocó en la red de malla, evitando la pérdida de muestra.
- 2) La muestra se vació en una bolsa de manta que contenía una etiqueta con el número de réplica correspondiente (R1: réplica 1, R2 o R3). La bolsa se anudó y se metió en una cubeta, cubriéndola con agua marina. Además, se colocó una bomba de aire portátil para mantener a los organismos con vida hasta su procesamiento. Se procedió a pasar al siguiente sitio de muestreo y se repitió el procedimiento hasta terminar los muestreos.
- 3) Se agregó cloruro de magnesio en el agua para que los poliquetos se relajaran y no se contrajeran al fijarlos.
- 4) Se trasladaron las muestras al laboratorio para el inicio de su procesamiento.

### 2.2.2 Procesamiento de las muestras

La separación de muestras se llevó a cabo en tres fases:

- Separación a grandes grupos zoológicos siguiendo la clasificación: Polychaeta, Crustacea, Mollusca, Equinodermata, Tunicata, Porifera y otros que incluye los demás grupos.

- Separación de anélidos poliquetos a nivel familia.
- Identificación de poliquetos a nivel de especies.

La separación de los organismos a grandes grupos se llevó a cabo de la siguiente manera:

- 1) En un recipiente grande se vació toda la muestra y se comenzó la separación utilizando pinzas y pipetas de plástico para evitar la fragmentación de organismos.
- 2) Los organismos se separaron colocándolos en su frasco correspondiente. El agua que quedo dentro del recipiente grande se tamizo con un colador de 500  $\mu\text{m}$  de apertura de malla para recuperar los organismos más pequeños y se incorporaron al contenedor correspondiente.
- 3) Las muestras ya se paradas se colocaron en frascos de vidrio, asegurando que el material biológico no ocupara más del 50% del volumen. Se etiquetaron y se fijaron en etanol 95% sin desnaturalizar, cubriendo el 90% de la capacidad del frasco ya con la muestra incluida.

Los poliquetos se separaron a nivel de familia en el laboratorio de Ecología del Bentos del CICESE siguiendo un procedimiento similar al anterior y utilizando las claves descritas en de León-González *et al.* (2021a).

La identificación de poliquetos a nivel de especie se llevó a cabo solo para las familias Capitellidae, Chrysopetalidae, Cirratulidae, Dorvilleidae, Opheliidae, Orbiniidae, Phyllodocidae, Sabellariidae y Terebellidae, debido a que las demás fueron comprometidas a ser examinadas por expertos en esa área.

Esta fase se llevó a cabo en el laboratorio de Biosistemática de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL). Aunque principalmente se utilizó bibliografía especializada como: de León-González *et al.* (2021a) y Blake (1996), se aprovechó para comparar las especies identificadas con las descripciones originales de algunas especies presentes en la colección de literatura taxonómica de la colección de poliquetos de la UANL.

## 2.3 Análisis de datos

Se crearon las matrices de datos para cada puerto muestreado. Se analizaron la abundancia y riqueza específica a nivel familia y especie, las cuales se utilizaron para calcular los índices de diversidad de Shannon ( $H'$ ), la dominancia de Simpson ( $D$ ), y el índice de equitatividad de Pielou ( $J'$ ), para cada sitio muestreado. Se utilizaron métodos estadísticos como Kruskal-Wallis para comparar parámetros fisicoquímicos e índices ecológicos entre andadores y boyas de los puertos de Ensenada y Sauzal. También se realizaron análisis multivariados de los ensamblajes de poliquetos mediante el método de escalamiento multidimensional no métrico (nMDS) para evaluar las disimilitudes en la composición. Posteriormente se calculó el porcentaje de similitud (SIMPER) para determinar el porcentaje de contribución a la disimilitud de cada familia y especie de poliqueto (Ruso *et al.*, 2007; Ruso *et al.*, 2008). Los análisis fueron realizados en R y Primer-E (González-Salazar *et al.*, 2021; Mansingh *et al.*, 2021).

### 2.3.2 Índices ecológicos

En este trabajo analizamos tres índices ecológicos utilizados en múltiples estudios ecológicos: diversidad de Shannon ( $H'$ ), la dominancia de Simpson ( $D$ ), y la equitatividad de Pielou ( $J'$ ) (Ruso *et al.*, 2008).

#### 2.3.2.1 Diversidad

En biología, nos referimos a la diversidad como la variedad de elementos presentes en un área determinada y un nivel de organización (población, ensamblaje, comunidad) (Moreno, 2019). El índice de Shannon o Shannon-Wiener ( $H'$ ) (Shannon, 1948), es conocido por la mayoría de los biólogos como un estimador de la diversidad de comunidades. La fórmula del índice es la siguiente:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i \quad (1)$$

Esta medida está basada en la abundancia proporcional de cada especie ( $p_i$ ) con respecto a la riqueza total de especies ( $N$ ). Eso indica que cuando las especies presenten la misma abundancia o sean equivalentemente comunes la diversidad será equivalente a la riqueza (Moreno, 2019).

### 2.3.2.2 Dominancia

La dominancia puede ser interpretada como el grado en que un taxón tiene mayor biomasa que sus competidores en una comunidad ecológica. En este caso es común utilizar el índice de Simpson (D), el cual mide la probabilidad de que dos organismos seleccionados aleatoriamente dentro de una muestra sean de diferentes taxones. La fórmula original es la siguiente:

$$D = \sum p_i^2 \quad (2)$$

Donde  $p_i$  es la proporción de las especies en una muestra. Los valores que se pueden obtener son de 0 a 1, siendo los valores altos los que indican una mayor dominancia en la comunidad, es decir, que la mayor proporción en la abundancia total de los organismos sea de uno o pocos taxa (Sommerfield *et al.*, 2008).

### 2.3.2.3 Equitatividad

La equitatividad es la estimación de cómo se distribuye la abundancia de los taxones, es decir, que tan uniforme es una comunidad. De entre los índices más utilizados se encuentra el de Pielou ( $J'$ ) (Pielou, 1969), el cual está basado en el índice de diversidad de Shannon ( $H'$ ). La fórmula es la siguiente:

$$J' = \frac{H'}{\log S} \quad (3)$$

S representa el número de especies en la muestra, y se utiliza  $\log(S)$  para reducir el efecto de la riqueza o diversidad en la ecuación. La equitatividad es inversa a la dominancia, sus valores van de 0 a 1, sin embargo, los más altos indican que todas las especies tienen abundancias similares (Smith y Wilson, 1996; Sommerfield *et al.*, 2008).

### 2.3.2.4 Prueba de Olmstead y Tukey

La prueba de Olmstead y Tukey es aplicada para analizar la distribución espacial de los organismos. Esta técnica trata sobre realizar un gráfico de la frecuencia en la que aparecen los organismos en cada muestra, expresándose como porcentaje, contra la abundancia de los organismos de cada especie. Se calcula un valor medio para ambos ejes, donde partirá una línea que atravesará el gráfico formando cuatro

cuadrantes en los cuales se ubicaran los organismos: I – Dominantes (abundantes y frecuentes); II- Restringidos (abundantes, pero poco frecuentes); III-Raros (poco abundantes y frecuentes); IV-Comunes (frecuentes, pero poco abundantes) (Díaz-Castañeda y Harris, 2004).

### **2.3.3 Análisis estadísticos**

#### **2.3.3.1 Kruskal-Wallis**

Kruskal-Wallis es una prueba estadística no paramétrica que evalúa las diferencias entre tres o más grupos muestreados de forma independiente en una sola variable continua que no se distribuye normalmente (McKight y Najab, 2010). Se empleó esta prueba ya que los datos no presentaban normalidad.

#### **2.3.3.2 Dendrogramas**

Los dendrogramas son un método de clasificación que agrupa elementos que comparten ciertas propiedades. Se utiliza principalmente para organizar grandes cantidades de datos, describiendo patrones de similitud y disimilitud (Everitt *et al.*, 2011). En este estudio se utilizó para observar las similitudes que presentan los ensamblajes de ambos puertos.

#### **2.3.3.3 Escalamiento multidimensional no métrico (n-MDS)**

Este es un método multivariado desarrollado por Kruskal (1964) para la resolución de problemas en psicología. Estos análisis se inician realizando una matriz de similitud o disimilitud. El propósito de este método es construir un mapa en un número específico de dimensiones, en los cuales las muestras se distribuirán de acuerdo con las condiciones impuestas por el rango de (di) similitud (Clarke y Warwick, 2001). Para este análisis los datos fueron transformados en  $\log(x+1)$ , para comprimir los valores altos y extender los bajos y se calculó la disimilitud por medio del coeficiente de Bray-Curtis.

#### **2.3.3.4 Análisis de componentes principales (ACP)**

El Análisis de Componentes principales es una técnica multivariada estadística que usa la transformación ortogonal para convertir un conjunto de variables correlacionadas en un conjunto de ortogonales, ejes sin correlación llamados componentes principales (Gotelli y Ellison, 2004).

#### **2.3.3.5 Porcentaje de Similaridad (SIMPER)**

Cuando un análisis como el nMDS divide un conjunto de muestras en dos grupos, es importante conocer cuales taxa contribuyen principalmente a esta división. Es por lo que Clarke (1993), propuso el análisis SIMPER el cuál calcula la contribución de cada taxon a la disimilaridad entre los grupos por medio del coeficiente de Bray-Curtis.

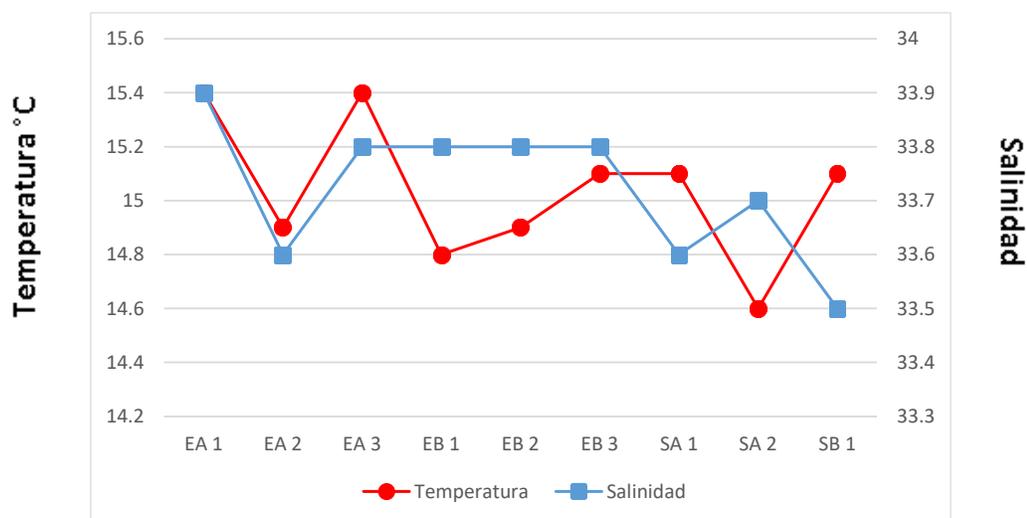
## Capítulo 3. Resultados

### 3.1 Parámetros fisicoquímicos

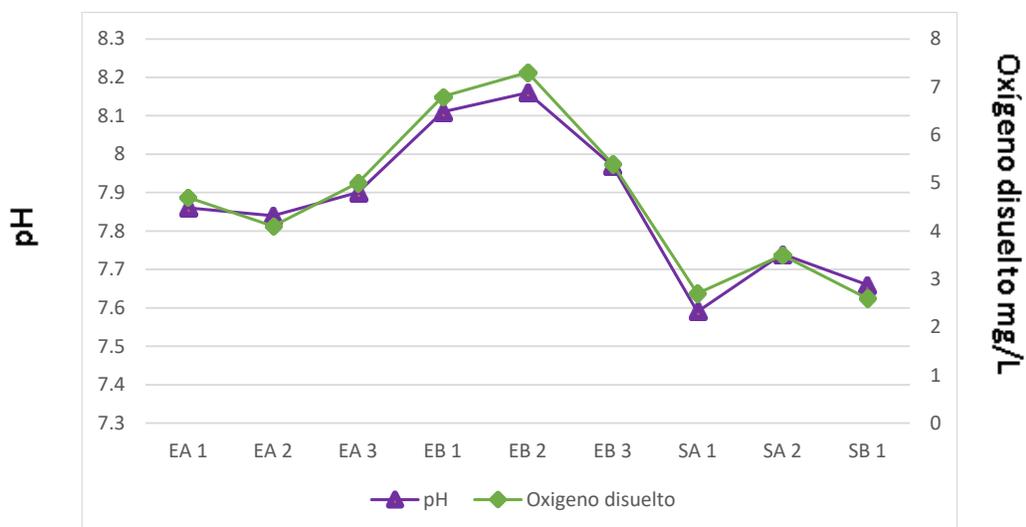
Los parámetros fisicoquímicos fueron medidos en cada estación muestreada. El puerto de Ensenada presentó los valores más altos, con salinidades de hasta 33.9‰, temperaturas de 15.4 °C. El oxígeno disuelto y el pH de los puertos tienen rangos de variación notoriamente diferentes siendo el valor mínimo de Ensenada mayor a los valores máximos obtenidos en el Sauzal (Tabla 1). En el caso del puerto de Ensenada, las boyas parecen tener valores más bajos de temperatura que los andadores, además de mostrar una salinidad constante de 33.8 en cada una (Figura 3). Por otra parte, en los andadores se presentaron valores más bajos de oxígeno disuelto (4 – 5 mg/L) y pH (7.8 – 7.9) que en las boyas con excepción de la boya “EB 3” muestra valores cercanos (Figura 4).

**Tabla 1** Parámetros fisicoquímicos medidos en los puertos de Ensenada y Sauzal

Parámetros fisicoquímicos	Puertos	
	Ensenada	Sauzal
Salinidad (‰)	33.6-33.9	33.5-33.7
Temperatura (°C)	14.8-15.4	14.6-15.1
pH	7.84-8.11	7.59-7.74
OD (mg/L)	4.1-7.3	2.6-3.5



**Figura 3** Temperatura y salinidad de cada sitio muestreado en los puertos de Ensenada y Sauzal. Ensenada E; Sauzal S; Andador A; Boya B; cada número es un sitio distinto.



**Figura 4** Valores de pH y oxígeno disuelto de cada sitio muestreado en los puertos de Ensenada y Sauzal. Ensenada E; Sauzal S; Andador A; Boya B; cada número es un sitio distinto.

### 3.2 Abundancia de poliquetos

En total se colectaron 9603 poliquetos pertenecientes a 19 familias, 7585 organismos fueron obtenidos del puerto Ensenada y 2018 organismos del puerto El Sauzal. En cada puerto se identificaron 18 familias, de las cuales Sabellariidae únicamente se encontró en el puerto Ensenada y Eunicidae en El Sauzal. En el Puerto de Ensenada las familias que presentaron las mayores abundancias fueron Syllidae con 2679 ind., Serpulidae con 1534 ind. y Spionidae con 1141 ind., mientras que en Sauzal la familia Nereididae fue la más abundante con 354 ind., seguidos por Orbiniidae con 251 ind., Syllidae con 245 ind., Chrysopetallidae con 237 ind. y Sabellidae con 229 ind. (Tabla 2).

