



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**DENSIDAD, DIVERSIDAD Y DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS
POLIQUETOS (ANNELIDA) DE MAR PROFUNDO DEL SUR DEL
GOLFO DE CALIFORNIA, MÉXICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G A

P R E S E N T A:

ARACELI JAQUELIN MERCADO SANTIAGO



**DIRECTOR DE TESIS:
DR. PABLO HERNÁNDEZ ALCÁNTARA**

Ciudad Universitaria, CD.MX., 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta 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 titular de los Derechos de Autor.

1. Datos del alumno

Mercado

Santiago

Araceli Jaquelin

55824668

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Biología

309162256

2. Datos del tutor

Dr.

Pablo

Hernández

Alcántara

3. Datos del sinodal 1

Dra.

Nayeli del Carmen

Domínguez

Castanedo

4. Datos del sinodal 2

Dra.

Ana Margarita

Hermoso

Salazar

5. Datos del sinodal 3

Dra.

Alicia

Cruz

Martínez

6. Datos del sinodal 4

M. en C.

Elia

Lemus

Santana

7. Datos del trabajo escrito

Densidad, diversidad y distribución espacial de los poliquetos (Annelida) de mar profundo del sur del Golfo de California, México

73 pp.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Pablo Hernández Alcántara, director de esta tesis. Gracias por brindarme toda la ayuda y paciencia durante el desarrollo de este y otros proyectos. Gracias también por siempre motivarme a hacer las cosas bien, por aclarar las dudas que me surgían y hacerme pensar en otras. Contigo he aprendido más de lo hubiera imaginado.

A la Dra. Vivianne Solís Weiss por permitirme realizar este trabajo en el Laboratorio de Ecología y Biodiversidad de Invertebrados Marinos del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. También por su participación como jefa de las campañas oceanográficas “Estudio comparativo del Golfo de California 2012” (ECOGOCA 2012) y “Caracterización oceanográfica el sur del Golfo de California, 2013” (COSURGC 2013) durante las cuales se recolectaron las muestras utilizadas en este trabajo. De igual forma, agradezco a los coordinadores de las diferentes áreas involucradas: M. en C. Ricardo Rojas López, Dr. Alejandro Granados Barba, Dr. Miguel Ángel Alatorre Mendieta, M. en C. Antonio Zoilo Márquez García y a todos los alumnos que participaron en dichas campañas y en el procesamiento de los datos utilizados para realizar este trabajo.

A las sinodales: Dra. Nayeli del Carmen Domínguez Castanedo, Dra. Ana Margarita Hermoso Salazar, Dra. Alicia Cruz Martínez y la M. en C. Elia Lemus Santana por tomarse el tiempo para revisar este trabajo tan detalladamente y por todas las observaciones y sugerencias que ayudaron a fortalecerlo.

Al Dr. Alejandro Estradas Romero por enseñarme a usar el programa ODV y ayudarme a hacer el mapa del área de estudio.

A mis compañeros del laboratorio: Melissa, Diana, Sharif, Aurora, Octavio y Francisco por hacer que el tiempo en el que estuve realizando esta tesis fuera de lo más agradable con todas las charlas, discusiones y consejos tanto para este trabajo, como para la vida misma. Espero que todos sigamos cumpliendo las metas que nos propongamos.

DEDICATORIA

A mi mamá, Asunción: Gracias por todo el cariño, la paciencia y los ánimos que siempre me has dado para salir adelante. Eres la mejor.

A mi papá, Arturo: Eres el mejor ejemplo de nunca darse por vencido para alcanzar cualquier objetivo.

A mi hermana, Ana: Gracias por estar a mi lado en todo lo que hago y por nunca perder la fe en mí.

A los Adrianes, Bolitos, Eli, Hafiz, Lorena y mi abuelita: Gracias por todo el apoyo que me han dado durante mi vida académica.

A mis hermanos de otras mamás: Alexia, Joana, Beto y Edgar. Espero que sigamos creciendo juntos durante muchos años más.

A Víctor y Alejandra: Gracias por las risas, los consejos y todo lo aprendido con nuestras pláticas y aventuras.

A Michel, Viridiana, Yulia, Erick, Abril, Gustavo y todos con quienes tuve la oportunidad de compartir clases, prácticas de campo, trabajos en equipo, fiestas, pláticas y otras experiencias que hicieron que se formaran amistades que mejoraron en muchos aspectos el tiempo que estuve en la facultad.

A Aarón: Una de las mejores cosas que me pudo pasar en esta última etapa de mi vida fue conocerte. Gracias por acompañarme durante este largo proceso, por todo el amor, tu valiosa amistad y por aceptar ser mi equipo en aquella clase de Plantas.

ÍNDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
AMBIENTE DE MAR PROFUNDO	5
ANTECEDENTES.....	7
JUSTIFICACIÓN.....	9
OBJETIVOS.....	10
OBJETIVO GENERAL.....	10
OBJETIVOS PARTICULARES	10
HIPÓTESIS.....	10
ÁREA DE ESTUDIO.....	11
CLIMA	11
CORRIENTES.....	11
TOPOGRAFÍA Y BATIMETRÍA.....	12
SEDIMENTOS	13
MASAS DE AGUA	13
PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS	14
<i>Salinidad y temperatura</i>	14
<i>Oxígeno disuelto</i>	14
METODOLOGÍA.....	15
TRABAJO DE CAMPO	15
IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA.....	18
ANÁLISIS DE DATOS	19
<i>Variaciones espaciales de los parámetros ambientales</i>	19
<i>Distribución espacial de la densidad y la diversidad</i>	20
Densidad y diversidad.....	20
Patrones de distribución espacial	21

<i>Relación entre la distribución espacial de la densidad y diversidad y las variaciones ambientales.....</i>	22
RESULTADOS	23
INVENTARIO FAUNÍSTICO	23
<i>Especies potencialmente nuevas para la ciencia</i>	23
Dificultades en la identificación taxonómica.....	26
VARIACIONES ESPACIALES DE LOS PARÁMETROS AMBIENTALES	33
<i>Patrón de distribución espacial de la temperatura y salinidad</i>	37
<i>Patrón de distribución espacial de las concentraciones de oxígeno disuelto.....</i>	37
<i>Patrón de distribución espacial de los sedimentos</i>	39
VARIACIÓN ESPACIAL DE LA FAUNA DE POLIQUETOS	40
<i>Distribución de la densidad y del número de especies.....</i>	40
<i>Distribución espacial de la diversidad.....</i>	43
Agrupamientos y patrones de distribución faunística.....	45
RELACIÓN ENTRE LA FAUNA Y LAS CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES PREVALECIENTES EN EL SUR DEL GOLFO DE CALIFORNIA	48
DISCUSIÓN	51
VARIACIÓN ESPACIAL DE LOS PARÁMETROS AMBIENTALES.....	51
VARIACIÓN ESPACIAL DE LA FAUNA DE POLIQUETOS	53
<i>Distribución de la densidad y del número de especies.....</i>	53
<i>Distribución espacial de la riqueza específica y diversidad.....</i>	55
RELACIÓN ENTRE LA DISTRIBUCIÓN DE LA FAUNA Y LAS CONDICIONES AMBIENTALES	58
CONCLUSIONES	62
LITERATURA CITADA.....	63

Resumen

Se analizó la composición taxonómica y los patrones de distribución espacial de la densidad y diversidad de los poliquetos de mar profundo del sur del Golfo de California, así como su relación con la profundidad, temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y composición del sedimento. Durante dos campañas oceanográficas realizadas al sur del Golfo de California en invierno-primavera del 2012 y 2013 se muestrearon 15 estaciones entre 238 y 2900 m de profundidad con una draga de caja tipo Reineck (0.42 m²). Se recolectaron e identificaron 289 ejemplares pertenecientes a 26 familias, 59 géneros y 84 especies. Treinta y dos ejemplares presentaron características morfológicas que difieren de las especies descritas hasta la fecha, por lo que podrían corresponder a especies potencialmente nuevas para la ciencia. En el análisis de componentes principales (PCA) se obtuvo que la profundidad y la temperatura fueron los factores que determinaron la estructura ambiental de las aguas profundas del sur del golfo (-0.51<PC1>0.51), y no se detectaron diferencias significativas entre las condiciones ambientales de las dos campañas oceanográficas. Las familias Paraonidae (119.04 ind./0.1 m²), Spionidae (95.23 ind./0.1 m²), Lumbrineridae (73.80 ind./0.1 m²) y Pilargidae (69.04 ind./0.1 m²) agruparon al 51.9% de la fauna. Onuphidae (11 especies), Spionidae (10 especies) y Cirratulidae (ocho especies) registraron el mayor número de especies, sin embargo, más de la mitad de las familias presentaron entre 1 y 4 especies. En la distribución de la densidad y la diversidad se observaron los valores mínimos (4.76 a 42.86 ind./0.1m²; H'= 1.00-1.94) en profundidades intermedias (651 a 915 m) y los máximos (30.95 a 78.57 ind./0.1 m², H'=2.65-3.79) en profundidades mayores a los 1335 m, similar a lo observado en otros mares del mundo, donde la diversidad es más elevada entre los 1000-2000 m. Con el análisis nMDS se logró detectar la presencia de tres agrupamientos faunísticos, definidos principalmente por las variaciones batimétricas: *Prionospio ehlersi*-*Subadyte mexicana*-*Syllis alternata*, localizado en las estaciones con menos de 348 m de profundidad; *Aricidea* sp. *A-Ninoe jessicae* distribuido entre los 651 y 915 m; y *Aglaophamus paucilamellata*-*Aricidea (Acmira) simplex*-*Ancistrostylis groenlandica* en profundidades con más de 1335 m. De acuerdo con los resultados obtenidos por medio de la rutina del BIO-ENV, las otras variables ambientales analizadas no pudieron explicar significativamente los patrones de distribución de la fauna..