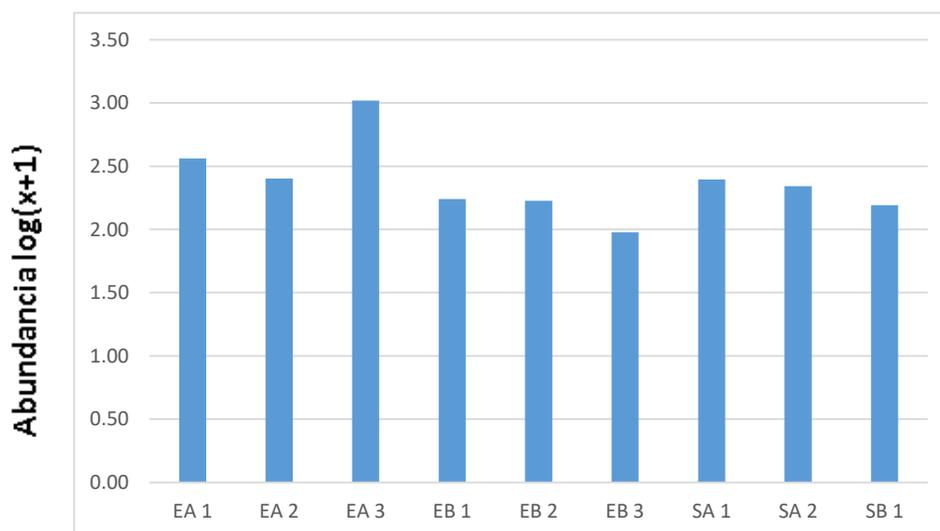
De las nueve familias que se trabajaron hasta el nivel de especie se identificaron un total de 31 especies. En Ensenada se colectaron 22 especies de las cuales cinco solo se encontraron en este puerto. Por otra parte, en El Sauzal se identificaron 24 especies de las cuales ocho solo se encontraron en este puerto. La familia Cirratulidae fue la que más especies presentó, con un total de siete especies. Solo cuatro de las especies estuvieron representadas por un solo individuo, *Notomastus bermejoi*, *Naineris sp.*, *Eteone dilatata*, y *Saballaria gracilis* (Tabla 2).

**Tabla 2** Abundancias de las familias y especies de poliquetos encontradas en los puertos de Ensenada y El Sauzal

Especie	Ensenada	Sauzal
<b>Capitellidae</b>		
<i>Capitella capitata</i>	40	110
<i>Notomatus hemipodus</i>	12	0
<i>Notomastus bermejoi</i>	0	1
<i>Mediomastus californiensis</i>	2	0
<b>Cirratulidae</b>		
<i>Cauleriella cristata</i>	201	37
<i>Cirratulus sp</i>	16	3
<i>Cirriformia spirobrancha</i>	39	0
<i>Cirriformia sp</i>	13	28
<i>Dodecaceria sp</i>	59	16
<i>Dodecaceria fewkesi</i>	0	41
<i>Protocirrinera violacea</i>	7	0
<b>Chrysopetalidae</b>		
<i>Chrysopetalum occidentale</i>	19	110
<i>Paleanotus bellis</i>	204	127
<b>Dorvilleidae</b>		
<i>Meiodorvillea apalpata</i>	4	43
<i>Schistomeringos longicornus</i>	4	27
<b>Eunicidae</b>		
	0	9
<b>Hesionidae</b>		
	20	12
<b>Lumbrineridae</b>		
	5	38
<b>Nereididae</b>		
	637	354
<b>Oeonidae</b>		
	85	27
<b>Opheliidae</b>		
<i>Polyophthalmus mauiola</i>	111	11
<i>Polyophthalmus sp</i>	36	14
<i>Armandia bioculata</i>	2	9
<i>Armandia circumpapillata</i>	0	28
<b>Orbiniidae</b>		
<i>Naineris dendritica</i>	73	249
<i>Naineris setosa</i>	0	5
<i>Naineris sp</i>	0	1
<b>Phyllodoceidae</b>		
<i>Eteone dilatata</i>	0	1
<i>Eulalia aviculiseta</i>	14	9
<i>Eulalia gracilis</i>	95	47
<i>Nereiphylla sp</i>	0	2
<i>Phyllodoce digueti</i>	8	7
<b>Polynoidae</b>		
	91	17
<b>Sabellariidae</b>		
<i>Sabellaria gracilis</i>	1	0

<b>Sabellidae</b>	105	220
<b>Serpulidae</b>	1534	49
<b>Spionidae</b>	1141	71
<b>Syllidae</b>	2679	245
<b>Terebellidae</b>		
<i>Nicolea latensis</i>	112	2
<i>Streblosoma uncinatus</i>	2	0

Se calculó la abundancia total de poliquetos por sitio con la finalidad de determinar si existían sitios particulares con muchos individuos. En la Figura 5, se muestra que los andadores, tanto del puerto de Ensenada como de Sauzal, presentaron abundancias más altas que las boyas. A su vez, hubo abundancias mayores en los andadores de Ensenada que en los de Sauzal. Las boyas de ambos sitios mostraron abundancias similares, con excepción de la boya “EB 3” donde se encontraron las abundancias más bajas de hasta 43 individuos. Cabe resaltar el andador “EA 3” donde se encontraron las abundancias más altas de hasta 1234 poliquetos (Figura 5).

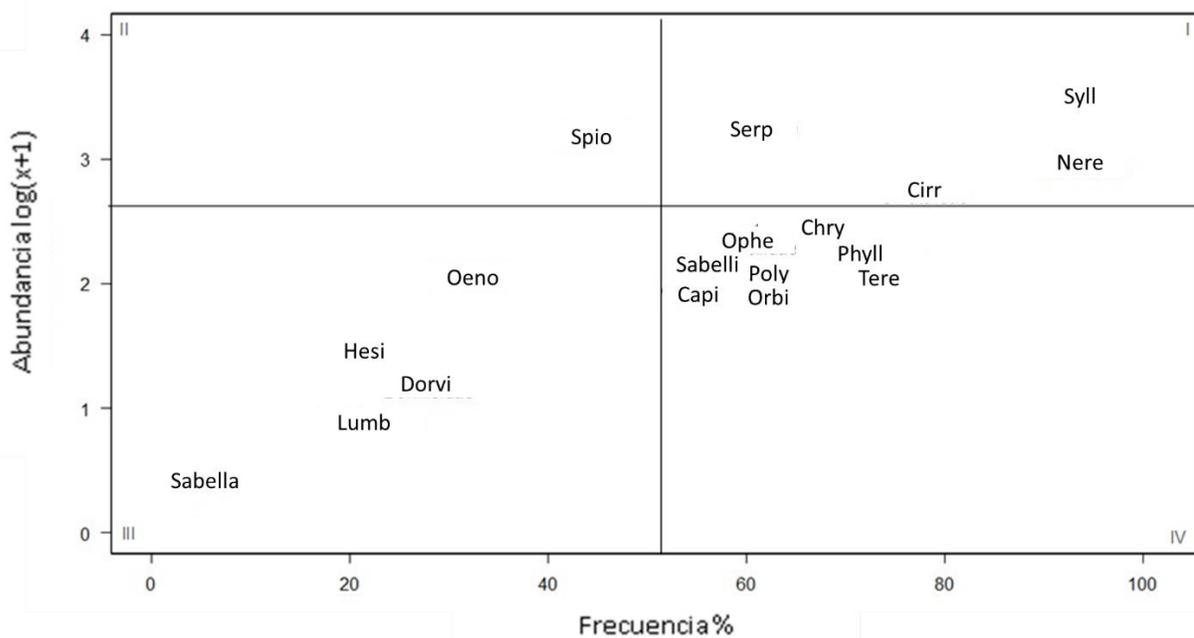


**Figura 5** Grafica de barra de la abundancia total de poliquetos por sitio de muestreo. Ensenada E; Sauzal S; Andador A; Boya B; cada número es un sitio distinto.

### 3.3 Análisis de dominancia

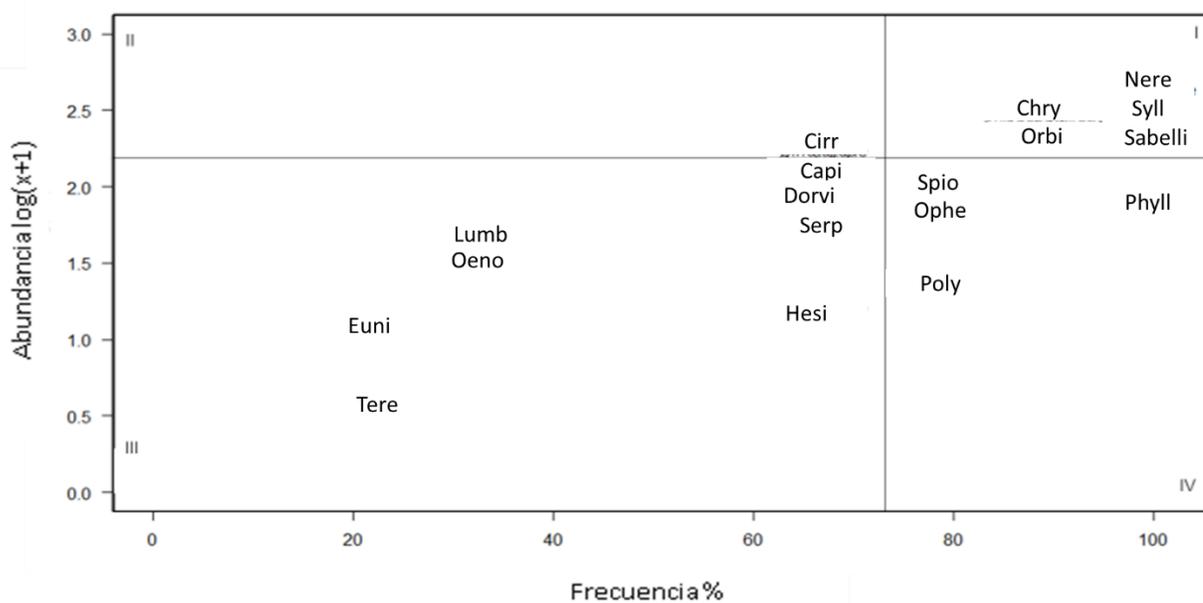
El análisis de Olmstead y Tukey se realizó para clasificar las familias encontradas de acuerdo con su abundancia y frecuencia por puerto. Las familias se ubicaron en los siguientes grupos: dominantes, restringidos, raros y comunes. En el puerto de Ensenada los valores promedio de abundancia  $\log(x+1)$  y

frecuencia fueron 2.03 y 55%, resultando en nueve familias dominantes, principalmente Syllidae y Nereididae; tres familias comunes, Polynoidae, Orbiniidae y Capitellidae; cinco familias raras, contando a Sabellariidae que presentó solo un individuo, Lumbrineridae fue la segunda con menor frecuencia y abundancia; Spionidae resulto la única familia restringida en este puerto, ya que presentó altas abundancias en andadores pero se encontraron pocos individuos en algunas boyas (Figura 6). El puerto de Sauzal mostró valores promedio de 1.78 y 70% encontrando ocho familias dominantes, donde Nereididae supero a las demás en abundancia seguido por Syllidae y Chrysopetalidae; se encontraron tres familias restringidas, Cirratulidae y Capitellidae que presentan abundancias similares y Dorvilleidae; seis familias raras principalmente Terebellidae que tuvo la menor abundancia, seguido de Eunicidae; y por último una sola familia común, Polynoidae (Figura 7).

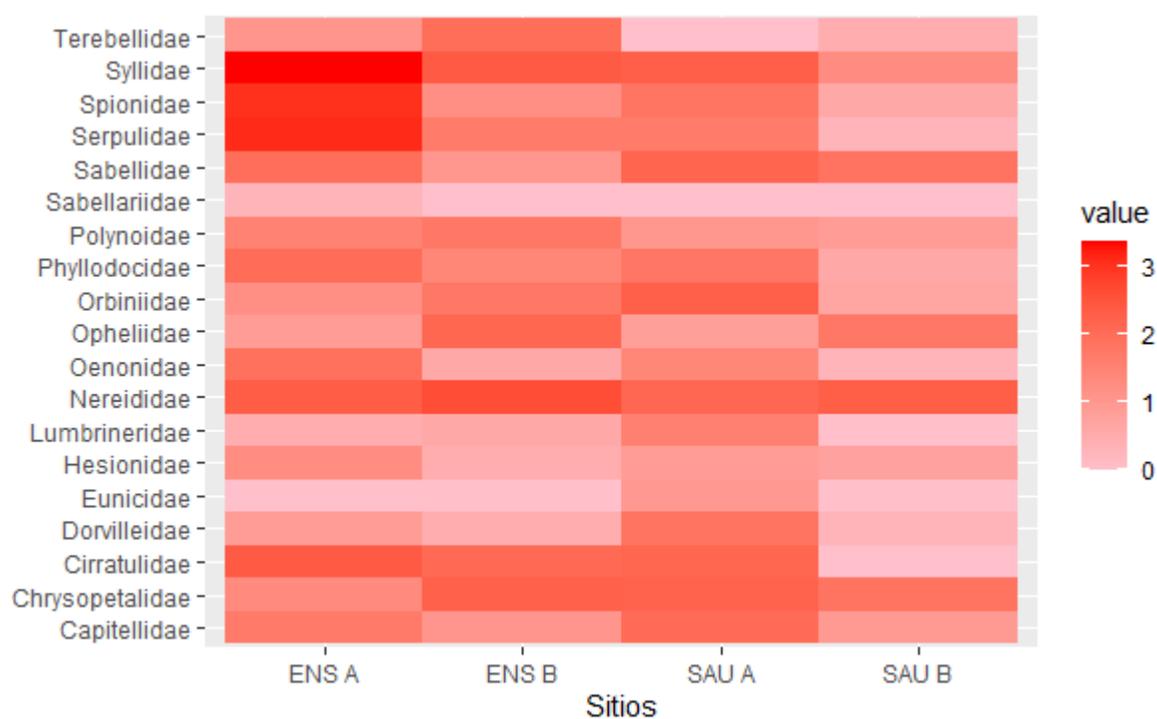


**Figura 6** Análisis de Olmstead y Tukey de las familias de poliquetos en el puerto de Ensenada.

Syllidae y Nereididae fueron las familias más frecuentes y abundantes en ambos puertos. De acuerdo con el mapa de calor, los sílidos fueron dominantes en los andadores de Ensenada y El Sauzal donde en este último, los orbínidos y sabélidos presentaron valores similares de abundancia y frecuencia. En cambio, los neréididos fueron los organismos más abundantes en las boyas de Ensenada y Sauzal (Figura 8).



**Figura 7** Análisis de Olmstead y Tukey de las familias de poliquetos en el puerto de Sauzal.



**Figura 8** Mapa de calor de la contribución de la abundancia  $\log(x+1)$  por cada familia en el puerto de Ensenada y Sauzal. Ensenada ENS; Sauzal SAU; Andadores A; Boyas B.

### 3.4 Índices ecológicos

Se analizaron los índices de Shannon, Simpson y Pielou a nivel familia y nivel especie. A nivel familia, se obtuvieron especies pertenecientes a 16 familias en los andadores de ambos puertos Ensenada y El Sauzal. La diversidad fue mayor en el puerto de Sauzal, específicamente en sus andadores con rangos de 2.20 – 2.27, mientras que en Ensenada las boyas son las que presentaban valores más altos de 1.63 - 2.07. La dominancia más alta fue encontrada en los andadores de Ensenada con valores de 0.29-0.48 mientras que los más bajos fueron presentados en los andadores de Sauzal de 0.13-0.14. Por último, el valor más alto y bajo de equitatividad se obtuvieron en las boyas y andadores de Ensenada, 0.88 y 0.4 respectivamente (Tabla 3).