Introducción

Los organismos del phylum Annelida Lamarck, 1802 se distribuyen en todos los hábitats del mundo donde existe suficiente agua para sobrevivir. Está integrado por el grupo Clitellata, que incluye a las lombrices de tierra y sanguijuelas; y el grupo Polychaeta Grube, 1850 (Brusca *et al.*, 2016).

En particular, los poliquetos son animales segmentados con parapodos (proyecciones de la pared corporal que utilizan para la locomoción) que portan numerosas setas. También presentan apéndices en la parte anterior del cuerpo con una morfología variable, tales como antenas, palpos y cirros tentaculares (Fauchald, 1977; De León-González *et al.*, 2009). El cuerpo de los poliquetos se divide en tres regiones: la parte anterior llamada acrón que está conformada por el prostomio y el peristomio, le sigue el tronco, soma o metastomio en el que se encuentran los parapodos y finalmente el extremo posterior que se denomina pigidio, en el cual se encuentra el ano (Salazar-Vallejo *et al.*, 1989) (Figura 1).

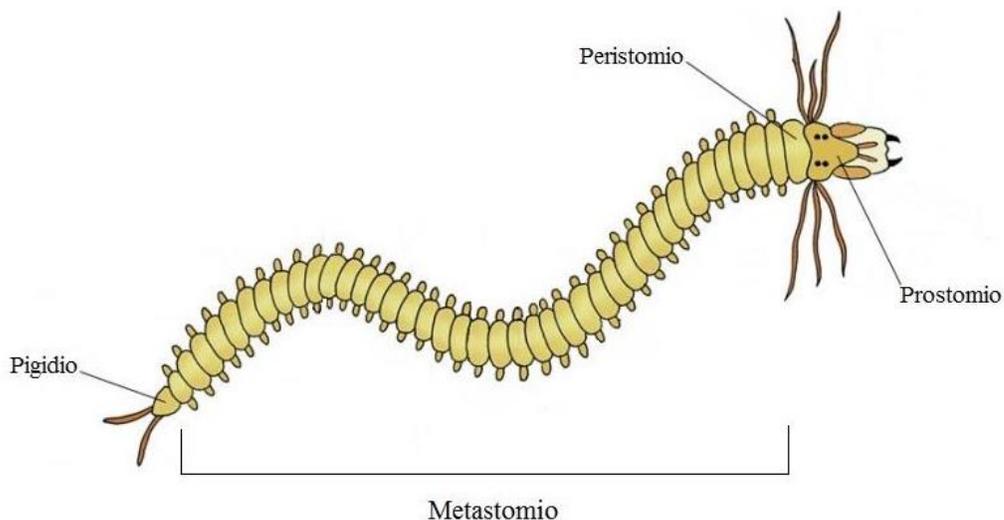


Figura 1. Morfología general de los poliquetos. (Tomado y modificado de Agnes Escuriola, s.f. Disponible en: http://www.cibsub.cat/rcs_gene/Poliquet_cat_1.jpg).

La región anterior de los poliquetos suele estar bien desarrollada, portando órganos sensoriales o apéndices utilizados para la alimentación. El prostomio presenta una gran variedad de formas: puede ser cónico, redondeado, con forma de “T” o modificado en una corona tentacular. En él se encuentran los ojos, antenas y palpos. El peristomio usualmente porta cirros peristomiales y en algunos casos puede estar fusionado a los primeros segmentos (Rouse, 2000);

esta región es de importancia taxonómica para identificar ejemplares a nivel de familia (Figura 2).

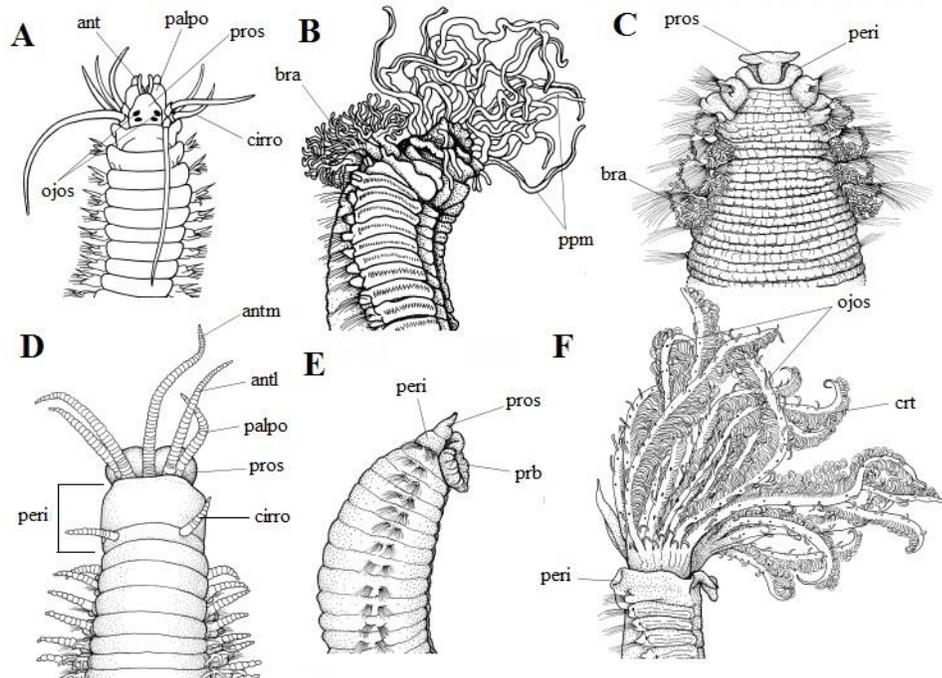


Figura 2. Variabilidad de la parte anterior entre diferentes familias de poliquetos. A) Nereididae; B) Terebellidae; C) Scalibregmatidae; D) Eunicidae; E) Orbiinidae; F) Sabellidae. (Abreviaturas: ant=antena; antm=antena media; antl= antena lateral; bra= branquia; crt= corona tentacular; peri= peristomio; prb=probóscide; pros=prostomio; ppm= palpos peristomiales con múltiples surcos) (Tomado y modificado de Rouse, 2000).

En el metastomio es común que cada uno de los segmentos presente parápodos. Los parápodos pueden ser birrámeos si están compuestos por un lóbulo dorsal llamado notópodo y un lóbulo ventral llamado neurópodo; o ser unirrámeos si porta solo uno de dichos lóbulos. En éstos se pueden encontrar estructuras accesorias como branquias o cirros ventrales y/o dorsales que varían en forma y tamaño. En los parápodos también se encuentran las setas, las cuales pueden ser simples o compuestas (Figura 3) y son utilizadas para incrementar la tracción en el sedimento o en la columna de agua (De León-González *et al.*, 2009). La variabilidad morfológica es amplia con gran importancia taxonómica a nivel de géneros y especie (Rouse, 2000).

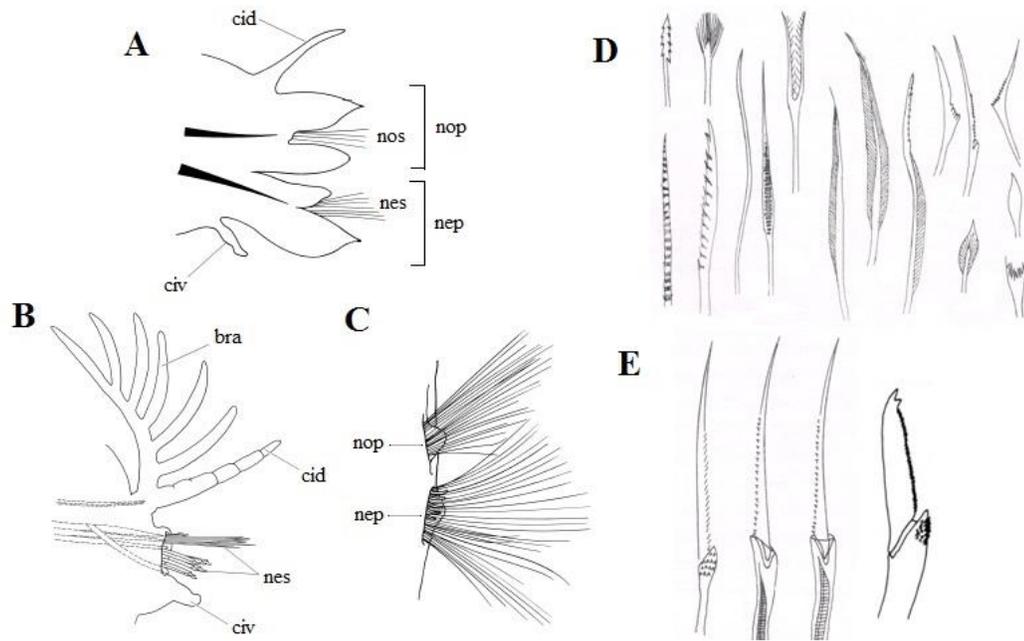


Figura 3. Morfología de los parapodos y setas. A) Parápodo birrámeo; B) Parápodo con el neuropodo reducido; C) Parápodo con notópodo y neuropodo reducidos; D) Setas simples; E) Setas compuestas. (Abreviaturas: bra= branquia; cid= cirro dorsal; civ= cirro ventral; nep= neuropodo; nop= notópodo; nes= neurosetas; nos= notosetas) (Tomado y modificado de Rouse, 2000 y Salazar-Vallejo *et al.*, 1989).

La gran diversidad morfológica de este grupo de invertebrados suele ser un reflejo de su estilo de vida. Por ejemplo, los organismos que viven típicamente fijos en el sedimento generalmente tienen pocos o ningún apéndice en el prostomio y presentan parapodos reducidos. Por el contrario, es común encontrar estas estructuras bien desarrolladas en los organismos errantes (Rouse, 2000).

Los poliquetos exhiben una amplia variedad de hábitos alimentarios, pueden ser herbívoros, carnívoros, omnívoros, suspensívoros o consumidores de depósito. Estos últimos pueden ser selectivos ya que eligen las partículas de sedimento de acuerdo con el tamaño para alimentarse o para construir sus tubos (Fauchald y Jumars, 1979). Como consecuencia de esta variedad de formas de alimentación, los poliquetos tienen representantes en todos los niveles tróficos, algunos son depredadores de poliquetos y de otros invertebrados, también se alimentan de algas, y reciclan y descomponen la materia orgánica asociada a los sedimentos (Hutchings, 1998).

Los poliquetos son el grupo más diverso y abundante de los anélidos, con alrededor de 15000 especies nominales (Tovar-Hernández *et al.*, 2014). La mayoría de las especies son marinas y se distribuyen desde la zona intermareal hasta grandes profundidades debido a la amplia diversidad morfológica y hábitos alimenticios (Tovar-Hernández *et al.*, 2014; Brusca *et al.*, 2016). Forman parte de la fauna dominante en los ambientes béntónicos, ya que pueden llegar a representar hasta el 36-76% del total de individuos y el 25-65% del total de especies, principalmente de fondos blandos (Hernández-Alcántara *et al.*, 2003). En los ambientes de mar profundo pueden llegar a constituir uno de los grupos biológicos más diversos y abundantes, donde llegan a representar más del 50% de la fauna total (Sanders *et al.*, 1965; Gage *et al.*, 1995; Solís-Weiss *et al.*, 2014).

Ambiente de mar profundo

Se considera mar profundo a la parte del océano que se encuentra por debajo de la plataforma continental, es decir, a partir de los 200 m de profundidad (Rex, 1981; Brusca y Hendrickx, 2010). El 70% de la superficie terrestre está cubierta por agua y de ésta, cerca del 90% se encuentra por debajo de los 2000 m de profundidad, lo que hace que el mar profundo sea el ecosistema más extenso del planeta (Gage y Tyler, 1991). Actualmente se sabe que hay una gran diversidad de vida animal y que hay especies que pueden sobrevivir con un elevado número de individuos, a pesar de que los factores limitantes como la ausencia de luz, las presiones atmosféricas altas y las temperaturas bajas, pueden volver al mar profundo un hábitat hostil (Rex, 1981; Gage y Tyler, 1991).

Generalmente, se asume que los ambientes de aguas profundas son relativamente homogéneos y estables en términos de los parámetros físicos y químicos. La temperatura del agua es baja (entre -1 a 4 °C) y la salinidad se mantiene ligeramente por debajo de 35 ups. La concentración de oxígeno también es relativamente constante y no suele ser menor a 4 ml/L, aunque se presentan zonas de mínimo oxígeno donde sus concentraciones son mucho más bajas (Lalli y Parsons, 1997; Miller, 2004).

La mayor parte del sustrato de estos ambientes está compuesto por sedimento blando, el cual, proviene de las masas continentales y en los restos de organismos planctónicos que caen al

fondo. El sustrato duro está muy restringido a las dorsales oceánicas y montañas submarinas que sobresalen del fondo marino (Lalli y Parsons, 1997).

En comparación con las corrientes superficiales, las corrientes del fondo son lentas, pero variables (<0.05 m/s). Algunas áreas experimentan tormentas abisales que llegan a durar algunas semanas, durante las cuales, las corrientes de fondo incrementan la velocidad y llegan a cambiar la dirección. Las corrientes profundas que se mueven a lo largo de los márgenes continentales pueden provocar la resuspensión del sedimento y así influir en la redistribución. Asimismo, en el mar profundo se pueden presentar variaciones estacionales en la cantidad de materia orgánica que cae de la zona eufótica al fondo (Lalli y Parsons, 1997).

Una forma de clasificar a la fauna bentónica es por tamaño, y entre esas categorías se encuentra la macrofauna, la cual está constituida por animales que miden entre 0.5 y 1 mm y se encuentra representada por la mayoría de los phyla de invertebrados (Lalli y Parsons, 1997; Brusca y Hendrickx, 2010).

En general, la fauna de mar profundo depende de las comunidades de aguas someras para obtener una fuente de energía, la cual, proviene de la materia orgánica que se origina en la columna de agua y del acarreo proveniente de la descarga de los ríos, que también proveen materia orgánica compuesta de fragmentos de plantas, animales y heces (Solís-Weiss *et al.*, 2014). Dado que el porcentaje de material que se produce en la superficie marina y llega al fondo es muy bajo, la disponibilidad de alimento también puede llegar a ser un factor limitante en estos ambientes (Miller, 2004). Esto se ve reflejado en que la mayoría de los poliquetos de la macrofauna presenten tallas reducidas, hábitos tubícolas y estilo de vida poco móvil. Esto puede deberse a las adaptaciones metabólicas necesarias en estos organismos para sobrevivir en este tipo de ambiente (Gage y Tyler, 1991).

En México, se han registrado alrededor de 1500 especies de poliquetos, agrupadas en 63 familias y 460 géneros (Tovar-Hernández *et al.*, 2014). Sin embargo, en las aguas profundas de la porción mexicana del Océano Pacífico y del Golfo de México, sólo se han registrado aproximadamente 50 y 18 familias, 173 y 32 géneros y 291 y 42 especies, respectivamente, incluyendo los ambientes de ventilas hidrotermales, donde estos invertebrados juegan un papel ecológico importante (Solís-Weiss *et al.*, 2014). Particularmente en el Golfo de California se han

registrado alrededor de 720 especies de poliquetos de las 4916 especies de invertebrados conocidos en esta región, principalmente en profundidades menores a 200 m (Brusca y Hendrickx, 2010). Es evidente entonces, que se tiene muy poca información sobre la ocurrencia de estos invertebrados en las aguas profundas de México, y por ende también sobre aspectos de la biología y ecología, por esto es necesario profundizar en este tipo de estudios si se quiere obtener una comprensión mejor sobre el grupo y la influencia que tienen en el establecimiento y desarrollo de los ecosistemas béticos de aguas profundas.

Antecedentes

Los trabajos sobre los poliquetos de mar profundo en el Golfo de California son escasos, en comparación con los realizados en la plataforma continental de esta región marina, y principalmente se enfocan en estudios taxonómicos de estos invertebrados. Los primeros trabajos sobre poliquetos de mar profundo en el sur del golfo fueron realizados por Chamberlin (1919a) y Treadwell (1923), quienes trabajaron con muestras recolectadas durante la expedición “Albatross”. Posteriormente, Fauchald (1968, 1970, 1972) también trabajó con material de esta expedición y con especímenes recolectados durante dos campañas oceanográficas: “Velero III” y “Velero IV”, realizadas en aguas profundas del oeste de México y áreas adyacentes al este del Océano Pacífico.

Asimismo, se han realizado numerosos estudios de especies provenientes de las ventilas hidrotermales, como es el caso de Blake (1985), quien analizó los poliquetos de ventilas hidrotermales del este del Pacífico. En dicho estudio se describieron 14 especies nuevas, de las cuales siete se encuentran en las ventilas hidrotermales de la Cuenca de Guaymas. En 1994, Solís-Weiss y Hernández-Alcántara registraron una nueva especie de la familia Ampharetidae (*Amphisamytha fauchaldi*) en las ventilas hidrotermales de la Cuenca de Guaymas, a 2020 m de profundidad.