**Tabla 3** índices ecológicos de los puertos Ensenada y El Sauzal a nivel de familia. Ensenada E; Sauzal S; Andador A; Boya B.

	Riqueza de familias	H' (ln)	D	J'
EA	9-16	0.88-1.61	0.29-0.48	0.4-0.61
EB	9-15	1.63-2.07	0.16-0.29	0.68-0.88
SA	15-16	2.20-2.27	0.13-0.14	0.81-0.82
SB	15	1.73	0.26	0.64

A nivel de especie las riquezas más altas y bajas se presentaron en los andadores de Sauzal de 13 y 24 taxa. Los valores de diversidad se vieron elevados ligeramente, pero aún se presenta la mayor diversidad en los andadores de Sauzal desde 2.09 hasta 2.58, mientras que las más bajas se presentaron en los andadores de Ensenada con 0.89-1.63. La dominancia de Simpson muestra valores altos de 0.29 – 0.49 en los andadores de Ensenada y bajos en los andadores de El sauzal con 0.09-0.18. El ultimo índice de equitatividad, muestra que los valores más altos se observan en los andadores de Sauzal y las boyas de Ensenada, 0.81, mientras que los valores más bajos se presentan en los andadores de ensenada con 0.34 (Tabla 4).

**Tabla 4** índices ecológicos de los puertos Ensenada y Sauzal a nivel de especie. Ensenada E; Sauzal S; Andador A; Boya B.

	Riqueza de especies	H' (ln)	D	J'
EA	14-22	0.89-1.63	0.29-0.49	0.34-0.52
EB	14-21	1.73-2.46	0.10-0.28	0.59-0.81
SA	13-24	2.09-2.58	0.09-0.18	0.66-0.81
SB	21	2.30	0.14	0.76

### 3.5 Análisis de Kruskal-Wallis

Este análisis mostró que la temperatura no es diferente estadísticamente entre boyas y andadores. En cambio, la boya de Sauzal tiene una salinidad diferente significativamente al puerto de Ensenada. Las boyas de Ensenada presentan pH y oxígeno disuelto, diferentes estadísticamente al puerto de Sauza (Tabla 5).

**Tabla 5** Valores *p* de la Kruskal-Wallis para los parámetros fisicoquímicos de andadores y boyas. Ensenada ENS; Sauzal SAU; Andadores A; Boyas B.

	Salinidad	Temperatura	pH	O.D.
ENS B – ENS A	NS	NS	NS	NS
SAU A – ENS A	NS	NS	NS	NS
SAU B – ENS A	P<0.05	NS	NS	NS
SAU A – ENS B	NS	NS	P<0.05	P<0.05
SAU B – ENS B	P<0.05	NS	P<0.05	P<0.05
SAU B – SAU A	NS	NS	NS	NS

El análisis a nivel familia revela que la abundancia de los ensamblajes es diferente entre los andadores y boyas de Ensenada. En el caso de los índices ecológicos, todos muestran diferencias significativas entre los andadores (Tabla 6).

**Tabla 6** Valores *p* de la prueba Kruskal-Wallis para los ensamblajes a nivel familia de Andadores y Boyas. Ensenada ENS; Sauzal SAU; Andadores A; Boyas B.

	Abundancia	Riqueza de familia	H'	D	J'
ENS B – ENS A	P<0.05	NS	NS	NS	NS
SAU A – ENS A	NS	NS	P<0.05	P<0.05	P<0.05
SAU B – ENS A	NS	NS	NS	NS	NS
SAU A – ENS B	NS	NS	NS	NS	NS
SAU B – ENS B	NS	NS	NS	NS	NS
SAU B – SAU A	NS	NS	NS	NS	NS

A nivel especie podemos observar diferencias estadísticas en la abundancia y equitatividad de los ensamblajes de los andadores y boyas de Ensenada. Por otra parte, los andadores de Ensenada también muestran diferencias significativas con respecto a la diversidad, dominancia y equitatividad del puerto de Sauzal, con excepción de los andadores de Sauzal los cuales no presentan diferencias en este último índice (Tabla 7).

**Tabla 7** Valores *p* de la prueba posterior Tukey para Andadores y Boyas a nivel de especie. Ensenada ENS; Sauzal SAU; Andadores A; Boyas B.

	<b>Abundancia</b>	<b>Riqueza</b>	<b>H'</b>	<b>D'</b>	<b>J'</b>
<b>ENS B – ENS A</b>	P<0.05	NS	NS	NS	P<0.05
<b>SAU A – ENS A</b>	NS	NS	P<0.05	P<0.05	NS
<b>SAU B – ENS A</b>	NS	NS	P<0.05	P<0.05	P<0.05
<b>SAU A – ENS B</b>	NS	NS	NS	NS	NS
<b>SAU B – ENS B</b>	NS	NS	NS	NS	NS
<b>SAU B – SAU A</b>	NS	NS	NS	NS	NS

### 3.6 Análisis de Similitud entre ensamblajes

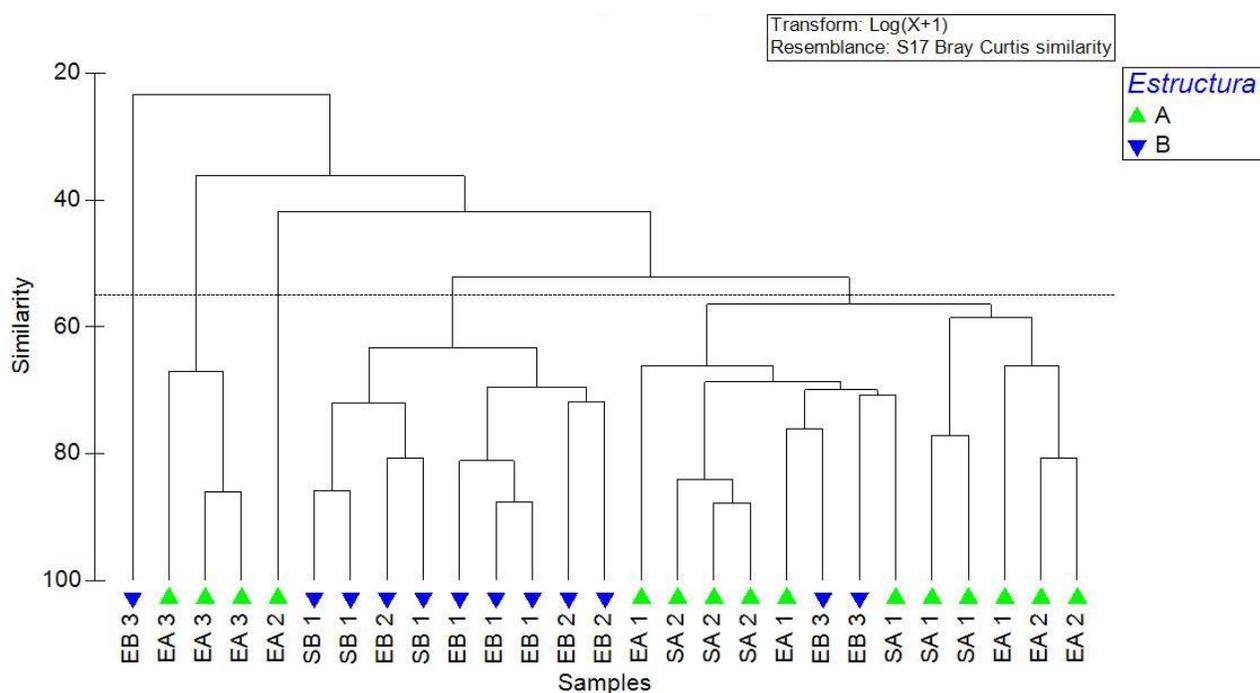
Los análisis multivariados se utilizaron para calcular la similitud entre los ensamblajes de poliquetos, agrupando aquellos sitios con similitud alta o sea con perfiles faunísticos parecidos. Las pruebas a nivel familia en la figura 9 muestran tres conglomerados con un 55% de similitud. El primer conglomerado está representado por el andador de Ensenada “EA 3”.

El segundo conglomerado muestra una agrupación de las boyas tanto de Ensenada como de Sauzal, a excepción de la “EB3”, la cual se encuentra en la entrada al Puerto de Ensenada y fue incluida en el tercer conglomerado junto al resto de los andadores.

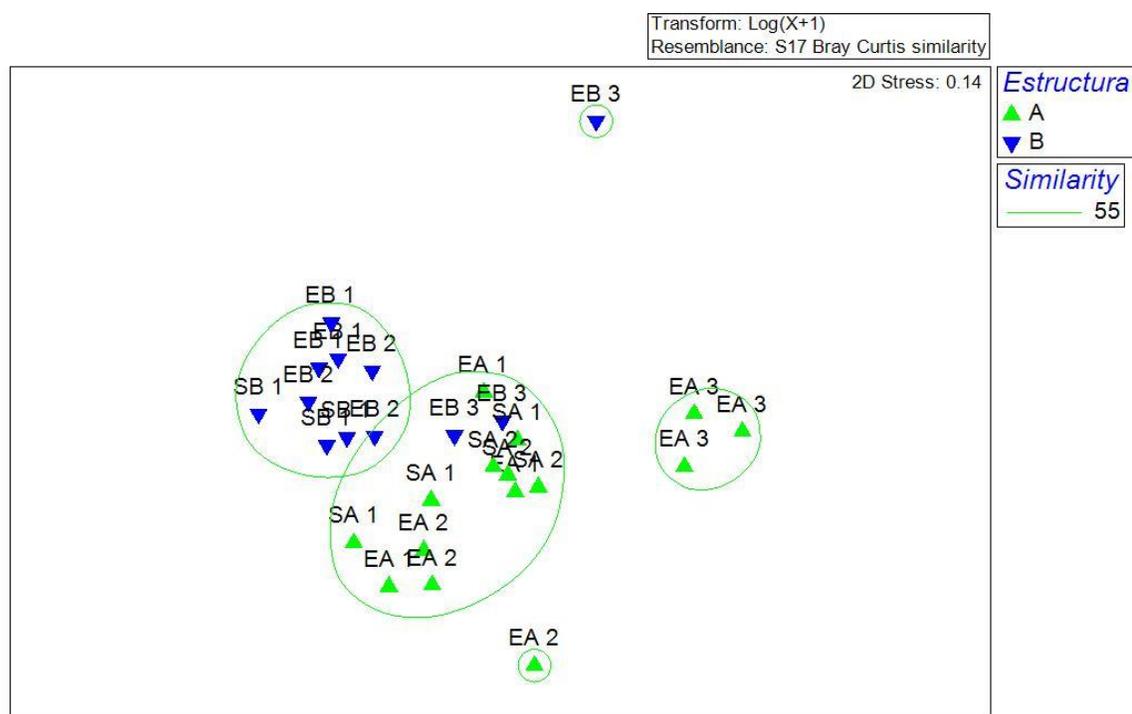
Complementando estos resultados, el escalamiento multidimensional MDS, con un estrés de 0.14, agrupó a las muestras obtenidas en los andadores a la derecha, mientras que las muestras de las boyas se agruparon a la izquierda (Figura 10).

A continuación, se realizó un análisis SIMPER para determinar cuáles eran los grupos taxonómicos que más contribuían a la similaridad entre grupos y disimilaridad entre grupos. A nivel familia, los andadores muestran una similaridad promedio de 25%, cuatro familias contribuyen a poco más del 60% de la similaridad, siendo Syllidae la que más contribuye (34.46%).

Las boyas son similares en un 40%, las familias que contribuyen al 70% de esta similitud son tres, siendo Nereididae la que más contribuye (36.18%). La disimilitud entre andadores y boyas es alta de 76%, siendo cinco las familias que contribuyen con más del 60%, Syllidae, Serpulidae, Nereididae, Spionidae y Cirratulidae en ese orden (Tabla 8).



**Figura 9** Dendrograma con datos de abundancia a nivel familia transformados a  $\log(x+1)$ , se usó el coeficiente de Bray-Curtis. Ensenada E; Sauzal S; Andadores A; Boyas B.



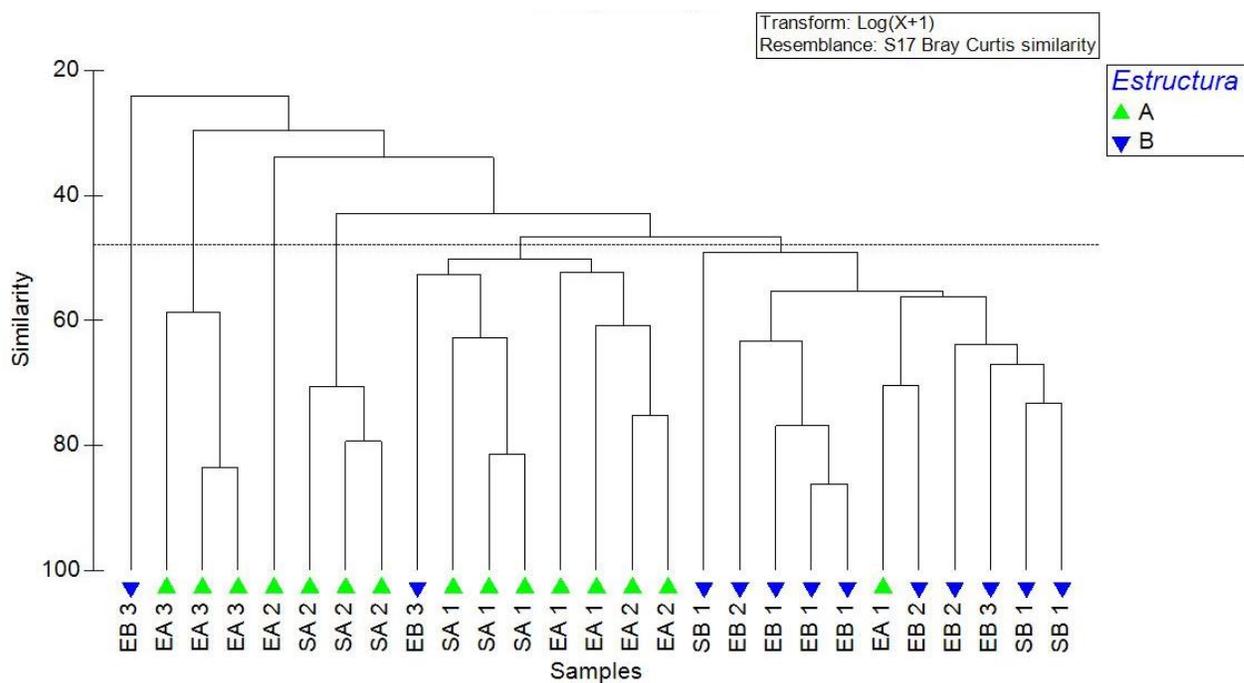
**Figura 10** Escalamiento multidimensional no métrico (nMDS) usando datos a nivel familia de abundancia transformados a  $\log(x+1)$ . Ensenada E; Sauzal S; Andadores A; Boyas B.