Pérez-Mendoza (2001) realizó un estudio sobre la fauna poliquetológica del mar profundo del Pacífico Tropical Mexicano, boca del Golfo de California y norte del Golfo de México, donde confirmó que existe una relación directa entre la densidad de los poliquetos y la

profundidad en la boca del Golfo de California y que en el Pacífico Tropical Mexicano la distribución espacial de estos invertebrados es muy heterogénea.

Méndez (2006) realizó un listado de los poliquetos infaunales y epibénticos recolectados durante cuatro cruceros oceanográficos realizados entre 2000 y 2001, como parte del proyecto TALUD, en aguas profundas del sureste del Golfo de California. En dicho estudio se identificaron 73 especies distribuidas en 33 familias en un intervalo de profundidad de 732 a 2250 m.

Solís-Weiss *et al.* (2014) hicieron una recopilación de los poliquetos registrados en las aguas profundas de los mares mexicanos. En este trabajo mencionaron que las especies de poliquetos en la porción mexicana del Océano Pacífico no se distribuyen homogéneamente, ya que hay regiones donde esta fauna es más diversificada; siendo precisamente el Golfo de California la región donde se presenta el mayor número de especies. Otros trabajos sobre los poliquetos de mar profundo en el Pacífico fueron realizados por Hartman (1960, 1963) en las cuencas profundas del sur de California y por Blake y Hilbig (1990) en las ventilas hidrotermales de Juan de Fuca y en la dorsal Explorer en el Pacífico nororiental.

Los trabajos de carácter ecológico sobre la fauna poliquetológica en mar profundo del Golfo de California son aún más escasos, destacándose los de Méndez (2007, 2012, 2013): en 2007 analizó las relaciones entre la distribución de los poliquetos infaunales y las condiciones ambientales prevalecientes en el golfo; en 2012 hizo una comparación entre los poliquetos infaunales y epibénticos. En ambos trabajos encontró que la densidad y la distribución de los poliquetos dependen principalmente de la combinación del efecto de la profundidad, la concentración de oxígeno disuelto y la temperatura y en menor medida de la granulometría y la materia orgánica. Por otro lado, en 2013, esta misma autora analizó la distribución de las categorías tróficas de los poliquetos epibénticos del sureste del Golfo de California y su relación con las condiciones ambientales y no encontró relación alguna entre la densidad y las variables abióticas. Sin embargo, mostró que la distribución de los grupos tróficos se rige principalmente por el tamaño del grano y el contenido de materia orgánica.

Mercado-Santiago *et al.* (2016) analizaron la composición y distribución espacial de las familias de poliquetos que habitan en aguas profundas del Golfo de California y no observaron un patrón espacial definido de la distribución de las familias de poliquetos y las densidades.

Justificación

Entre la macrofauna bentónica, el grupo de los poliquetos es uno de los más diversos y abundantes en los ambientes litorales y sublitorales (Díaz-Castañeda y Harris, 2004; Hernández-Alcántara *et al.*, 2003), gracias a esto, y a la variedad de los hábitos alimenticios, son los invertebrados que principalmente determinan la estructura de las comunidades, sobre todo en ambientes de fondos blandos. En estos ambientes juegan un papel importante en la descomposición, deposición, incorporación e intercambio de materia orgánica y en el reciclaje de nutrientes de la columna de agua. Debido a lo anterior, los poliquetos son, probablemente, también un grupo dominante e importante en términos ecológicos en los ambientes de mar profundo. Sin embargo, los estudios realizados en este hábitat en el Golfo de California han sido principalmente de carácter taxonómico, por lo que poco se sabe sobre su ecología y la función que desempeñan en estos ambientes. En este sentido, el presente estudio ampliará el conocimiento sobre las especies que habitan el mar profundo del Golfo de California, y analizar la relación entre las condiciones ambientales y las variaciones espaciales de la densidad y diversidad de los poliquetos.

Objetivos

Objetivo general

- Analizar la composición taxonómica y los patrones espaciales de la densidad y diversidad de los poliquetos que habitan en los ambientes de mar profundo del sur del Golfo de California.

Objetivos particulares

- Identificar a los poliquetos que habitan en el mar profundo del sur del Golfo de California hasta el nivel taxonómico de especie y realizar un inventario faunístico.
- Examinar las variaciones espaciales de la salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y tipo de sedimento en los ambientes de mar profundo del área de estudio.
- Analizar los patrones de distribución espacial de la densidad y diversidad de los poliquetos en el sur del Golfo de California.
- Determinar la relación entre los parámetros ambientales evaluados y las variaciones espaciales de la densidad y diversidad de los poliquetos.

Hipótesis

En mar profundo la variabilidad de los factores ambientales usualmente disminuye con la profundidad, por lo que se espera que en las zonas más profundas la fauna de poliquetos esté representada por una elevada diversidad y densidad. Asimismo, se espera que más especies determinen la estructura de los agrupamientos faunísticos en las zonas más profundas.

Área de estudio

El Golfo de California es un mar parcialmente cerrado, largo y estrecho que mide aproximadamente 1000 kilómetros de longitud y 150 kilómetros de ancho y se encuentra al noroeste de México (Santamaría-del-Ángel y Álvarez-Borrego, 1994; Wilkinson *et al.*, 2009). La entrada del golfo mide aproximadamente 200 km de ancho y permite un intercambio libre con el Océano Pacífico. En esta zona alcanza profundidades de hasta 3000 m en la Cuenca Pescadero (Roden y Emilsson, 1979; Castro *et al.*, 2000).

Clima

El clima del Golfo de California es predominantemente continental debido a la orientación geográfica de su eje (noroeste-sureste) y a las cadenas montañosas largas que se encuentran en Baja California que disminuyen el efecto del Océano Pacífico sobre el área. Gracias a estas características existe una estacionalidad marcada en la temperatura, lluvias y patrones de viento (Maluf, 1983). También se caracteriza por presentar grandes cambios diarios y estacionales de temperatura, baja humedad, alta evaporación y una intensa radiación solar (Roden y Emilsson, 1979).

Los cambios en la temperatura, salinidad y masas de agua provocan que exista una estacionalidad marcada en el Golfo de California: entre noviembre y mayo (invierno-primavera) y entre junio y octubre (verano-otoño) (Lavín *et al.*, 1997). Durante el verano-otoño, la temperatura del aire aumenta desde la boca hacia la parte norte, mientras en invierno-primavera disminuye en la misma dirección (Santamaría-del-Ángel y Álvarez-Borrego, 1994). La parte norte del golfo es seca con lluvias anuales entre abril y junio. En la parte sur, la temporada de lluvias es entre julio y octubre y durante septiembre y octubre en ocasiones entran huracanes. La precipitación anual varía desde 50 mm en el noroeste del golfo hasta 950 mm cerca de Cabo Corrientes, Jalisco. Adicionalmente, el lado de la Península de Baja California tiene una precipitación menor en comparación con el lado continental (Roden y Emilsson, 1979).

Corrientes

El Golfo de California tiene una circulación local que está prácticamente aislada de los principales sistemas de corrientes del Pacífico Nororiental: la Corriente de California y la Corriente Ecuatorial del Norte. La Corriente de California acarrea agua de temperatura baja,

salinidad baja e interactúa con el agua cálida con salinidad elevada del golfo distribuida en las vecindades de Cabo San Lucas (Maluf, 1983).

La circulación del norte del Golfo de California presenta un giro en dirección ciclónica de junio a septiembre y anticiclónica entre noviembre y abril. En la parte sur hay un flujo hacia el norte del lado oriental durante el verano y uno hacia el sur durante el invierno del lado de la península. En la zona de la boca existe un giro ciclónico en aguas profundas; mientras que, en la Bahía de la Paz y cerca de Sinaloa, la circulación es anticiclónica. En esta última zona no parece existir una variabilidad estacional tan marcada como en la parte norte y central del golfo, excepto en la capa superficial (Makarov y Jiménez-Illescas, 2003).

La Corriente Mexicana, proveniente del sur de México, conduce agua cálida (26° C) y con una salinidad de 34.6 ups hacia el noroeste. Esta agua es ligera y flota sobre el agua del Golfo de California y la Corriente de California (Roden y Emilsson, 1979).

Topografía y batimetría

El sur del Golfo de California cuenta con un relieve variado, en el que destacan cuencas en forma de “V”, grandes depresiones, montes submarinos y acantilados (Maluf, 1983). En la parte central y sur del golfo, las cuencas aumentan en profundidad y complejidad. La depresión más larga de todo el golfo es la Cuenca de Guaymas, con una longitud aproximada de 220 km y una profundidad que se acerca a los 2000 m. Hacia el sur de la Cuenca de Guaymas se encuentran otras tres cuencas principales: la Cuenca del Carmen con 2000 m de profundidad, la Cuenca Farallón con 3000 m y la Cuenca Pescadero con 3000 m. En particular, la zona de la boca alcanza aproximadamente los 3000 m de profundidad, siendo ésta la zona más profunda; incluye parte de la Cuenca del Pescadero y la Cuenca de Mazatlán. (Maluf, 1983; Lavín *et al.*, 1997).

Otra característica sobresaliente de la topografía son los cañones submarinos que se extienden por la pendiente de la punta de la península de Baja California hasta profundidades de 2400 m (Maluf, 1983).

Sedimentos

La sedimentación en el Golfo de California es muy variable. Al norte, la principal fuente de sedimento es el Río Colorado (Van-Andel, 1963). Sin embargo, debido a que el golfo se encuentra básicamente rodeado por desiertos, sólo algunos ríos permanentes en el sur de Guaymas vierten continuamente sedimentos en la cuenca (Maluf, 1983); en las cuencas los sedimentos provienen del margen oriental (Van-Andel, 1963).

La flora y fauna que habita en las aguas superficiales contribuyen a la formación de la parte orgánica de los sedimentos cuando caen al fondo después de morir. Los organismos con estructuras de calcio o sílice son los que más contribuyen a la formación sedimento biogénico (foraminíferos, radiolarios y diatomeas). Los restos de diatomeas son abundantes en la Cuenca de Guaymas; aunque en las zonas profundas de la parte sur del golfo los sedimentos son principalmente terrígenos debido a que son zonas con baja productividad primaria (Maluf, 1983); es decir, organismos fotosintéticos como las diatomeas son menos abundantes en esta zona.

Masas de agua

El Agua Profunda del Pacífico se distribuye desde el fondo hasta los aproximadamente 1200 m de profundidad y está delimitada por la isoterma de los 4 °C. La salinidad incrementa hacia el fondo de 34.56 a 34.75 ups. Esta masa de agua es estable debido a que no se encuentra influenciada por los fenómenos meteorológicos que afectan a las masas superficiales (Lavín *et al.*, 1997).

Por encima de la masa de Agua Profunda del Pacífico, se encuentra el Agua Intermedia del Pacífico, que se localiza entre los 1200 m y los 500 m de profundidad, y está delimitada por una isoterma de 9 °C. Existen corrientes intensas que provocan la mezcla de agua entre esta masa y la inmediatamente superior, el Agua Subsuperficial Tropical (Lavín *et al.*, 1997).

El Agua Subsuperficial Tropical parece tener una variación estacional, la cual consiste en un retraimiento hacia el sur durante el verano y un avance durante el invierno. El límite superior de esta masa de agua está definido por una salinidad menor a 35 ups y una temperatura menor a 18 °C, aproximadamente a los 150 m de profundidad (Lavín *et al.*, 1997).

Las aguas superficiales son el Agua Superficial Ecuatorial, que proviene de la región ecuatorial y el Agua del Golfo de California, que están por encima de los 150 m; el Agua del Golfo de California se origina y distribuye principalmente en la porción norte (Lavín *et al.*, 1997).

Parámetros físicos y químicos

Salinidad y temperatura

La salinidad tiende a disminuir conforme aumenta la profundidad. Las masas de agua con temperaturas inferiores a los 12 °C en la entrada del Golfo de California presentan características similares a distintas profundidades. La salinidad media a 12 °C es de 34.7 ups y el valor decrece conforme disminuye la temperatura hasta llegar a una concentración mínima de 34.55 ups a los 900 m de profundidad; las masas de agua con temperaturas mayores a los 12 °C presentan variaciones mayores en las propiedades termohalinas que las de temperaturas inferiores a los 12 °C (Castro *et al.*, 2000).

Oxígeno disuelto

En profundidades intermedias del sur del Golfo de California es común encontrar concentraciones bajas de oxígeno. En los 150 m y por debajo de los 1500 m se registran valores de 1 ml/L. Mientras a los 600 m de profundidad se encuentran las concentraciones mínimas de oxígeno (inferiores a 0.1 ml/L). Esto se debe a que el transporte de aguas superficiales ricas en oxígeno hacia abajo es insuficiente para contrarrestar el consumo local de oxígeno; las surgencias y el intercambio de aguas entre el golfo y las áreas adyacentes del Océano Pacífico pueden ayudar a oxigenar las masas de agua (Roden y Emilsson, 1979). En profundidades mayores a los 750 m las concentraciones de oxígeno aumentan hasta alcanzar las concentraciones mayores (2.4 ml/L) alrededor de los 3500 m.

Metodología

Trabajo de campo

El material biológico fue recolectado en dos campañas oceanográficas realizadas en los ambientes de aguas profundas del sur del Golfo de California, a bordo del Buque Oceanográfico “El Puma” de la UNAM. La primera expedición fue llevada a cabo del 23 de abril al 5 de mayo del 2012: “Estudio comparativo del Golfo de California” (ECOGOCA 2012). La segunda fue realizada del 17 de abril al 2 de mayo del 2013: “Caracterización oceanográfica del sur del Golfo de California” (COSURGC 2013). Durante la campaña oceanográfica ECOGOCA 2012. Se muestrearon nueve estaciones con profundidades entre 260 y 1610 m (23° 59' 30"N - 25° 52' 12"N; 111° 08' 23" W – 111° 08' 23" W) (Tabla 1, Figura 4). Durante la campaña oceanográfica COSURGC 2013 se muestrearon seis estaciones con profundidades entre 233 y 2900 m (23° 05' 57" N - 25° 17' 33" N; 107° 38' 29" W- 106° 40. 00' W) (Tabla 2, Figura 4).

Tabla 1. Ubicación geográfica y profundidad de las estaciones de muestreo de la campaña ECOGOCA 2012.

Estación	Latitud (N)	Longitud (W)	Profundidad (m)
2	24° 45' 09"	108° 34' 46"	915
6	25° 52' 12"	110° 21' 52"	1604
7	25° 52' 09"	111° 08' 23"	260
8	25° 29' 21"	110° 47' 28"	651
9	25° 07' 33"	110° 32' 56"	262
10	24° 55' 01"	110° 30' 39"	736
11	24° 45' 01"	109° 55' 16"	1335
12	24° 00' 06"	109° 09' 00"	1423
14	23° 59' 30"	107° 52' 01"	300

Tabla 2. Ubicación y profundidad de las estaciones de muestreo de la campaña COSURGC 2013.

Estación	Latitud (N)	Longitud (W)	Profundidad (m)
10	25° 17' 33"	110° 46' 46"	798
11	25° 03' 04"	110° 45' 00"	314
12	24° 48' 41"	110° 30' 28"	348
13	24° 30' 21"	110° 30' 05"	238
20	23° 05' 57"	108° 06' 28"	2900
21	23° 07' 07"	107° 38' 29"	2184