**Tabla 8** Resumen de los resultados del SIMPER a nivel familia

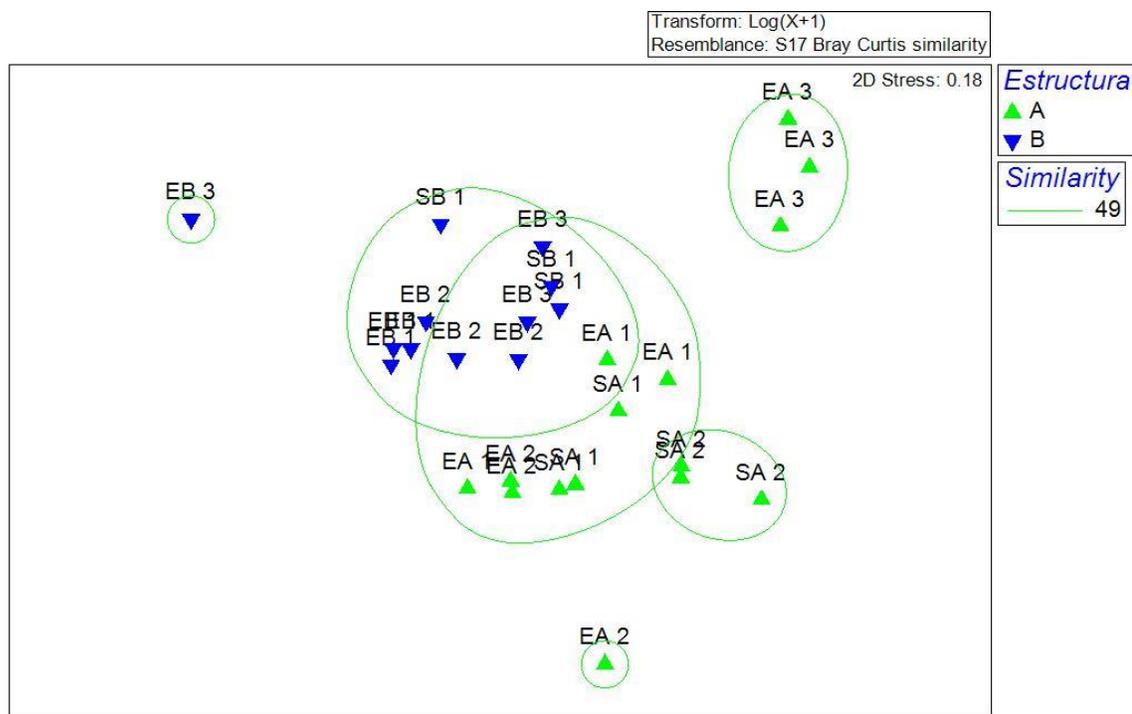
<b>Similitud entre Andadores: 25.11%</b>				
Familia	Abundancia promedio	Similitud promedio	Contribución (%)	
Syllidae	170.33	8.65	34.46	
Nereididae	23.40	3.22	12.84	
Cirratulidae	25.87	2.92	11.65	
Serpulidae	88.67	2.72	10.82	
<b>Similitud entre Boyas: 40.05%</b>				
Familia	Abundancia promedio	Similitud promedio	Contribución (%)	
Nereididae	52.42	14.49	36.18	
Syllidae	21.17	6.98	17.42	
Chrysopetalidae	20.75	6.89	17.20	
<b>Disimilitud entre andadores y boyas: 76.59%</b>				
Familia	Abundancia promedio grupo A	Abundancia promedio grupo B	Disimilitud promedio	Contribución (%)
Syllidae	170.33	21.17	16.56	21.63
Serpulidae	88.67	3.92	12.14	15.85
Nereididae	23.40	52.42	8.86	11.57
Spionidae	78.60	1.58	7.36	9.61
Cirratulidae	25.87	9.92	5.67	7.40

Los análisis realizados a nivel de especies agruparon de manera distinta, en ensamblaje de poliquetos. En la Figura 11, se observan 4 conglomerados distintos con un 49% de similitud, el primer y segundo conglomerado están compuestos por un andador cada uno, el “EA 3” y “SA 1”. En el tercer conglomerado se aglomeran los andadores restantes y en el cuarto conglomerado las boyas. Junto al grupo tres de andadores se presenta una repetición de la boya “EB 3” la cual es la más cercana al puerto de Ensenada. Por otra parte, en el conglomerado cuatro de las boyas, se encuentra una repetición del andador “EA 1”, sugiriendo que este sitio presenta una estructura de ensamblajes de poliquetos de andadores como de boyas. El escalamiento multidimensional (Figura 12), con un estrés de 0.18, muestra una clara separación entre las boyas, que se agrupan en la zona superior izquierda del gráfico y los andadores en la inferior derecha.

A nivel especie, los andadores muestran una similaridad promedio de 21%, son tres los grupos que contribuyen a más del 60% de la similaridad, siendo Syllidae la que más contribuye (30.11%). Las boyas presentan una similaridad de 38%, los taxa que contribuyen a más del 70% de esta similitud son tres, siendo Syllidae los que contribuye más. La disimilitud entre andadores y boyas es alta de 76%, siendo cinco los taxa que contribuyen con más del 60%, Syllidae, Serpulidae, Nereididae, Spionidae y *Paleanotus bellis* en ese orden (Tabla 9).



**Figura 11** Dendrograma con datos de abundancia a nivel especie transformados a  $\log(x+1)$ , se usó el coeficiente de Bray-Curtis. Ensenada E; Sauzal S; Andadores A; Boyas B.



**Figura 12** Escalamiento multidimensional no métrico (nMDS) usando datos a nivel especie de abundancia transformados a  $\log(x+1)$ . Ensenada E; Sauzal S; Andadores A; Boyas B.

**Tabla 9** Resumen de los resultados del SIMPER a nivel especie

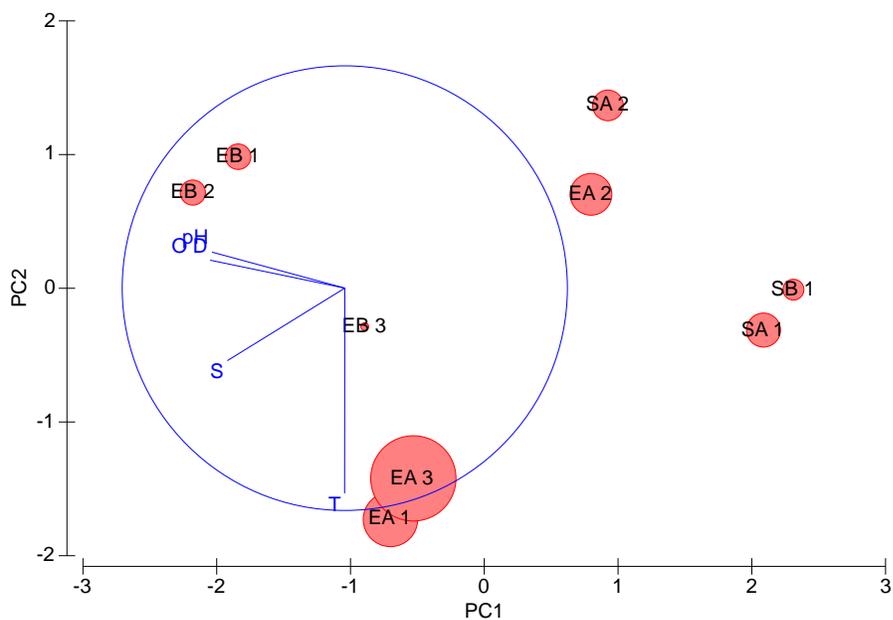
<b>Similitud entre Andadores: 20.97%</b>				
Taxa	Abundancia promedio	Similitud promedio	Contribución (%)	
Syllidae	163.80	6.31	30.11	
Nereididae	34.07	4.50	21.45	
Serpulidae	88.33	2.56	12.19	
<b>Similitud entre Boyas: 37.78%</b>				
Taxa	Abundancia promedio	Similitud promedio	Contribución (%)	
Syllidae	29.33	11.01	25.60	
Nereididae	39.08	9.67	19.30	
<i>Paleanotus bellis</i>	21.33	7.29		
<b>Disimilitud entre andadores y boyas: 76.59%</b>				
Taxa	Abundancia promedio grupo A	Abundancia promedio grupo B	Disimilitud promedio	Contribución (%)
Syllidae	163.80	29.33	16.08	20.54
Serpulidae	88.33	4.33	11.94	15.26
Nereididae	34.07	39.08	8.17	10.43
Spionidae	78.00	2.33	7.24	9.24
<i>Paleanotus bellis</i>	5.00	21.33	4.31	5.50

### 3.7 Análisis de Componentes Principales

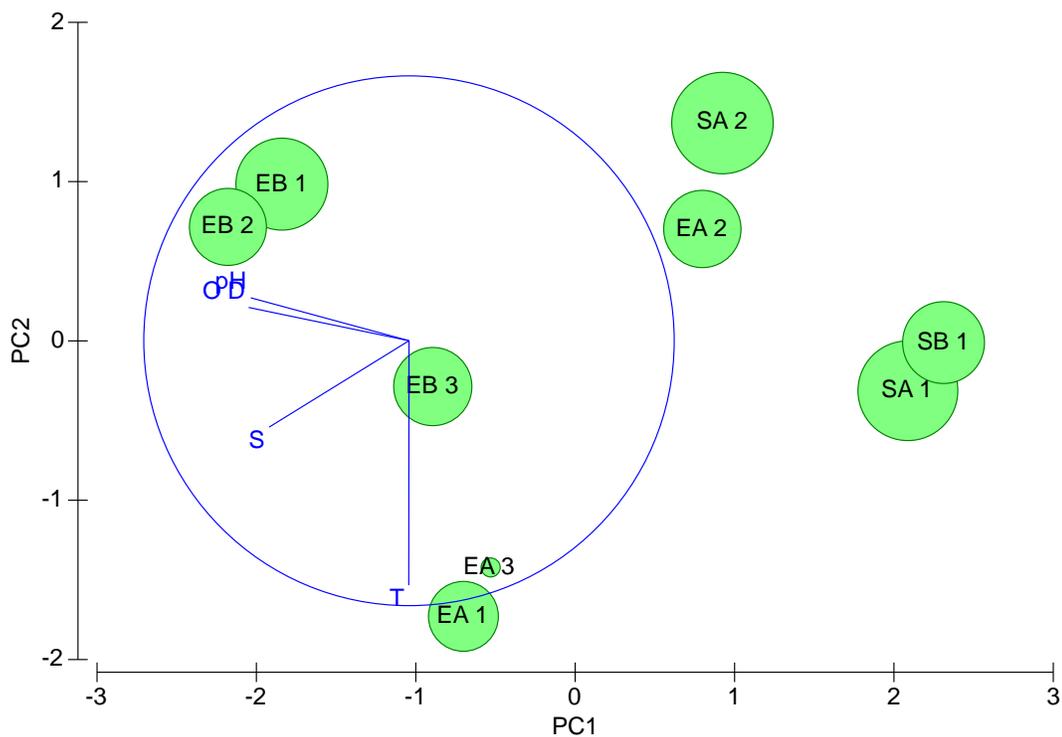
El análisis de componentes principales se usó para estimar la influencia de las variables abióticas en el ensamblaje de poliquetos. Dos componentes principales explican la varianza de 74.3%. Los ejes representan 65.3% y 28.3% de la varianza explicada, respectivamente. El eje 1 está representado por el oxígeno disuelto y el pH, mientras que el eje 2 está fuertemente influenciado por la temperatura (Tabla 10). La Figura 13 mostró que los sitios con mayor abundancia son los que presentan una temperatura más alta. Por otra parte, la Figura 14 no muestra ninguna influencia de los factores abióticos sobre la abundancia.

**Tabla 10** Coeficientes en las combinaciones lineales de variables que componen los ejes

	Eje 1	Eje 2
Salinidad	-0.528	-0.326
Temperatura	-0.001	-0.923
pH	-0.597	<b>0.162</b>
Oxígeno Disuelto	-0.605	<b>0.126</b>



**Figura 13** Análisis de componentes principales (ACP) entre los parámetros fisicoquímicos definido por los ejes 1 y 2. Temperatura T; Salinidad S; Oxígeno disuelto OD; pH. El tamaño de las burbujas indica la abundancia de cada estación.



**Figura 14** Análisis de componentes principales (ACP) entre los parámetros fisicoquímicos definido por los ejes 1 y 2. Temperatura T; Salinidad S; Oxígeno disuelto OD; pH. El tamaño de las burbujas indica la diversidad según el índice de Shannon de cada estación.

### 3.8 Grupos tróficos

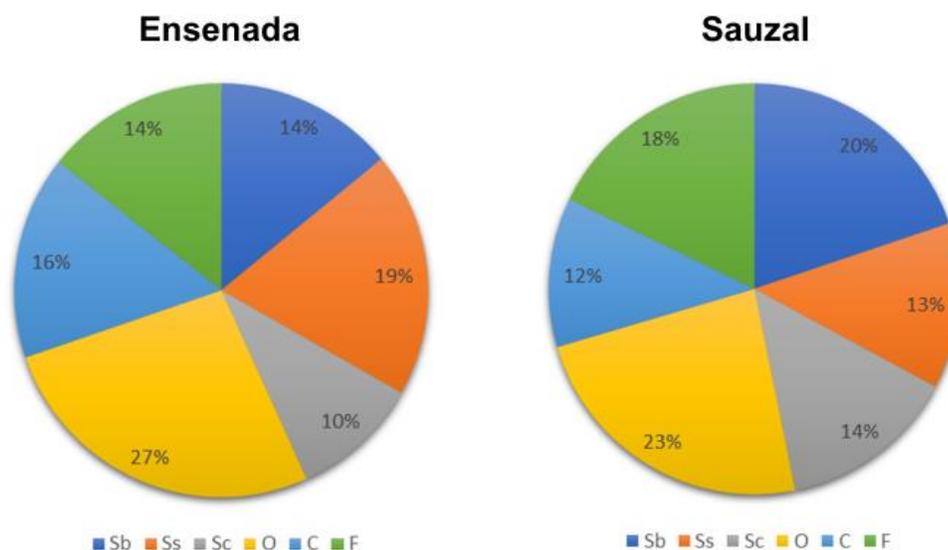
Entre las 19 familias que se reportaron en este estudio, se identificaron seis grupos tróficos. El grupo de omnívoros fue el más representativo, incluyendo cinco familias, entre ellas Syllidae y Nereididae. Por el contrario, el que menos familias presenta es el grupo de carroñeros, solo siendo Chrysopetalidae los que se encuentran dentro de este grupo (Tabla 11). Las abundancias encontradas fueron más altas en el puerto de Ensenada y en ambos puertos los omnívoros fueron el grupo dominante. Los grupos con menor abundancia fueron los carroñeros en Ensenada, correspondiendo solo al 10% de los organismos encontrados en este lugar y los carnívoros en El Sauzal representaron el 12% de la abundancia total del puerto (Figura 15).

**Tabla 11** Grupos funcionales a los que pertenece cada familia, de acuerdo con Jumars et al. (2015). Carnívoro C; Omnívoro O; Deposívoros de superficie Ss; Deposívoros de subsuperficie Sb; Filtradores F; Carroñero Sc; Móvil M; Discretamente móvil D; Sésil Se.