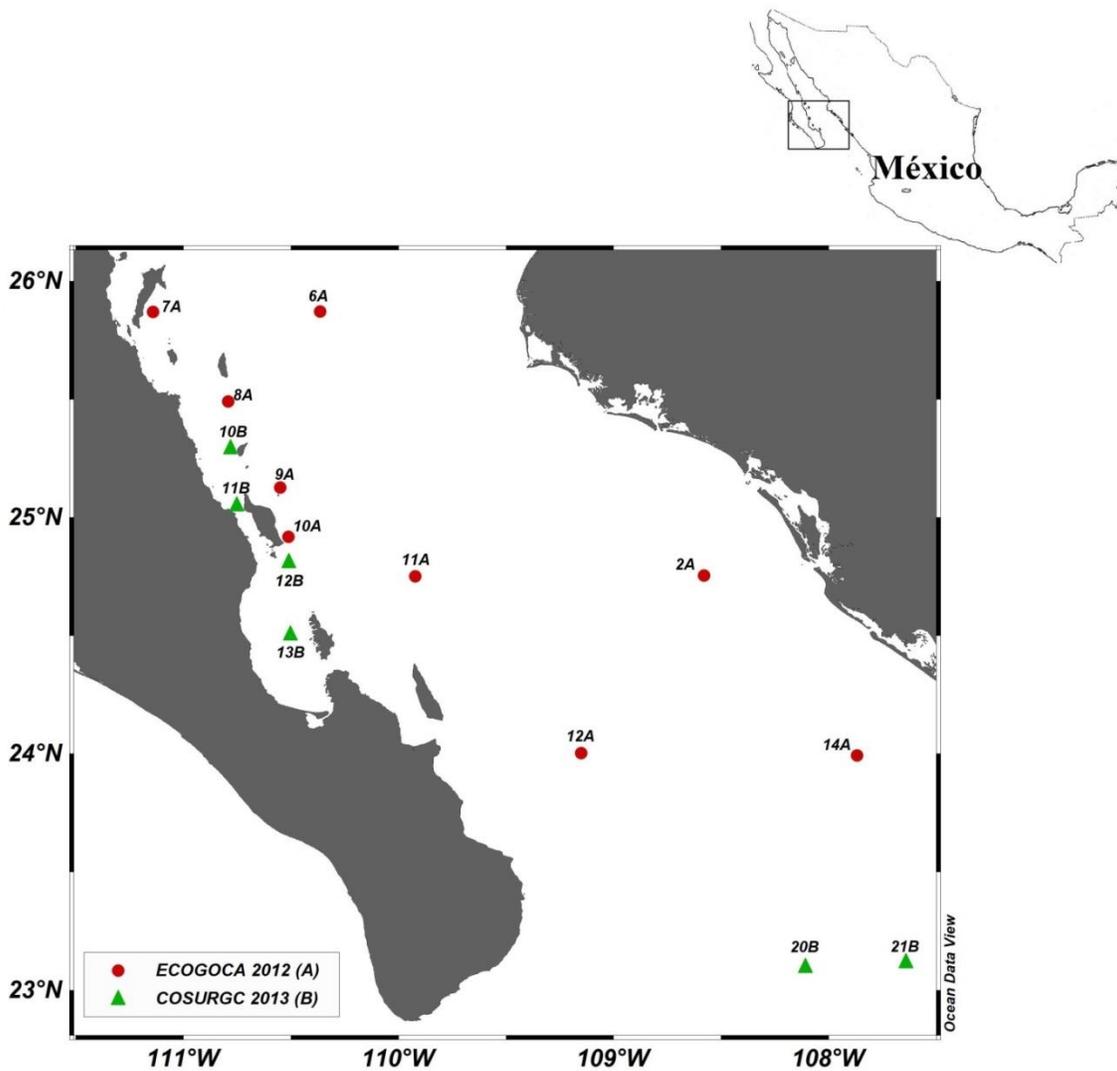


Figura 4. Mapa de la localización de los sitios de muestreo en el sur del Golfo de California.

Las estaciones fueron renombradas de acuerdo al nivel batimétrico y al tipo de masa de agua en la que se encuentran inmersas: el primer nivel estuvo integrado por las estaciones menos profundas (entre 238 y 348 m), ubicadas bajo la influencia de la masa de Agua Subsuperficial Tropical (ASsT) se les designó como nivel 1. En la masa de Agua Intermedia del Pacífico (AIP) se ubicaron las estaciones con profundidades intermedias, entre 651 y 915 m fueron asignadas al segundo nivel (2). Finalmente a las estaciones más profundas (de 1335 a 2900 m), bajo la influencia de la masa de Agua Profunda del Pacífico (APP), se les designó el nivel 3. En este mismo sentido, para simplificar la nomenclatura de las estaciones, las que fueron muestreadas durante el 2012 se distinguen por la letra A, las del 2013 por la letra B (Tabla 3). Es conveniente resaltar que ambas campañas oceanográficas fueron realizadas en la época climática de “invierno-primavera”.

Tabla 3. Nomenclatura y nivel batimétrico asignados a las estaciones de acuerdo con el año de muestreo y la masa de agua en la que se encuentran inmersas. Las estaciones se encuentran ordenadas por profundidad.

Estación	Año de muestreo	Profundidad (m)	Masa de agua	Nivel batimétrico
13-B	2013	238	Agua Subsuperficial Tropical	1
7-A	2012	260		
9-A	2012	262		
14-A	2012	300		
11-B	2013	314		
12-B	2013	348		
8-A	2012	651	Agua Intermedia del Pacífico	2
10-A	2012	736		
10-B	2013	798		
2-A	2012	915		
11-A	2012	1335	Agua Profunda del Pacífico	3
12-A	2012	1423		
6-A	2012	1604		
21-B	2013	2184		
20-B	2013	2900		

Las muestras fueron recolectadas por medio de un nucleador de caja tipo Reineck, del cual se tomaron submuestras con un cuadrante de 0.042 m², que fue el equivalente a 10 litros de muestra por localidad. Las muestras se filtraron con un tamiz de luz de malla de 500 µm para separar los organismos macrobentónicos y fueron fijadas con formol al 10%. Una vez en el laboratorio, las muestras se lavaron con agua dulce para eliminar el formol. Los organismos fueron separados en los principales grupos taxonómicos y se preservaron en alcohol al 70% con la etiqueta con datos de campo correspondiente.

Adicionalmente, se tomaron muestras de sedimento para evaluar la granulometría mediante la técnica de Shepard (1954). Los valores de salinidad y temperatura fueron obtenidos por medio de un CTD SEABIRD SBE 9 PLUS; las muestras de oxígeno disuelto fueron tomadas con botellas Niskin y sus concentraciones (ml/L) fueron determinadas por el método de Winkler (Strickland y Parsons, 1972).

Identificación taxonómica

Inicialmente, los organismos fueron identificados a nivel de familia, examinando básicamente las estructuras morfológicas asociadas al prostomio y peristomio. Los ejemplares fueron colocados en frascos viales con alcohol al 70% y fueron etiquetados con el número de estación, nombre de la campaña oceanográfica y familia.

Posteriormente, los organismos fueron identificados a nivel de género y especie, para lo cual, se utilizaron las claves taxonómicas de De León-González *et al.* (2009), Blake y Hilbig (1994), y Blake *et al.* (1995, 1996 y 2000), así como revisiones especializadas para los taxones correspondientes. Se tiñeron los organismos con azul de metileno para resaltar las estructuras morfológicas necesarias para realizar la identificación taxonómica y se realizaron las observaciones pertinentes con un microscopio estereoscópico. También se utilizó un microscopio óptico para observar a detalle las estructuras diagnósticas necesarias para asignar los ejemplares a nivel de especie, como aparato bucal, parápodos, setas y branquias.

Una vez identificados, los organismos fueron colocados en frascos viales con alcohol al 70%, catalogados e integrados a la Colección Nacional de Anélidos Poliquetos del Instituto de

Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. Las especies identificadas se ordenaron de acuerdo con la clasificación de Rouse y Fauchald (1997), modificada por Rouse (2000).

Análisis de datos

Variaciones espaciales de los parámetros ambientales

El análisis de la estructura del ambiente en las aguas profundas del sur del Golfo de California y la detección de las variables más importantes para definir dicha estructura se realizó por medio de un Análisis de Componentes Principales (PCA, por sus siglas en inglés), mediante el programa PRIMER (Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research) v6. Este es un análisis multivariado que se expresa como un mapa de dos dimensiones en el que la posición de las muestras está determinada por la similitud de las variables ambientales, evaluada a través de distancias euclidianas (Legendre y Legendre, 1998; Clarke y Warwick, 2001). En el primer componente principal (PC1) está contenido el porcentaje más elevado de variación entre las muestras, seguida de la variabilidad explicada por el PC2 (Clarke y Warwick, 2001). La variabilidad en estos ejes está expresada en porcentajes.

Inicialmente, se realizó un PCA para cada campaña con el fin de verificar si existen variaciones anuales, a pesar de que ambos cruceros oceanográficos se realizaron en la misma temporada climática (invierno-primavera). Posteriormente, para corroborar los resultados previos, se realizó un análisis de similitud (ANOSIM), bajo la hipótesis nula de que de acuerdo con sus características ambientales no existen diferencias significativas entre ambas campañas.

El ANOSIM es una prueba no paramétrica que se utiliza para determinar las diferencias entre dos o más grupos de muestras. La R resultante toma valores entre -1 y 1: los valores cercanos a cero indican que no existen diferencias entre los grupos; pero si los valores son cercanos a uno, significa que los grupos son diferentes entre sí (Clarke y Warwick, 2001).

Distribución espacial de la densidad y la diversidad

Densidad y diversidad

Las abundancias (número de individuos por especie) fueron transformadas en densidades (ind./0.1m²) para poder comparar los valores entre los sitios de muestreo. La variabilidad espacial de la densidad y el número de especies, por estación y por familia fue analizada por medio de gráficas de barras.

La diversidad es definida como la variedad de organismos que forman parte de una comunidad (Carabias *et al.*, 2009). La medida más simple de la diversidad es el número de especies; sin embargo, este componente por sí solo no es suficiente para describir la estructura de un ensamble de especies en un área determinada, debido a que el número de individuos por especie presenta una amplia variabilidad en la mayoría de las comunidades (Gotelli y Chao, 2013; Gray, 2000). Por tal motivo, para tener un panorama más amplio de la variación de la diversidad en las aguas profundas del Golfo de California, se utilizaron medidas de diversidad que toman en cuenta tanto el número de especies, como las abundancias relativas. Entre las propuestas que han sido ampliamente utilizados en estudios ecológicos, una de las más populares es el índice de Shannon (Gotelli y Chao, 2013). Este índice se basa en la teoría de la información y representa la incertidumbre de la identidad de un individuo (Morris *et al.*, 2014). La fórmula utilizada para calcularlo fue:

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \log_2 p_i$$

Donde:

H' = Índice de diversidad de Shannon

S = Número total de especies

$p_i = n_i/N$; donde:

n_i = Número de individuos de la especie i

N = Número total de individuos

Esta índice puede tomar el valor de 0, cuando todos los individuos pertenecen a una misma especie, y alcanzar su valor máximo ($\log_2 S$) cuando todas las especies presentan el mismo número de individuos (Margalef, 1974).