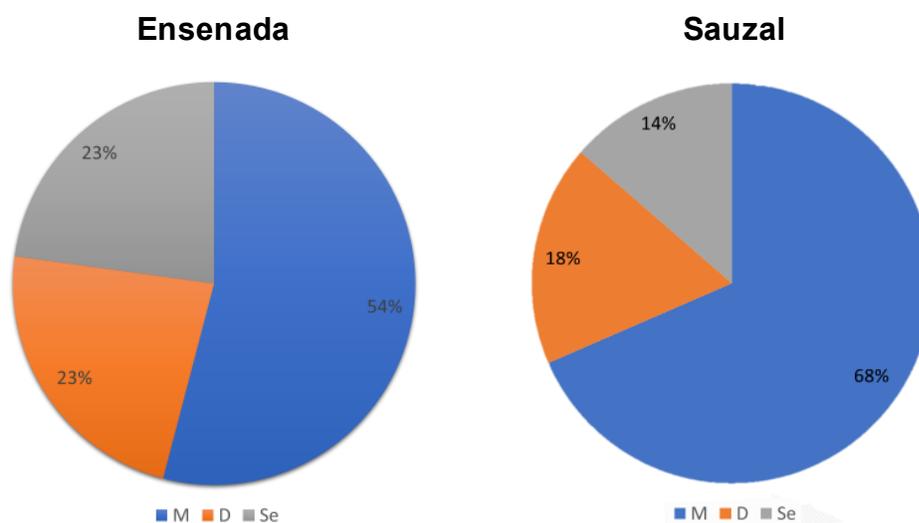
Familia	Alimentación	Movilidad
Capitellidae	Sb	M
Chrysopetalidae	Sc	M
Cirratulidae	Ss	D
Dorvilleidae	O	D
Eunicidae	O	D
Hesionidae	C	D
Lumbrineridae	O	M
Nereididae	O	M
Oeonidae	C	M
Opheliidae	Sb	M
Orbiniidae	Sb	M
Phyllodocidae	C	M
Polynoidae	C	D
Sabellariidae	F	Se
Sabellidae	F	Se
Serpulidae	F	Se
Spionidae	Ss	D
Syllidae	O	M
Terebellidae	Ss	Se

En el caso de su funcionalidad de movimiento, se distinguieron tres tipos, los que se desplazan mucho (Móvil), los que se desplazan poco (Discretamente móvil) y los que no se mueven (sésil). En este caso la mayoría de las familias reportadas en este análisis pertenecen al grupo móvil (Tabla 11). Los organismos

con una movilidad alta, es decir los móviles, fueron dominantes tanto en el puerto de Ensenada como en Sauzal, siendo un 54 y 68% del total de organismos encontrados respectivamente. En el caso del puerto de Ensenada, los discretamente móviles y los sésiles presentaron una proporción igual del 23%, mientras que en Sauzal se encontraron más discretamente móviles con un 18% que los sésiles con 14% (Figura 16).



**Figura 15** Gráfica de la proporción de los grupos tróficos según su tipo de alimentación.



**Figura 16** Gráfica de la proporción de los grupos tróficos según su movilidad.

## Capítulo 4.      Discusión

---

Las características fisicoquímicas de los puertos estudiados se relacionan con la influencia de la circulación de la Bahía Todos Santos, la cual aporta agua de la Corriente de California durante todo el año (de la Cruz-Orozco, 2002; Tanahara *et al.*, 2021). Durante el transcurso del año, hubo numerosos picos de fuertes surgencias seguidos por eventos de relajación, que permitieron la retención de nutrientes en las zonas costeras estimulando la producción. Uno de estos importantes eventos de surgencia ocurrió en febrero del 2021, el cual permitió el acondicionamiento del Sistema de la Corriente de California para el inicio de la época de producción dentro de la red trófica (NOAA, 2022). Esto significa que el mes de marzo, fecha en la que se realizaron los muestreos, se presentó un evento de relajación, una temporada en la que la cantidad de nutrientes era mayor, presentando este mes los valores más altos de nutrientes en el año, cercanos a 6.4  $\mu\text{M}$  de nitratos + nitritos y 18.2  $\mu\text{M}$  de silicatos (González-de Zayas *et al.*, 2011; Domínguez-Sevilla, 2022; NOAA, 2022). Esto pudo favorecer la producción primaria aumentando la demanda de oxígeno y por consecuencia reduciendo la cantidad de oxígeno disuelto en la Corriente de California, la cual transporta masas de agua hacia adentro de la Bahía Todos Santos, por lo que las concentraciones de oxígeno son bajas durante este mes.

El puerto de Ensenada es uno de los más importantes del Pacífico mexicano, con una circulación limitada y donde se llevan a cabo diversas actividades antropogénicas que pueden afectar la fisicoquímica del agua. González-de Zayas *et al.* (2011) mostraron que la estructura termohalina del puerto es similar a la de Bahía Todos Santos. En el mes de marzo de 2002, reportaron temperaturas de entre 14 – 18 °C, siendo el valor máximo correspondiente a los primeros 2 metros de profundidad. El oxígeno disuelto varió de 4-7 mg/L, en este caso sus valores máximos se presentaron entre los 6-8 metros. Algunas estaciones mostraban valores de oxigenación entre 4-5 mg/L en los primeros 6 metros. Díaz-Castañeda y Harris (2004), quienes muestrearon 47 estaciones distribuidas por toda la Bahía Todos Santos a diferentes profundidades, mencionan que los primeros 30 metros de profundidad muestran parámetros similares con temperaturas de entre 13.9 – 17.3 y valores de oxígeno disuelto de 3.5-5.6 mg/L. Los valores presentados anteriormente se asemejan a los obtenidos en este estudio por lo que podemos inferir que no ha habido cambios en los parámetros fisicoquímicos del Puerto Ensenada desde entonces hasta la fecha.

Por otra parte, en el puerto de El Sauzal se obtuvieron valores de temperatura superficial de alrededor de 15 °C y de oxígeno disuelto cercanos a 3 mg/L que coinciden con otros reportes de rangos de temperatura de 21°C de verano y 12°C de invierno, y registros de oxígeno disuelto menores a 5 mg/L la cual se adjudicó

a un descenso de solubilidad del gas por la temperatura (SEMARNAT, 2005). Décadas atrás, se han reportado algunas zonas profundas de poco oxígeno dentro del puerto, las cuales son consecuencias de los altos niveles de contaminación y materia orgánica (Segovia-Zavala *et al.*, 1988; Núñez, 1994). Por lo que se deduce que los valores de oxigenación del agua son más bajos en El Sauzal que en el puerto de Ensenada debido a los desechos que se descargan dentro del puerto.

En el aspecto biótico, se colectaron un total de 9,603 poliquetos que representaron 19 familias, 18 familias por puerto. De las nueve familias que se trabajaron a nivel de especie se identificaron 31 especies, 22 en el puerto de Ensenada y 24 en El Sauzal. Hernández-Alcántara *et al.* (2008) realizaron un listado de especies de poliquetos descritos para el Pacífico mexicano, mencionando que se han identificado un total de 41 familias y 1100 especies, es decir, poco más del doble de las familias reportadas en este estudio. Es una alta riqueza de familias, considerando que los puertos son sitios, con cierto grado de contaminación y comúnmente restringidos a biota especializada a vivir en estructuras artificiales (Dauvin *et al.*, 2017). No obstante, hay que señalar que esta lista de especies de poliquetos para el Pacífico mexicano es de hace más de 10 años por lo que podríamos considerarla desactualizada. Hoy en día, existen reportes de la presencia de nuevos registros, ejemplo de esto es *Notomastus bermejo*, una especie de capitélido descrito recientemente para el Golfo de California por Hernández-Alcántara *et al.* (2022), y colectado en este estudio en el puerto de El Sauzal. No obstante, la mayoría de los muestreos realizados en Hernández-Alcántara *et al.* (2022) se realizaron en fondos blandos. Por lo que especies de poliquetos esclerobiontes como *Dodecaceria fewkesi* (Blake, 1996) pudieron haber sido ignoradas. Es posible que un estudio más minucioso en estos ambientes artificiales muestre la presencia de especies nuevas para la ciencia (Villalobos-Guerrero y Tovar-Hernández, 2014).

Debido a que la mayoría de los estudios realizados en puertos mexicanos con enfoque a la fauna bentónica son pocos y no están actualizados (Salazar-Vallejo *et al.*, 2014), los esfuerzos por estudiar estos ambientes artificiales se han vuelto de gran importancia. En el puerto de altura y cabotaje de Mazatlán, se realizó un estudio similar en donde encontraron 15 familias de poliquetos en navíos y boyas metálicas, con abundancias de hasta 6305 individuos (Tovar-Hernández y Yáñez-Rivera, 2010). En las boyas de Ensenada y El Sauzal registramos una riqueza similar de 15 y 16 familias, sin embargo, las boyas en este estudio presentaron bajas abundancias en comparación con las boyas de Mazatlán. Se ha reportado, que las boyas son limpiadas periódicamente (1 a 2 veces/año) para evitar la acumulación de bioincrustaciones, ya que estas provocan que aumente el peso y se pierda el color volviéndolas menos visibles para los barcos (API, 2022). Es posible que poco antes de los muestreos, éstas hayan sido limpiadas y por lo tanto se obtuvo una menor riqueza y abundancia de especies. En el puerto de Mazatlán Tovar-Hernández y Yáñez-Rivera

(2010a) registraron abundancias de poliquetos de más de 1000 organismos par cada metro cuadrado durante los meses de septiembre y octubre, dominados por una especie invasora, el sabélido *Brachioma bairdi*. Por otra parte, las condiciones estacionales de esos meses pueden favorecer la proliferación de algunas especies de poliquetos y así aumentar la abundancia del ensamblaje.

En este estudio solo nueve de las familias de poliquetos encontradas fueron identificadas a nivel de especie, correspondiendo a un total de 31 especies. De estas, ninguna fue reconocida como introducida para México, sin embargo, se encontraron dos especies endémicas del Pacífico que han sido introducidas en otras partes del mundo, *Mediomastus californiensis* (Hartman, 1944) y *Dodecaceria fewkesi* (Berkeley y Berkeley, 1954) (Çinar, 2013). La primera especie fue reportada como criptogénica para el Atlántico de Estados Unidos (Baker *et al.*, 2004), y la segunda, se estableció en las costas del Atlántico e Indico en Sudáfrica (Mead *et al.*, 2011). Aunque, no se sabe si estas especies han generado algún cambio en los ecosistemas invadidos, ya que no se han estudiado.

El estudio del impacto de los poliquetos invasores ha sido escasamente estudiado y solo el 12% de los estudios se han llevado a cabo en puertos (Álvarez-Aguilar *et al.*, 2022). La especie más estudiada, es *Ficopomatus enigmatus*, un serpúlido que se ha trasladado a diferentes partes del mundo al incrustarse en el casco de los barcos, dañando la estructura y aumentando la fricción con el agua volviendo a los barcos más lentos y por consiguiente gastar más combustible (Bazterrica *et al.*, 2020; Bezuidenhout y Robinson, 2020). De acuerdo con Álvarez-Aguilar *et al.* (2022) únicamente se ha estudiado el efecto invasor de 40 especies pertenecientes a 11 familias. Las familias con mayor cantidad de especies invasoras son Spionidae, Serpulidae, Sabellidae y Nereididae, representando más del 80% de la abundancia total; ninguna de estas familias fue identificada hasta nivel de especie, y fueron de las más abundantes, principalmente en el puerto de Ensenada donde presentaron densidades muy altas en algunos andadores (592 - 3296 ind/m<sup>2</sup>). Por esto, no es posible asegurar, con solo este estudio, que los puertos de Ensenada y El Sauzal se encuentren invadidos actualmente, es probable que dentro de alguna de estas familias se encuentre alguna especie introducida en México.

Por sus abundancias y frecuencia de ocurrencia altas, las familias Syllidae y Nereididae fueron las que presentaron la mayor dominancia en los puertos. La familia Syllidae es una de las que presenta el mayor número de especies y abundancia en ensamblajes costeros. La mayoría de ellos habitan en ambientes de fondos duros y son principalmente epibióticos, viviendo entre algas y sus rizoides (Serrano, 2002; Çinar y Ergen, 2002). Giangrande (1988) mencionó que los sílidos serían abundantes en cualquier ambiente tridimensional provisto de microhábitats idóneos para su asentamiento. De tal manera que el éxito de la

colonización de este grupo se debe a su amplio rango de dimensiones corporales y variedad de hábitos alimenticios, ya que este grupo cuenta con especies detritívoras, herbívoras, carnívoras y omnívoras (Jumars et al., 2015). También presentan diferentes estrategias reproductivas, como epigamia, esquizogamia por escisión o gemiparidad (Serrano et al., 2006). Algunos investigadores han propuesto que la variación de la abundancia de los taxa formadores de hábitat y los sedimentos atrapados entre las algas son importantes factores que influyen en la distribución de los Syllidae (Abbiati et al., 1987; Giangrande, 1988; Serrano et al. 2006). Musco (2012), sugiere que la abundancia y diversidad de los sílidos se ven principalmente afectados por la complejidad estructural de las especies formadoras de hábitat. Las comunidades macrobentónicas de los andadores de Ensenada y El Sauzal, eran principalmente briozoos y mejillones, los cuales seguramente formaban diversos microhábitats idóneos para refugiarse, alimentarse y reproducirse.

En el caso de la familia Nereididae, esta fue dominante en los ensamblajes presentes en las boyas. Los neréidos son uno de los grupos más representativos de las comunidades bentónicas, distribuidas en diversidad de sustratos, desde aguas contaminadas hasta prados de algas. Debido a las dimensiones de su cuerpo y su estrategia reproductiva le han permitido dominar en diversos ambientes como importantes depredadores (Çinar y Ergen, 2001). Es posible que estas sean las razones principales de porque estos fueron dominantes.

También es importante mencionar que de las especies encontradas *Polyophthalmus mauliola* y *Streblosoma uncinatus* son reportadas por primera vez en la costa oeste de Baja California. La primera especie, *P. mauliola*, fue descrita recientemente por Magalhães et al. (2019) en aguas poco profundas de Hawái y su presencia en los puertos de Ensenada y Sauzal es considerada una extensión del rango de distribución, sugiriendo que esta especie está habitando en las costas de California y Baja California, sin embargo, se reportaba erróneamente como *Polyophthalmus pictus* una especie europea (Hartman, 1959; Berkeley y Berkeley, 1960). En el caso de *S. uncinatus*, fue descrita por Kudenov en 1975, dentro del Golfo de California en Puerto Peñasco, Sonora, México. A pesar de no haber más registros para la especie, Lodoño-Mesa, 2021 considera que esta podría encontrarse en Baja California, siendo confirmado en este trabajo. De esta manera se reafirma la importancia de continuar haciendo estudios de identificación taxonómica, tanto en áreas nuevas como en aquellas que se encuentran bien estudiadas, para mantener una constante actualización de las especies presentes en los hábitats mexicanos.

Los valores obtenidos de los índices ecológicos son similares a otros estudios. Gholizadeh et al. (2012) realizó un muestreo a lo largo de la costa en el Parque Nacional Penang en Malasia, encontrando las

diversidades más altas en los sitios más someros, con valores de hasta 2.17 del índice de Shannon. Por otra parte, Guerra-García y García-Gómez (2004) muestrearon el sedimento del puerto de Ceuta en Gibraltar en donde encontraron un rango de diversidad del índice de Shannon amplio de 0.62 – 2.07 y de equitatividad de Pielou de 0.41-0.90.

Los hábitats intermareales rocosos o de fondos duros, son sitios que experimentan un amplio rango de condiciones físicas, ya que se encuentran expuestos a diversos factores como grados de inmersión variables, condiciones térmicas, cambios de salinidad, desecaciones temporales y concentraciones de nutrientes variables (Chouikh *et al.*, 2020). Entre ellos, los factores críticos que determinan las características ecológicas de las costas rocosas son la rugosidad de la superficie, la magnitud de la amplitud de las mareas, el grado de exposición a la acción de las olas y la profundidad a la que se encuentren los organismos (Wilson, 2013). Estas condiciones ambientales resultan difíciles de soportar para muchas especies, por lo que presentan valores de índices ecológicos bajos (índice de Shannon e índice de Pielou), comparados con otros entornos marinos, especialmente en los hábitats intermareales más superficiales (Serrano *et al.*, 2006). De igual manera, los andadores y boyas se encuentran expuestos a las mismas condiciones físicas, considerando que son estos los principales factores que determinaron los índices ecológicos.