Adicionalmente, los índices de equidad se utilizan para conocer cómo están distribuidas las abundancias entre las especies presentes en una comunidad. En este sentido, el índice de Pielou (1976) mide la proporción entre la diversidad observada y la diversidad máxima esperada en una comunidad. Cuando toma un valor igual a 1 indica que todas las especies tienen las mismas abundancias y la comunidad alcanzó la diversidad máxima; mientras que, un valor cercano a cero indica que está lejos de alcanzar la diversidad máxima porque la distribución de las abundancias no es homogénea. La fórmula utilizada fue la siguiente:

$$J = \frac{H'}{H_{max}}$$

Donde:

J' = Índice de Pielou

H' = Índice de diversidad de Shannon

H_{max} = Diversidad máxima, la cual es igual a $\log_2 S$

Patrones de distribución espacial

Para comprobar si existe algún patrón en la distribución espacial entre las estaciones de muestreo, de acuerdo con la composición y densidad de las especies presentes, se realizó un análisis de escalamiento multidimensional no métrico (nMDS, por sus siglas en inglés). Esta es una técnica de ordenamiento en el que las muestras que tienen un nivel de similitud elevado, de acuerdo con el coeficiente de similitud Bray-Curtis, se encuentran cercanas entre sí; mientras las que tienen una mayor disparidad están más alejadas (Legendre y Legendre, 1998).

Existe una distorsión llamada “estrés” que se utiliza para evaluar la bondad de ajuste de las estimaciones, por lo que es necesario elegir una configuración que minimice el estrés: cuando el estrés es <0.05 , significa que la representación de la estructura de los datos es excelente. Si el valor es <0.1 , es una buena representación. Si el valor es <0.2 aún puede ser una buena representación, pero en este caso es recomendable aumentar el número de dimensiones de la configuración. Si el valor es <0.3 , indica que es una mala configuración y no es útil para explicar la relación entre los datos (Clarke y Warwick, 2001).

Los grupos faunísticos generados con los resultados del nMDS se validaron por medio de la prueba de ANOSIM. Posteriormente, para reconocer a las especies que contribuyeron a la similitud dentro de estos grupos, se realizó un análisis de porcentajes de similitud (SIMPER), con el cual se calculó el porcentaje de contribución de cada especie a la integración del agrupamiento faunístico (Clarke y Warwick, 2001).

La matriz de similitud que se utilizó para hacer el nMDS fue generada a partir del coeficiente de similitud Bray-Curtis (Bray y Curtis, 1957), el cual es definido como la similitud absoluta entre dos sitios y es dividida por el recuento total de ambas muestras (Clarke y Green, 1988). Toma valores entre 0, cuando no existen similitudes entre los sitios de muestreo y es igual a 1 cuando los sitios comparados son iguales en la composición faunística y las abundancias.

Relación entre la distribución espacial de la densidad y diversidad y las variaciones ambientales

Para determinar si hubo alguna relación entre los parámetros ambientales y las variaciones espaciales de la densidad y la diversidad se utilizó la técnica BIO-ENV, una subrutina del programa PRIMER v6. Esta prueba parte de la premisa de que los sitios de muestreo, cuyas condiciones ambientales sean similares, deberán tener una composición faunística parecida (Clarke y Ainsworth, 1993). Este análisis calcula la correlación entre una matriz de similitud de la fauna y una matriz de similitud de las variables ambientales a través del coeficiente de correlación de Spearman, el cual toma valores entre -1 y 1 cuando los dos conjuntos de datos tienen la máxima correlación, en sentido positivo (+1) o negativo (-1).

Cuando el coeficiente es igual a cero, quiere decir que no existe correlación entre las variables (Clarke y Ainsworth, 1993).

Resultados

Inventario faunístico

En total se recolectaron e identificaron 289 ejemplares pertenecientes a 26 familias, 59 géneros y 84 especies. De las 84 especies identificadas, nueve fueron catalogadas como sp. seguido de una letra (A, B, C...) debido a que sus características morfológicas no concordaron con las de las especies previamente descritas. Adicionalmente, 13 taxones fueron identificados hasta género y catalogados únicamente como sp. y tres fueron identificados hasta el nivel taxonómico de familia porque no se pudo realizar una identificación a niveles más bajos.

Especies potencialmente nuevas para la ciencia

Treinta y dos ejemplares cuyas características difieren significativamente de las descripciones de especies podrían corresponder a especies potencialmente nuevas para la ciencia y fueron designadas como sp. seguido de una letra (A, B, C...); debido a las siguientes peculiaridades morfológicas:

Familia Ampharetidae

Ecamphicteis sp. A

Observaciones: Se observaron siete ejemplares con dos pares de branquias, 12 setígeros torácicos y paleas en el primer setígero; los cuales, son caracteres diagnósticos del género. Seis de los ejemplares tienen siete uncinígeros torácicos y uno tiene ocho; la mayoría de los ejemplares son grandes y todos tienen un par de ojos; características que no corresponden con las especies descritas para este género hasta el momento.

Familia Amphinomidae

Benthoscolex sp. A

Observaciones: El prostomio está incompleto y sólo presenta la antena frontal izquierda; los ojos están ausentes, la carúncula es corta (hasta el primer setígero) con tres rebordes. Los parápodos son birrámeos y en los primeros dos setígeros son cortos. El neurópodo es más grande que el notópodo, con un cirro en el neurópodo y un cirro en el notópodo. Las branquias son arborescentes, comienzan en el tercer setígero y se continúan por todo el cuerpo, localizándose entre el parápodo y el cirro. Estas características morfológicas son parecidas a las que presenta la especie cercana, *B. cubanus*, sin embargo, en esta especie el cirro se ubica entre el parápodo y la branquia.

Familia Onuphidae

Kinbergonuphis sp. A

Observaciones: Dos ejemplares examinados tienen ganchos largos entre los setígeros cuatro y seis; las branquias comienzan en el setígero ocho y tienen hasta cinco filamentos. Los cirros ventrales están en los primeros siete setígeros y los ganchos aciculares comienzan a partir del setígero 21. Estas características solo son parecidas a la que registra *K. difficilis*; pero en esta última especie, las branquias comienzan en el sexto setígero y los cirros ventrales llegan hasta el octavo setígero.

Familia Orbiniidae

Leitoscoloplos sp. A

Observaciones: El ejemplar examinado tiene 17 setígeros torácicos y las branquias aparentemente empiezan en el setígero 18, aunque no es fácil asegurarlo, porque el ejemplar está algo maltratado. Sin embargo, a diferencia de *L. foliosus*, una especie cercana, los parápodos tienen los lóbulos postsetales largos.

Orbinia sp. A

Observaciones: El ejemplar examinado se parece únicamente a *O. riseri*; pero difiere de esta especie porque el ejemplar del Golfo de California presenta varias papilas en la región abdominal, mientras que *O. riseri* no tiene este tipo de papilas.

Familia Paraonidae

Aricidea sp. A

Observaciones: Se examinaron 17 ejemplares con un par de ojos y una antena media larga que llega hasta los setígeros 2-4; la región branquial es muy ancha y los ejemplares tienen alrededor de 22 pares de branquias delgadas. Las neurosetas son ganchos con arista terminal y ganchos simples con la curva muy pronunciada, como en *Aricidea (Acmira) simplex*. Sin embargo, la antena media de *A. (A.) simplex* es corta, apenas alcanza el primer setígero, y las neurosetas modificadas únicamente presentan una curva pronunciada sin arista terminal.

Aricidea sp. B

Observaciones: El ejemplar tiene ganchos con y sin arista terminal a partir del parápodo 23. Aunque las branquias son igual de delgadas, la región branquial no es tan ancha como en *Aricidea* sp. A, descrita por Gaston (1984) pero aún no nombrada formalmente. Por su parte, los ganchos simples son más parecidos a los de las especies *A. antennata* y, la curva distal no es tan marcada. Por tanto, las características morfológicas de *Aricidea* sp. B no parecen corresponder a alguna de las especies descritas hasta ahora.

Familia Pilargidae

Sigambra sp. A

Observaciones: El ejemplar examinado es parecido a las especies *S. vargassi* y *S. rugosa*; pero en *Sigambra* sp. A los ganchos están presentes a partir del notópodo del setígero 25; mientras que, en las especies mencionadas, los ganchos aparecen inicialmente en los setígeros 15-17 o 43-66, respectivamente.

Familia Trichobranchidae

Terebellides sp. A

Observaciones: El abdomen está incompleto, las branquias no están fusionadas y los lóbulos inferiores son largos, características solo cercanas a las registradas por la especie

Terebellides sp. A descrita por Blake y Hilbig (2000), pero el ejemplar recolectado en el golfo tiene más cortos los lóbulos branquiales.