En este trabajo se definieron dos tipos de ensamblajes principales: los que habitaban en andadores y los que habitan en boyas. Los puertos de Ensenada y Sauzal están protegidos por estructuras como los rompeolas provocando menor circulación interna que termina en un estancamiento del agua (Guerra-García y García-Gómez, 2003). Por este aspecto, las olas y el movimiento de la marea tienen un menor efecto en los ensamblajes de los andadores que las boyas, las cuales se encuentran fuera de los puertos. También es importante señalar que, dentro de los puertos, existe un cierto orden en las estructuras que influye en el flujo del agua. Este efecto es demostrado por Rodríguez-Perafán (2006) el cual realiza un análisis de curvilinearidad del puerto de Ensenada, mostrando que debido a diferentes estructuras dentro del puerto existen zonas en las cuales la circulación de agua es menor que en otras. Puede ser por este factor que el ensamblaje del andador “EA3” fue separado en el análisis de similitud de los demás andadores, ya que se encuentra en un área que se ve menos afectada que las demás. Un caso excepcional fue el del ensamblaje presente en la boya “EB3”, este se agrupó en los análisis tanto con boyas como andadores, se infiere que esto se debió a su ubicación dentro del puerto de Ensenada debido a que se localiza en la entrada al puerto en donde probablemente el oleaje impacta con menor fuerza que las demás boyas, pero más intensamente que en los andadores, de tal manera que la comunidad que habita esta estación posee características similares de ambas agrupaciones.

De acuerdo con el ACP, la temperatura fue el parámetro fisicoquímico que influyó de forma positiva la abundancia de los ensamblajes, sin embargo, la diversidad no mostró ninguna relación con alguno de esos factores. La estructura de los ensamblajes de poliquetos es determinada por factores bióticos y abióticos. Chouikh *et al.* (2020) consideran que los factores bióticos son probablemente insignificantes en esta clase de ambientes, debido a que la abundancia de organismos bentónicos no es suficientemente como para permitir la competencia inter e intraespecífica. Fresi *et al.*, 1983, consideraron que los factores ambientales son más importantes, principalmente la hidrodinámica de la zona costera, afectando especialmente a aquellos organismos que habitan en zonas más superficiales. Algunos estudios indican que es el oxígeno disuelto en la columna de agua el factor principal en la composición y estructura de los ensamblajes de poliquetos, aún más que el tipo de grano y la salinidad (Lardicci *et al.*, 1993; Mistri *et al.*, 2002). Ravaglioli *et al.* (2020), menciona que con bajo pH y bajo oxígeno aumenta la abundancia de anélidos, sin embargo, otros estudios muestran que la abundancia de poliquetos disminuye en zonas de poco oxígeno, menores a 3mg/L (Owens y Cornwell, 2020). Es probable que sea la temperatura del agua, sin tomar en cuenta la hidrodinámica de las costas, el factor más importante que determina la estructura y composición de los ensamblajes de poliquetos sobre la riqueza y abundancia. Varios estudios sugieren que esto se debe a una influencia negativa, es decir, mientras mayor es la temperatura, menor es la concentración de oxígeno y menor abundancia (Musco y Giangrande, 2005; Chouikh *et al.* 2020), difiriendo con los resultados obtenidos en este estudio. Los rangos de temperaturas presentados en este análisis son bajos comparados con otros sitios estudiados, por ejemplo, Chouikh *et al.* (2020) realiza su estudio en las costas de Esauira, Marruecos, las cuales presentaron temperaturas de 17 – 21°C. La temperatura más baja presentada por este sitio es casi 2 grados mayor que la más alta en los puertos de Ensenada y El Sauzal (15°C), y en ambos casos se presentaban las abundancias más altas.

Los análisis realizados en este estudio se llevaron a cabo a nivel familia y a nivel de especie, obteniéndose resultados similares en ambos casos. Esto puede ser explicado por la teoría de la suficiencia taxonómica, desarrollado principalmente para interpretar la biología de los organismos presentes considerando el tiempo y esfuerzo necesarios para su identificación (Mueller *et al.*, 2013). Este concepto busca identificar el nivel taxonómico mínimo necesario para interpretar algún fenómeno ecológico. Múltiples estudios utilizando este método, han probado que no es necesario llegar hasta nivel de especie durante la identificación taxonómica (Bevilacqua *et al.*, 2012; Bevilacqua y Terlizzi, 2014; Pitacco *et al.*, 2019). En el caso de los poliquetos, se ha demostrado que a nivel familia se obtendrán resultados semejantes que a nivel de especie (Bevilacqua *et al.*, 2009), al igual que los presentados en este trabajo.

## Capítulo 5. Conclusiones

---

De los parámetros fisicoquímicos estudiados, la temperatura fue el factor más importante para explicar la abundancia de los ensamblajes de poliquetos.

Se colectaron un total de 18 familias y 22 especies en el puerto de Ensenada y 18 familias y 24 especies en El Sauzal. Las especies *Notomatus hemipodus*, *Mediomastus californiensis*, *Cirriformia spirobrancha*, *Protocirrineris violácea*, *Sabellaria gracilis* y *Streblosoma uncinatus* solo estuvieron presentes en el puerto de Ensenada mientras que *Notomastus bermejoi*, *Dodecaceria fewkesi*, *Armandia circumpapillata*, *Naineris setosa*, *Naineris sp*, *Eteone dilatae* y *Nereiphylla sp* solo en El Sauzal.

El puerto de Ensenada presentó mayor abundancia, en él se encontraron sitios con más de 1000 organismos por unidad de muestreo y el puerto de El Sauzal presentó mayores valores de diversidad (índice de Shannon) llegando a 2.58. Syllidae y Nereididae fueron las familias dominantes en ambos puertos: Ensenada y El Sauzal. Los sílidos dominaron en andadores y los neréididos en boyas, demostrando que estos últimos tienen una mayor tolerancia al estrés físico.

No se encontraron especies invasoras, pero no significa que no exista ninguna dentro de los puertos estudiados. Se deben de revisar a nivel especie las demás familias para tener una aproximación más clara. Se recomienda establecer un programa de monitoreo en los puertos de Ensenada y El Sauzal, encargado de realizar estudios periódicos sobre la biota portuaria. De tal manera que si una especie exótica entra sea detectada rápida y efectivamente, pudiendo llevarse a cabo los estudios y medidas pertinentes.

Este es el primer trabajo realizado dentro de los puertos de Ensenada y El Sauzal, con el objetivo de determinar la composición a nivel de especie y la diversidad de poliquetos esclerobiontes en boyas y andadores. Se espera que este estudio sienta las bases para comenzar un programa de monitoreo que permita la identificación temprana de especies exóticas invasoras.

## Literatura citada

---

- Altamarina. (2021). Los principales puertos marítimos y su conectividad en México. Recuperado el 24 de enero del 2022 de <https://altamaritima.com.mx/2021/10/18/los-principales-puertos-maritimos-y-su-conectividad-en-mexico/>
- Alvarez-Aguilar, A., Van Rensburg, H., y Simon, C. A. (2022). Impacts of alien polychaete species in marine ecosystems: a systematic review. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 1-24. <https://doi.org/10.1017/S0025315422000315>
- API Administración Portuaria Integral. (2015). Hinterland y Foreland. Recuperado el 19 de Julio del 2021 de <https://www.puertoensenada.com.mx/esps/0000143/hinterland-y-foreland.>
- API Administración Portuaria Integral. (2022) Reglas de operación de los puertos de Ensenada y de Costa Azul. Recuperado el 20 de junio del 2022 de <https://www.puertoensenada.com.mx/esps/0000204/reglas-de-operacion-del-puerto-de-ensenada-y-costa-azul>
- Badan, A. (1997). La corriente costera de Costa Rica en el Pacífico Mexicano. En Lavín, M. F. (Eds.), *Contribuciones a la Oceanografía en México* (pp. 99-112). Unión Geofísica Mexicana.
- Baker, P., Baker, S. M. y Fajans J. (2004). Nonindigenous marine species in the greater Tampa Bay ecosystem. [Informe técnico]. Programa de estuario Bahía de Tampa.
- Bastida-Zavala, J.R. y Sánchez-Ovando, J.P. (2021). Serpulidae Rafinesque, 1815. En De León González, J. A., Bastida Zavala, J. R., Carrera Parra, L. F., García Garza, M. E., Salazar Vallejo, S. I., Solís Weiss, V., y Tovar Hernández, M. A. (Eds.), *Anélidos marinos de México y América tropical* (pp. 773). Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León.
- Bazterrica, M. C., Barón, P. J., Álvarez, G. y Obenat, S. M. (2020). Effects of *Ficopomatus enigmaticus* ecosystem-engineered habitat structure on population parameters of the amphipod *Melita palmata*: a NIS-NIS interaction study. *Marine Ecology* 41, 1–21. <https://doi.org/10.1111/maec.12587>
- Beesley, P. L., Ross, G. J. y Glasby, C. J. (2000). Polychaeta, Mysostomida, Pogonophora, Echiura, Sipuncula. En Beesley, P. L., Ross, G. J. y Glasby, C. J. (Eds), *Polychaetes & allies: the southern synthesis* (pp 465). CSIRO Publishing: Melbourne.
- Bezuidenhout, M. y Robinson, T. B. (2020). Abundance and distribution of the invasive polychaete *Ficopomatus enigmaticus* in three South African estuaries. *Regional Studies in Marine Science* 39, 101405. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101405>
- Blake, J. A. (1996). Polychaeta: Orbiniidae to Cossuridae. En Blake, J. A., Hilbig, B., & Scott, P. H. (Eds.), *Taxonomic Atlas of the Benthic Fauna of the Santa Maria Basin and Western Santa Barbara Channel* (vol. 6). US Department of the Interior, Minerals Management Service, Pacific OCS Region.
- Blake, J. A., y Hilbig, B. (1990). Polychaeta from the vicinity of deep-sea hydrothermal vents in the eastern Pacific. II. New species and records from the Juan de Fuca and Explorer Ridge systems. *Pacific Science*, 44(3): 219-253. <http://hdl.handle.net/10125/1280>

- Calado, R. y Chapman, P. M. (2006). Aquarium species: deadly invaders. *Marine Pollution Bulletin*, 52: 599–601. [10.1016/j.marpolbul.2006.02.010](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.02.010)
- Carrera-Parra, L.F. (2021a). Dorvilleidae Chamberlin, 1919. En De León González, J. A., Bastida Zavala, J. R., Carrera Parra, L. F., García Garza, M. E., Salazar Vallejo, S. I., Solís Weiss, V., y Tovar Hernández, M. A. (Eds), Anélidos marinos de México y América tropical (pp. 217). Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León.
- Carrera-Parra, L.F. (2021b). Lumbrineridae Schmarda, 1861. En De León González, J. A., Bastida Zavala, J. R., Carrera Parra, L. F., García Garza, M. E., Salazar Vallejo, S. I., Solís Weiss, V., y Tovar Hernández, M. A. (Eds), Anélidos marinos de México y América tropical (pp. 375). Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León.
- Carrera-Parra, L.F. (2021c). Oeononidae Kinberg, 1865. En De León González, J. A., Bastida Zavala, J. R., Carrera Parra, L. F., García Garza, M. E., Salazar Vallejo, S. I., Solís Weiss, V., y Tovar Hernández, M. A. (Eds), Anélidos marinos de México y América tropical (pp. 489). Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León.
- Carrera-Parra, L.F. y Molina-Acevedo, I.C. (2021). Eunicidae Berthold, 1827. En De León González, J. A., Bastida Zavala, J. R., Carrera Parra, L. F., García Garza, M. E., Salazar Vallejo, S. I., Solís Weiss, V., y Tovar Hernández, M. A. (Eds), Anélidos marinos de México y América tropical (pp. 241). Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León.
- Chan, A. K., Xu, W. Z., Liu, X. S., Cheung, S. G., y Shin, P. K. (2016). Sediment characteristics and benthic ecological status in contrasting marine environments of subtropical Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*, 103(1-2), 360-370. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.12.032>
- Chatzinikolaou, E., Damianidis, P., Pavloundi, C., Vasileiadou, A., Faulwetter, S., Keklikoglou, K., Plaitis, W., Mavraki, D., Nikolopoulou, S., y Arvanitidis, C. (2021). Benthic communities in three Mediterranean touristic ports: MAPMED project. *Biodiversity Data Journal* 9: e66420. <https://doi.org/10.3897/BDJ.9.e66420>
- Chatzinikolaou, E., Mandalakis, M., Damianidis, P., Dailianis, T., Gambineri, S., Rossano, C., Scapini, F., Carucci, A. y Arvanitidis, C. (2018). Spatio-temporal benthic biodiversity patterns and pollution pressure in three Mediterranean touristic ports. *Science of the total environment*, 624, 648-660. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.111>
- Chavez-Lopez, Y. y Bastida-Zavala, J.R. (2021). Sabellariidae Johnston, 1865. En De León González, J. A., Bastida Zavala, J. R., Carrera Parra, L. F., García Garza, M. E., Salazar Vallejo, S. I., Solís Weiss, V., y Tovar Hernández, M. A. (Eds.), Anélidos marinos de México y América tropical (pp. 695). Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León.
- Chouikh, N. E., Gillet, P., Langston, W. J., Cheggour, M., Maarouf, A., y Mouabad, A. (2020). Spatial distribution and structure of benthic polychaete communities of Essaouira intertidal rocky shores (Atlantic coast of Morocco). *Journal of Oceanology and Limnology*, 38(1), 143-155. <https://doi.org/10.1007/s00343-019-8286-7>
- Çinar, M. E. y Ergen, Z. (2002). Faunistic analysis of Syllidae (Annelida: Polychaeta) from the Aegean Sea. *Cahiers de Biologie Marine*, 43: 171-178. <https://doi.org/10.3354/meps304143>

- Çinar, M.E. (2009). Alien polychaete species (Annelida: Polychaeta) on the southern coast of Turkey (Levantine Sea, eastern Mediterranean), with 13 new records for the Mediterranean Sea. *Journal of Natural History*, 43, 2283–2328. <https://doi.org/10.1080/00222930903094654>
- Çinar, M.E. (2013). Alien polychaetes species worldwide: current status and their impacts. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 93(5): 1257-1278. <https://doi.org/10.1017/S0025315412001646>
- Clarke, K. R. (1993). Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian journal of ecology*, 18(1), 117-143. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.1993.tb00438.x>
- Clarke, K. R., y Warwick, R. M. (Eds.). (2001). *Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation* (2da ed). PRIMER-E: Plymouth.
- Covazzi Harriague, A., Albertelli, G. y Misić, C. (2012). Macro- and meiofaunal community features in the critical environmental system of a tourist harbour (Rapallo, Ligurian Sea, NW Mediterranean). *Marine Environmental Research*, 74, 64–72. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2011.12.005>
- Cruz-Gómez, C., Salazar-Vallejo, S.I. y Mora-Vallín, Z.G. (2021). En De León González, J. A., Bastida Zavala, J. R., Carrera Parra, L. F., García Garza, M. E., Salazar Vallejo, S. I., Solís Weiss, V., y Tovar Hernández, M. A. (Eds.), *Anélidos marinos de México y América tropical* (pp. 167). Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León.
- Darbra, R. M., Ronza, A., Stojanovic, T. A., Wooldridge, C., y Casal, J. (2005). A procedure for identifying significant environmental aspects in seaports. *Marine Pollution Bulletin*, 50, 866–874. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.04.037>
- Dauvin, J. C., Bakalem, A., Baffreau, A., y Grimes, S. (2017). Benthic ecological status of Algerian harbours. *Marine Pollution Bulletin*, 125(1-2), 378-388. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.09.049>
- de la Cruz-Orozco, M. (2002). Efecto de El Niño 1998 – la niña 1999 en el oxígeno de la región sur de la Corriente de California. [Tesis de Licenciatura]. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, México.
- de León-González, J. A, Bastida-Zavala, J. R., Carrera-Parra, L. F., García-Garza, M. E., Peña-Rivera, A., Salazar-Vallejo, S. I. y Solís-Weiss, V. (Eds.). (2009). *Poliquetos (annelida: polychaeta) de México y América tropical*. Universidad Autónoma de Nuevo León. San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.
- de León-González, J. A., Bastida Zavala, J. R., Carrera Parra, L. F., García Garza, M. E., Salazar Vallejo, S. I., Solís Weiss, V., y Tovar Hernández, M. A. (Eds.). (2021a). *Anélidos marinos de México y América tropical* (1ra ed.). Universidad Autónoma de Nuevo León. San Nicolas de los Garza, Nuevo León, México.
- de León-González, J.A., Bastida-Zavala, J.R., Mendoza-Alfaro, R and Luna, S. (2021b). Invasive species in Mexican marine ecosystems. 6: 93-118. En Lelmini, M. R., y Pullaiah, T. (Eds.), *Invasive Alien Species: Observations and Issues from Around the World*. John Wiley & Sons.
- de León-González, J.A., Villalobos-Guerrero. T.F. y Conde-Vela, V.M. (2021c) Nereididae de Blainville, 1818. En De León González, J. A., Bastida Zavala, J. R., Carrera Parra, L. F., García Garza, M. E., Salazar

- Vallejo, S. I., Solís Weiss, V., y Tovar Hernández, M. A. (Eds), Anélidos marinos de México y América tropical (pp. 453). Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León.
- de Poorter, M., Darby, C., y MacKay, J. (2009). Marine Menace: alien invasive species in the marine environment. [Informe técnico]. Washington D.C. [https://www.iucn.org/sites/default/files/import/downloads/marine\\_menace\\_en\\_1.pdf](https://www.iucn.org/sites/default/files/import/downloads/marine_menace_en_1.pdf)
- Delgadillo-Hinojosa, F., Camacho-Ibar, V., Huerta-Díaz, M. A., Torres-Delgado, V., Pérez-Brunius, P., Lares, L., Marinone, S. G., Segovia, J. A., Peña-Majarrez, J. L., García-Mendoza E. y Castro, R. (2015). Seasonal behavior of dissolved cadmium and Cd/PO<sub>4</sub> ratio in Todos Santos Bay: A retention site of upwelled waters in the Baja California peninsula, Mexico. *Marine Chemistry*, 168, 37-48. <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2014.10.010>
- Delgadillo-Hinojosa, F., Félix-Bermúdez, A., Torres-Delgado, E.V., Durazo, R., Camacho-Ibar, V., Mejía, A., Ruiz, M. C., y Linacre, L. (2020). Impacts of the 2014–2015 warmwater anomalies on nutrients, chlorophyll- a and hydrographic conditions in the coastal zone of northern Baja California. *Journal Geophysical Research: Oceans*, 125. <https://doi.org/10.1029/2020jc016473>
- Delgado-Blas, V.H. (2021). Spionidae Grube, 1850. En De León González, J. A., Bastida Zavala, J. R., Carrera Parra, L. F., García Garza, M. E., Salazar Vallejo, S. I., Solís Weiss, V., y Tovar Hernández, M. A. (Eds), Anélidos marinos de México y América tropical (pp. 913). Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León.
- Díaz-Castañeda, V., y Harris, L. H. (2004). Biodiversity and structure of the polychaete fauna from soft bottoms of Bahía Todos Santos, Baja California, Mexico. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 51(6-9), 827-847. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2004.05.007>
- Díaz-Castañeda, V., y Harris, L. H. (2004). Biodiversity and structure of the polychaete fauna from soft bottoms of Bahía Todos Santos, Baja California, Mexico. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 51(6-9), 827-847. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2004.05.007>
- Díaz-Díaz, O. y Salazar-Vallejo, S.I. (2021). En De León González, J. A., Bastida Zavala, J. R., Carrera Parra, L. F., García Garza, M. E., Salazar Vallejo, S. I., Solís Weiss, V., y Tovar Hernández, M. A. (Eds), Anélidos marinos de México y América tropical (pp. 187). Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León.
- Domínguez-Sevilla, J. J. (2022). Modelación físico-biogeoquímica de la Bahía de Todos Santos: escenarios de aporte y limitación de hierro. [Tesis de maestría]. Centro de Investigación Científico y Educación Superior de Ensenada, Baja California.
- Elías, R., Méndez, N., Muniz, P., Cabanillas, R., Gutiérrez-Rojas, C., Rozbaczylo, N., Londoño-Mesa, M. H., Gárate-Contreras, P. J., Cárdenas-Calle, M., Villamar, F., Laverde-Castillo, J. J. A., Brauko, K. M., Araki-Braga, M., da cunha-Lana, P. y Díaz-Díaz, O. (2021). Los poliquetos como indicadores biológicos en Latinoamérica y el Caribe. *Marine and Fishery Sciences*, 34(1). <https://doi.org/10.47193/mafis.3412021010301>
- Everitt, B., Landau, S., Leese, M. y Stahl, D. (Eds). (2011). *Cluster Analysis* (pp. 337). Wiley Series in Probability and Statistics. <https://doi.org/10.1002/9780470977811>
- Fauchald, K. (Eds). (1977). *The polychaeta worms. Definitions and keys to the orders, families, and genera*. Natural History Museum of Los Angeles County, Science Series.

- Flores-Vidal, X., Ramírez-Aguilar, I., y Czitrom-Baus, S. (2005). Simulación numérica de la hidrodinámica de un puerto y el efecto de un sistema de bombeo por energía de oleaje. *Ciencias marinas*, 31(1A), 57-77. <https://doi.org/10.7773/cm.v31i11.78>
- Fresi, E., Gambi, M. C., Focardi, S., Bargagli, R., Baldi, F., y Falciai, L. (1983). Benthic community and sediment types: a structural analysis. *Marine Ecology*, 4(2), 101-121. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.1983.tb00290.x>
- Früh, D., Stoll, S., y Haase, P. (2012). Physico-chemical variables determining the invasion risk of freshwater habitats by alien mollusks and crustaceans. *Ecology and Evolution*, 2(11), 2843-2853. <https://doi.org/10.1002/ece3.382>
- Gangopadhyay, A., Lermusiaux, P. F., Rosenfeld, L., Robinson, A. R., Calado, L., Kim, H. S., Leslie, W. G. y Haley Jr., P. J. (2011). The California Current system: A multiscale overview and the development of a feature-oriented regional modeling system (FORMS). *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 52(1-2), 131-169. <https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2011.04.003>
- García-Garza, M.E. (2021). Capiellidae Grube, 1862. En De León González, J. A., Bastida Zavala, J. R., Carrera Parra, L. F., García Garza, M. E., Salazar Vallejo, S. I., Solís Weiss, V., y Tovar Hernández, M. A. (Eds), Anélidos marinos de México y América tropical (pp. 135). Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León.
- Gholizadeh, M. , Yahya, K. , Talib, A. , Ahmad, O. (2012). 'Effects of Environmental Factors on Polychaete Assemblage in Penang National Park, Malaysia'. *World Academy of Science, Engineering and Technology, Open Science Index 72, International Journal of Environmental and Ecological Engineering*, 6(12), 752 - 755. <https://publications.waset.org/904/pdf>
- Giangrande A, Licciano, M., Pagliara P. y Gambi, C. (2000). Gametogenesis and larval development in *Sabella spallanzani* (Polychaeta: Sabeliidae) from the Mediterranean sea. *Marine Biology* 136: 847-861. <https://doi.org/10.1007/s002279900251>
- Giangrande, A. (1988). Polychaete zonation and its relation to algal distribution down a vertical cliff in the western Mediterranean (Italy): a structural analysis. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 120(3), 263-276. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(88\)90006-8](https://doi.org/10.1016/0022-0981(88)90006-8)
- Glasby, C. J. y Bailey-Brock, J. (2001). Bait-taking fireworm (Amphinomidae: Polychaeta) and other polychaetes. *Beagle: Record of the Museums and Art Galleries of the Northern Territory*, The, 17, 37-41. <https://doi.org/10.1007/s002279900251>
- Góngora-Garza, G. (2021). Syllidae Grube, 1850. En De León González, J. A., Bastida Zavala, J. R., Carrera Parra, L. F., García Garza, M. E., Salazar Vallejo, S. I., Solís Weiss, V., y Tovar Hernández, M. A. (Eds), Anélidos marinos de México y América tropical (pp. 957). Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León.
- González-de Zayas, R., de la Lanza Espino, G., y Baus, S. C. (2011). Condiciones fisicoquímicas del puerto de Ensenada, Baja California, con vistas a la instalación de un Sistema de Bombeo por Energía del Oleaje (SIBEO). *Revista de Investigaciones Marinas*, 27(3), 171-181.
- González-Salazar, J., Cervantes-Duarte, R., y Díaz-Castañeda, V. (2021). Impact of yellowtail kingfish (*Seriola lalandi Valenciennes*) mariculture on the macrobenthic community at Magdalena Bay,

- Baja California Sur, Mexico. *Aquaculture Research*, 52(4), 1621-1629. <https://doi.org/10.1111/are.15015>
- Gotelli, N. J., y Ellison, A. M. (Eds). (2004). *A primer of ecological statistics* (Vol. 1). Sunderland: Sinauer Associates.
- Gouillieux, B., Masse, C., Derrien-Courtel, S., Bachelet, G., y Lavesque, N. (2022). A non-indigenous annelid (*Polydora colonia*) in an invasive sponge (*Celtodoryx ciocalyptoides*): double penalty in Arcachon Bay (NE Atlantic). *Cahiers de Biologie Marine*, 63, 29-38. <https://doi.org/10.1002/978047097781110.21411/CBM.A.4670BBA3>
- Guerra García, J. M., González-Vila, F. J., y García Gómez, J. C. (2003). Aliphatic hydrocarbon pollution and macrobenthic assemblages in Ceuta harbour: a multivariate approach. *Marine Ecology-Progress Series*, 263, 127–138. <https://doi.org/10.3354/meps263127>
- Guerra-Garcia, J. M., y Garcia-Gomez, J. C. (2004). Soft bottom mollusc assemblages and pollution in a harbour with two opposing entrances. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 60, 273–283. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2004.01.004>
- Halpern, B. S., Longo, C., Hardy, D., McLeod, K. L., Samhour, J. F., Katona, S. K., Kleisner, K., Lester, S. E., O’Leary, J., Ranelletti, M., Rosenberg, A. A., Scarborough, C., Selig, E. R., Best, B. D., Brumbaugh, D. R., Chapin, F. S., Crowder, L. B., Daly, K. L., Doney, S. C., Elfes, C., Fogarty, M. J., Gaines, S. D., Jacobsen, K. I., Karrer, L. B., Leslie, H. M., Neeley, E., Pauly, D., Polasky, S., Ris, B., Martin, K. S., Stone, G. S., Sumaila, U. R. y Zeller, D. (2012). An index to assess the health and benefits of the global ocean. *Nature*, 488(7413), 615-620. <https://doi.org/10.1038/nature11397>
- Harris, L. H., de León-González, J. A. y Salazar-Vallejo, S. I. (2021). Morfología, métodos, Clave para Familias y Clasificación. En De León González, J. A., Bastida Zavala, J. R., Carrera Parra, L. F., García Garza, M. E., Salazar Vallejo, S. I., Solís Weiss, V., y Tovar Hernández, M. A. (Eds.), *Anélidos marinos de México y América tropical* (pp. 9). Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León.
- Hayden, B. J., Inglis, G. J. y Schiel, D. R. (2009) Marine invasion in New Zealand: a history of complex supply-side dynamics. En Rilov G. y Crooks J.A. (Eds), *Biological invasions in marine ecosystems*. Ecological Studies 204 (pp. 409–423). Berlin and Heidelberg: Springer-Verlag.
- Hernández-Alcántara, P., Frontana-Uribe, S. C., y Solís-Weiss, V. (2003). Commented checklist of the polychaetes (Annelida: Polychaeta) from areas adjacent to islands of the Mexican Pacific. *Bulletin Southern California Academy of Science*, 102(1), 1-16. <https://doi.org/10.3160/0038-3872-102.1.1>
- Hernández-Alcántara, P., García-Garza, M. E., y Solís-Weiss, V. (2022). *Notomastus bermejoi*, a new species of Capitellidae (Annelida, Polychaeta) from the Gulf of California, with morphological remarks on species with hooks in thoracic chaetigers. *ZooKeys*, 1102, 43. <https://doi.org/10.3897/zookeys.1102.83198>
- Hernández-Alcántara, P., Tovar-Hernández, M. A., y Solís-Weiss, V. (2008). Polychaetes (Annelida: Polychaeta) described for the Mexican Pacific: an historical review and an updated checklist. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 36(1), 37-61. <https://doi.org/10.3856/vol36-issue1-fulltext-4>

- Hewitt C. y Campbell, M. (Eds). (2010). *The relative contribution of vectors to the introduction and translocation of invasive marine species* (pp. 56). Australian Department of Agriculture Fisheries and Forestry, Canberra, Australia.
- Hutchings, P.A., Nogueira, J. M. M. y Carrerette, O. (2017). *Terebelliformia*. En Purschke, G. y Westheide, W. (Eds.), *The Handbook of Zoology Online*. De Gruyter.
- Jacox, M. G., Edwards, C. A., Hazen, E. A. y Bograd, S. J. (2018). Coastal Upwelling Revisited: Ekman, Bakun and improved Upwelling Indices for the U.S. West Coast. *Journal of Geophysical Research: Ocean*. 123 (10): 7332-7350. <https://doi.org/10.1002/978047097781110.1029/2018JC014187>
- Jensen K. R. y Knudsen J. (2005). A summary of alien marine benthic invertebrates in Danish waters. *Oceanological and Hydrobiological Studies* 34, 137–162. [http://ichtiologia.ocean.ug.edu.pl/wb/media/konferencja\\_obce/teksty/Jensen.pdf](http://ichtiologia.ocean.ug.edu.pl/wb/media/konferencja_obce/teksty/Jensen.pdf)
- Jumars, P. A., Dorgan, K. M., y Lindsay, S. M. (2015). Diet of worms emended: an update of polychaete feeding guilds. *Annual review of marine science*, 7, 497-520. <https://doi.org/10.1002/978047097781110.1146/annurev-marine-010814-020007>
- Kelly, N. E., Wantola, K., Weisz, E., y Yan, N. D. (2013). Recreational boats as a vector of secondary spread for aquatic invasive species and native crustacean zooplankton. *Biological Invasions*, 15(3), 509-519. <https://doi.org/10.1007/s10530-012-0303-0>
- Kruskal, J. B. (1964). Nonmetric multidimensional scaling: a numerical method. *Psychometrika*, 29(2), 115-129. <https://doi.org/10.1007/BF02289694>
- Kurczyn, J. A., Pérez-Brunius, P., López, M., Candela, J., Delgadillo-Hinojosa, F., y García-Mendoza, E. (2019). Water masses and ocean currents over the continental slope off northern Baja California. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 124, 2803 – 2823. <https://doi.org/10.1029/2018JC013962>.
- Lagunas-Pérez, A.G., Salazar-Vallejo, S.I. y De León-González, J.A. (2021). Opheliidae Malmgren, 1867. En De León González, J. A., Bastida Zavala, J. R., Carrera Parra, L. F., García Garza, M. E., Salazar Vallejo, S. I., Solís Weiss, V., y Tovar Hernández, M. A. (Eds), Anélidos marinos de México y América tropical (pp. 534). Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León.
- Lardicci, C., Abbiati, M., Crema, R., Morri, C., Bianchi, C. N., y Castelli, A. (1993). The Distribution of Polychaetes Along Environmental Gradients: An Example from the Or betel I o Lagoon, Italy. *Marine Ecology*, 14(1), 35-52. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.1993.tb00363.x>
- Lodoño-Mesa, M.H. (2021). Terebellidae Johnston, 1846. En De León González, J. A., Bastida Zavala, J. R., Carrera Parra, L. F., García Garza, M. E., Salazar Vallejo, S. I., Solís Weiss, V., y Tovar Hernández, M. A. (Eds), Anélidos marinos de México y América tropical (pp. 997). Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León.
- Magalhães, W. F., Rizzo, A. E., y Bailey-Brock, J. H. (2019). Opheliidae (Annelida: Polychaeta) from the western Pacific islands, including five new species. *Zootaxa*, 4555(2), 209-235. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4555.2.3>

- Mansingh, A., Pradhan, A., y Ekka, N. J. (2021). Distribution, diversity and abundance of molluscs in the intertidal profile of the Bhitarkanika mangrove ecosystem. *Molluscan Research*, 1-9. <https://doi.org/10.1080/13235818.2021.1882924>
- McKight, P. E., y Najab, J. (2010). Kruskal-wallis test. *The corsini encyclopedia of psychology*, 1-1. <https://doi.org/10.1002/9780470479216.corpsy0491>
- Mead A., Carlton J. T., Griffiths C. L. y Rius M. (2011). Introduced and cryptogenic marine and estuarine species of South Africa. *Journal of Natural History* 45, 2463–2524. <https://doi.org/10.1080/00222933.2011.595836>
- Mendoza, R. y Koleff, P. (Eds). (2014). *Especies acuáticas invasoras en México* (pp. 555). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Mendoza, R., Luna, S., y Aguilera, C. (2015). Risk assessment of the ornamental fish trade in Mexico: analysis of freshwater species and effectiveness of the FISK (Fish Invasiveness Screening Kit). *Biological Invasions*, 17(12), 3491-3502. <https://doi.org/10.1007/s10530-015-0973-5>
- Mistri, M., Fano, E. A., Ghion, F., y Rossi, R. (2002). Disturbance and community pattern of polychaetes inhabiting Valle Magnavacca (Valli di Comacchio, Northern Adriatic Sea, Italy). *Marine Ecology*, 23(1), 31-49. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0485.2002.02751.x>
- Moreno, C. E. (Eds). (2019). *La biodiversidad en un mundo cambiante: fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. <https://altexto.mx/biodiversidad-en-un-mundo-cambiante-kbejw.html>
- Mosbahi, N., Pezy, J. P., Neifar, L., y Dauvin, J. C. (2021). Ecological status assessment and non-indigenous species in industrial and fishing harbours of the Gulf of Gabès (central Mediterranean Sea). *Environmental Science and Pollution Research*, 28(46), 65278-65299. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14729-1>
- Musco, L., y Giangrande, A. (2005). Mediterranean Syllidae (Annelida: Polychaeta) revisited: biogeography, diversity and species fidelity to environmental features. *Marine Ecology Progress Series*, 304, 143-153. <https://doi.org/10.1002/978047097781110.3354/meps304143>
- Nehring, S. (2006). Four arguments why so many alien species settle into estuaries, with special reference to the German River Elbe. *Helgoländer Marine Research* 60, 127–134. <https://doi.org/10.1007/s10152-006-0031-x>
- Nishi, E. y Kato, T. (2004). Introduced and globally invaded polychaetous annelids. *Japanese Journal of Benthology* 59, 83–95. <https://doi.org/10.1002/978047097781110.5179/benthos.59.83>
- NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration. (2022). California Current Integrated Ecosystem Assessment (CCIEA): California current ecosystem status report, 2021. [Informe técnico]. California, EE UU. <https://www.pcouncil.org/documents/2021/02/i-1-a-iea-team-report-1.pdf/>
- Núñez, M. (1994). Estudio preliminar de algunas propiedades químicas indicadoras de contaminación orgánica en El Sauzal de Rodríguez. [Tesis de licenciatura]. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, México.

- Okolodkov, Y. B., Bastida-Zavala, J. R., Ibáñez, A. L., Chapman, J. W., Suárez-Morales, E., Pedroche, F. y Gutiérrez-Mendieta, F. J. (2007). Especies acuáticas no indígenas en México. *Ciencia y Mar*. 11(32): 29–67.
- Okolodkov, Y. B., y García-Escobar, H. (2014). Agua de lastre y transporte de los organismos incrustantes, leyes y acciones: perspectivas para México. En Low, A., Quijón, P. y Peters E. (Eds.), *Especies invasoras acuáticas: casos de estudio en ecosistemas de México* (pp. 55-80). México.
- Owens, M. S., y Cornwell, J. C. (2020). Temporal enhancement of denitrification in bioirrigated estuarine sediments. *Aquatic Sciences*, 82(4), 72. <https://doi.org/10.1007/s00027-020-00742-y>
- Pastorino, P., Pizzul, E., Bertoli, M., Perilli, S., Brizio, P., Salvi, G., Esposito, G., Abete, M. C., Prearo, M. y Squadrone, S. (2020). Macrobenthic invertebrates as bioindicators of trace elements in high-mountain lakes. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(6), 5958-5970. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07325-x>
- Pawhestri, S. W., Hidayat, J. W., y Putro, S. P. (2014). Assessment of water quality using macrobenthos as bioindicator and its application on Abundance-Biomass Comparison (ABC) curves. *International Journal of Science and Engineering*, 8(2). <https://doi.org/10.12777/ijse.8.2.84-87>
- Paxton, H. (2000). *Family Oeonidae*. En Beesley, P. L., Ross, G. J. B., y Glasby, C. J. (Eds), *Polychaetes and Allies: the Southern Synthesis* (pp. 98-99). CSIRO publishing.
- Pielou, E. C. (Eds). (1969). *An introduction to mathematical ecology*. New York, USA, Wiley-Inter-science. <https://doi.org/10.1002/bimj.19710130308>
- Pimentel D., Zuniga, R. y Morrison, D. (2005). Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological Economics*, 52: 273-288. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.10.002>
- Primer. (2022). About PRIMER-e A boutique research and software development company. <https://www.primer-e.com/about/>
- Ravaglioli, C., Lardicci, C., Pusceddu, A., Arpe, E., Bianchelli, S., Buschi, E., y Bulleri, F. (2020). Ocean acidification alters meiobenthic assemblage composition and organic matter degradation rates in seagrass sediments. *Limnology and Oceanography*, 65(1), 37-50. <https://doi.org/10.1002/lno.11246>
- Rivera, D. I. (1984). Comportamiento de los contaminantes derivados de la industria en el Puerto del Sauzal. [Tesis de Licenciatura]. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, México.
- Rodríguez-Perafán, C. A. (2006). Análisis retrospectivo del impacto ambiental en recintos portuarios: el caso de los puertos marítimos de Ensenada y Sauzal de Rodríguez, BC, México. [Tesis de Maestría]. Colegio de la Frontera Norte, Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, Ensenada, Baja California, México.
- Rouse, G., y Pleijel, F. (Eds.). (2001). *Polychaetes*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0469.2004.00263.x>

- Ruso, Y. D. P., De la Ossa Carretero, J. A., Casalduero, F. G., y Lizaso, J. S. (2007). Spatial and temporal changes in infaunal communities inhabiting soft-bottoms affected by brine discharge. *Marine environmental research*, 64(4), 492-503. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2007.04.003>
- Ruso, Y. D. P., de la Ossa-Carretero, J. A., Giménez-Casalduero, F., y Sánchez-Lizaso, J. L. (2008). Effects of a brine discharge over soft bottom Polychaeta assemblage. *Environmental Pollution*, 156(2), 240-250. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.12.041>
- Salazar-Silva, P. (2021). Polynoidae Kinberg, 1856 incluyendo Iphionidae Kinberg, 1856. En De León González, J. A., Bastida Zavala, J. R., Carrera Parra, L. F., García Garza, M. E., Salazar Vallejo, S. I., Solís Weiss, V., y Tovar Hernández, M. A. (Eds), Anélidos marinos de México y América tropical (pp. 661). Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León.
- Salazar-Vallejo, S. I., Carrera-Parra, L. F., González, N. E., y Salazar-González, S. A. (2014). Biota portuaria y taxonomía. En Low, A., Quijón, P. y Peters E. (Eds), *Especies invasoras acuáticas: casos de estudio en ecosistemas de México* (pp. 33-54). México.
- Salazar-Vallejo, S.I. y Rizzo, A.E. (2021). Hesionidae Grube, 1850. En De León González, J. A., Bastida Zavala, J. R., Carrera Parra, L. F., García Garza, M. E., Salazar Vallejo, S. I., Solís Weiss, V., y Tovar Hernández, M. A. (Eds), Anélidos marinos de México y América tropical (pp. 331). Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León.
- SCT Secretaria de Comunicación y Transporte. (2020). Anuario estadístico del sector comunicaciones y transportes 2020. [Informe técnico]. México.
- Segovia-Zavala, J. A., Rivera, I. y Del Valle-Villorín, F. J. (1988). Efectos de desechos orgánicos en las zonas adyacentes a los efluentes en Bahía de Todos Santos. *Ciencia y Mar*, 14(1): 81–94. <https://doi.org/10.1002/978047097781110.7773/CM.V14I1.559>
- SEMAR Secretaria de Marina. (2023). Derrotero pacífico mexicano. Acta oceanográfica del Pacífico. Recuperado el 16 de junio del 2022 de <https://digaohm.semar.gob.mx/derrotero/derrotero%20pacifico%20completo.pdf>
- SEMARNAT. (2005). Construcción del muelle para embarcaciones ribereñas en el puerto de El Sauzal, Baja California. Manifiesto de Impacto Ambiental. Recuperado el 14 de junio del 2022 de <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/bc/estudios/2006/02BC2006V0006.pdf>
- Serrano, A. (2002). Ecología de las poblaciones de Poliquetos del entorno de la isla de Mouro (Santander, Mar Cantábrico). [Tesis doctoral]. Universidad Autónoma de Madrid.
- Serrano, A., San Martín, G., y López, E. (2006). Ecology of Syllidae (Annelida: Polychaeta) from shallow rocky environments in the Cantabrian Sea (South Bay of Biscay). *Scientia Marina*, 70(S3), 225-235. <https://doi.org/10.3989/scimar.2006.70s3225>
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal* 27: 379-423. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>
- Simberloff, D. (2010). Invasive species. *Conservation biology for all*, 131-152. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199554232.003.0008>

- Smith, B., y Wilson, J. B. (1996). A consumer's guide to evenness indices. *Oikos*, 70-82. <https://doi.org/10.2307/3545749>
- Solís-Weiss, V., Barbosa-López, A., Hernández-Alcántara, P. y Hermoso-Salazar, M. (2021). Orbiniidae Hartman, 1942. En De León González, J. A., Bastida Zavala, J. R., Carrera Parra, L. F., García Garza, M. E., Salazar Vallejo, S. I., Solís Weiss, V., y Tovar Hernández, M. A. (Eds.), *Anélidos marinos de México y América tropical* (pp. 545). Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León.
- Somerfield, P. J., Clarke, K. R. y Warwick, R. M. (2008). Simpson index. En Jorgensen, S. V. y Fath, B. (Eds.), *Encyclopedia of Ecology* (pp. 3252-3255). Elsevier, Oxford, UK.
- Stachowicz, J. J., Whitlatch, R. B. y Osman, R. W. (1999). Species diversity and invasion resistance in a marine ecosystem. *Science* 286, 1577–1579. <https://doi.org/10.1002/978047097781110.1126/science.286.5444.1577>
- Tanahara, S., Canino-Herrera, S. R., Durazo, R., Félix-Bermúdez, A., Vivanco-Aranda, M., Morales-Estrada, E., y del Carmen Lugo-Ibarra, K. (2021). Spatial and temporal variations in water quality of Todos Santos Bay, northwestern Baja California, Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 173, 113148. <https://doi.org/10.1002/978047097781110.1016/j.marpolbul.2021.113148>
- Tovar-Hernández M.A., García-Garza, M.E. y de León-González, J.A. (2018). Poliquetos perforadores de conchas marinas y exóticos invasores. *Biología y Sociedad*, 1(1), 47-64. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/24069>
- Tovar-Hernández, M. A., Salazar-Silva, P., de León-González, J. A., Carrera-Parra, L. F. y Salazar-Vallejo, S. I. (2014). Biodiversidad de Polychaeta (Annelida) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 85 suplemento190: 190-196. <http://www.revistas.unam.mx/index.php/bio/article/view/32625>
- Tovar-Hernández, M.A. y Fitzhugh, K. (2021). Sabellidae Latreille, 1825. En De León González, J. A., Bastida Zavala, J. R., Carrera Parra, L. F., García Garza, M. E., Salazar Vallejo, S. I., Solís Weiss, V., y Tovar Hernández, M. A. (Eds.), *Anélidos marinos de México y América tropical* (pp. 717). Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León.
- Tovar-Hernández, M.A. y Yáñez-Rivera, B. (2010). Poliquetos invasores (Annelida: Polychaeta) del Puerto de Mazatlán, Sinaloa. [Informe técnico y No. GN002]. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ciencias del Mar y limnología, Unidad Académica Mazatlán, Laboratorio de Invertebrados Bentónicos II.
- Villalobos-Guerrero, T. F. y Tovar-Hernández, M. A. (2014). Poliquetos errantes (Polychaeta: Errantia) esclerobiontes del puerto de Mazatlán, Sinaloa (México). *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR*, 43(1), 43-87. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2014.43.1.30>
- Villalobos-Guerrero, T.F., Molina-Acevedo, I.C., Egremy-Valdez, A. y Glockner-Fagetti, A. (2021). Phyllodocidae Orsted, 1843. En De León González, J. A., Bastida Zavala, J. R., Carrera Parra, L. F., García Garza, M. E., Salazar Vallejo, S. I., Solís Weiss, V., y Tovar Hernández, M. A. (Eds.), *Anélidos marinos de México y América tropical* (pp. 619). Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León.

- Villalobos-Guerrero, T.F., Yanez-Rivera, B., y Tovar-Hernández, M.A. (2012). Polychaeta. En Low-Pfeng A. M. y Peters-Recagno E. M. (Eds.), *Invertebrados marinos exóticos en el Pacífico Mexicano* (pp. 45–66). México: Geomare, A. C., INE-Semarnat.
- Zenetos, A., Verlaque, M., Gofas, S., Çinar, M.E., Garcia-Raso, E., Azzurro, E., Bilecenoglu, M., Frogli, C., Siokou, I., Bianchi, C.N., Morri, C., Sfriso, A., San Martin, G., Giangrande, A., Katagan, T., Ballesteros, E., Ramos-Espla, A., Mastrototaro, F., Ocana, O., Zingone, A., Cantone, G., Gambi, M.C. y Streftaris, N. (2010). Alien species in the Mediterranean MSFD areas by 2010. Part I. Spatial distribution. *Mediterranean Marine Science* 11, 381–493. <http://dx.doi.org/10.12681/mms.87>