Dificultades en la identificación taxonómica

De los 289 ejemplares, 27 no pudieron ser identificados hasta el nivel taxonómico de especie, de los cuales, 22 ejemplares quedaron determinados únicamente como sp. y cinco quedaron hasta el nivel de familia. Las causas por las que no se pudo realizar una identificación a niveles más bajos se mencionan a continuación:

1. Ejemplares con un tamaño muy pequeño:
 - **Familia Lumbrineridae.** El ejemplar determinado como *Lumbrinerides* sp. mide menos de un milímetro de ancho, por lo que no fue posible extraer el aparato maxilar, el cual es necesario para realizar la identificación de especies en esta familia.
 - **Familia Spionidae.** En el caso de un ejemplar del género *Prionospio* el tamaño reducido del organismo (xx mm) dificultó la observación de varias estructuras y sólo se pudo determinar la presencia de una branquia pinada en el primer setígero.

2. En algunos ejemplares fragmentados las estructuras morfológicas ubicadas en la parte posterior y media del cuerpo no pudieron observarse. Algunos poliquetos se fragmentan al estar sometidos al estrés como estrategia para la depredación, por lo que es común que esto ocurra al momento de realizar el muestreo. También es común que algunos ejemplares se fragmenten cuando se procesan las muestras:
 - **Familia Orbiniidae.** Un ejemplar del género *Leitoscoloplos* tiene el abdomen incompleto y carece de branquias, por lo que no fue posible determinar la especie.
 - **Familia Pilargidae.** El ejemplar determinado como *Sigambra* sp. está incompleto y no se puede determinar el setígero donde se presentan inicialmente los ganchos.
 - **Familia Spionidae.** Un ejemplar fue determinado como *Spiohanes* sp. debido a que no se pudo determinar la presencia de ganchos en los segmentos medios y posteriores.

3. En un ejemplar de la familia Syllidae, perteneciente al género *Exogone*, no se pudo observar el proventrículo ni las antenas, porque posiblemente se encontraba en proceso de regeneración.

4. El deterioro que presentaron algunas estructuras morfológicas diagnósticas.
- **Familia Capitellidae.** Un ejemplar fue determinado como *Capitella* sp. debido a que los últimos segmentos del tórax están maltratados y no se distinguen las espinas genitales. Otro ejemplar de esta familia fue identificado hasta el nivel de familia debido a que sólo se observan claramente seis segmentos torácicos. El ejemplar está maltratado a partir del sexto segmento y da la impresión de que en éste y en el primer segmento abdominal no hay setas o están rotas. Son pocos los segmentos abdominales presentes, pero se alcanzan a ver algunos ganchos, sin poder determinar con certeza en que segmento empiezan.
 - **Familia Nereididae.** Un ejemplar de esta familia se determinó como *Profundilycastis* sp. porque el prostomio está maltratado y no se aprecian bien los paragnatos, para poder asignarlo a alguna especie.
 - **Familia Onuphidae.** Un ejemplar del género *Kinbergonuphis* no pudo ser determinado hasta nivel de especie debido a que está maltratado, por lo que no se puede determinar la forma de los cirros y el inicio de los ganchos subaciculares.
 - **Familia Phyllodoceidae.** Un ejemplar se determinó solo a nivel de familia porque el prostomio se encuentra deteriorado y no se pudieron distinguir las características de las estructuras necesarias para la identificación a género.
 - **Familia Terebellidae.** Un ejemplar se identificó como parte del género *Pista* y otro quedó identificado solo hasta el nivel de familia porque ciertas características como la forma de las branquias o la presencia de los uncinos no pudieron ser observadas, debido al mal estado de los ejemplares.
5. Se observaron ejemplares con diferencias menores con respecto a las características descritas para la especie original. Sin embargo, estas diferencias no fueron suficientes para asignarlos a una especie distinta, por tanto, los ejemplares fueron catalogados como cercanos (*circa: ca.*) a dicha especie:
- **Familia Cirratulidae.** Dos ejemplares de la especie *Chaetozone ca. lunula* no presentan espinas bidentadas: mientras que, en la descripción original se menciona que estas espinas están presentes.

- **Familia Phyllodocidae.** El ejemplar designado como *Eteone ca. californica*, tiene los cirros ventrales tan largos como los lóbulos del parápodo; mientras que, la descripción original menciona que el cirro ventral es más corto que el lóbulo.

Los especímenes que fueron catalogados como sp. no fueron incluidos en los análisis ecológicos porque no se pudo asegurar que se trate de especies distintas a las identificadas durante el presente estudio. Algunas excepciones fueron los ejemplares de los géneros *Capitella*, *Lumbrinerides*, *Profundilycastis*, *Exogone* y *Scionides*, dado que solo estuvieron representados por un solo ejemplar y no se identificaron otros organismos de estos géneros. Este también fue el caso de los maldánidos pertenecientes a los géneros *Lumbriclymene* y *Petaloproctus*, que también fueron incluidos en los análisis cuantitativos por ser los únicos representantes de estos géneros en el área de estudio. Los ejemplares catalogados como especies cercanas (*ca*) también fueron incluidos en los análisis por tratarse de entidades diferentes al resto de las especies identificadas.

A continuación se presenta el listado sistemático de las especies registradas en el presente estudio. Se utilizó el arreglo filogenético de Rouse y Fauchald (1997), modificado por Rouse (2000).

Lista sistemática de especies

Polychaeta Grube, 1850

Infracase Scolecida Rouse & Fauchald, 1997

Familia Capitellidae Grube, 1862

Capitella sp.

Leiochrides hemipodus Hartman, 1960

Notomastus hemipodus Hartman, 1945

Fam. Capitellidae

Familia Maldanidae Malmgren, 1867

Asychis lobata Fauchald, 1972

Lumbriclymene sp.

Petaloproctus sp.

Sonatsa meridionalis Chamberlin, 1919

Fam. Maldanidae

Familia Orbiniidae Hartman, 1942

Califia calida Hartman, 1957

Leitoscoloplos mexicanus (Fauchald, 1972)

Leitoscoloplos sp.

Leitoscoloplos sp. A

Leodamas cirratus (Ehlers, 1897)

Orbinia sp. A

Familia Paraonidae Cerruti, 1909

Aricidea (Acmira) simplex Day, 1963

Aricidea (Strelzovia) ramosa Annekova, 1934

Aricidea sp. A

Aricidea sp. B

Levinsenia oculata (Hartman, 1957)

Paradoneis forticirrata (Strelzov, 1973)

Familia Travisiidae Hartman-Schröder, 1971

Travisia brevis Moore, 1923

Subclase Errantia Audouin & H Milne Edwards, 1832

Orden Eunicida

Familia Drovillaidae Chamberlin, 1919

Meiodorvillea apapalpata Jumars, 1974

Familia Lumbrineridae Schmarda, 1861

Eranno lagunae (Fauchald, 1970)

Lumbrineris index Moore, 1911

Lumbrineris latreilli Audouin & Milne Edwards, 1834

Lumbrinerides sp.

Ninoe jessicae Hernández-Alcántara, Pérez-Mendoza & Solís-Weiss, 2006

Familia Onuphidae Kinberg, 1865

Diopatra splendidissima Kinberg, 1865

Kinbergonuphis cedroensis (Fauchald, 1968)

Kinbergonuphis microcephala Hartman, 1944

Kinbergonuphis proalopus (Chamberlin, 1919)

Kinbergonuphis sp.

Kinbergonuphis sp. A

Onuphis elegans (Johnson, 1901)

Onuphis geophiliformis (Moore, 1903)

Onuphis iridescens (Johnson, 1901)

Onuphis similis Fauchald, 1968

Onuphis vibex (Fauchald, 1972)

Paradiopatra multibranchiata Hernández-Alcántara, Mercado-Santiago & Solís-Weiss, 2017

Orden Amphinomida

Familia Amphinomidae Lamarck, 1818

Benthoscolex sp. A

Linopherus abyssalis (Fauchald, 1972)

Orden Phyllodocida

Familia Glyceridae Grube, 1850

Hemipodia simplex (Grube, 1857)

Familia Goniadidae Kinberg, 1866

Bathyglycinide mexicana Fauchald, 1972

Glycinde armigera Moore, 1911

Goniada brunnea Treadwell, 1906

Familia Nephtyidae Grube, 1850

Aglaophamus erectans Hartman, 1950

Aglaophamus paucilamellata Fauchald, 1972

Nephtys californiensis Hartman, 1938

Nephtys punctata Hartman, 1938

Familia Nereididae Blainville, 1818

Nereis imajimai León-González & Díaz-Castañeda, 1998

Profundilycastis sp.

Familia Paralacydoniidae Pettibone, 1963

Paralacydonia paradoxa Fauvel, 1913

Familia Phyllodocidae Örsted, 1843

Eteone ca. californica Hartman, 1936

Fam. Phyllodocidae

Familia Pilargidae Saint-Joseph, 1899

Ancistrosyllis groenlandica McIntosh, 1878

Sigambra setosa Fauchald, 1972

Sigambra sp.

Sigambra sp. A

Familia Polynoidae Kinberg, 1856

Subadyte mexicana Fauchald, 1972

Lepidasthenia curta Chamberlin, 1919

Familia Sigalionidae Kinberg, 1856

Sthenolepis spargens Fauchald, 1972

Familia Syllidae Grube 1850

Exogone sp.

Syllis alternata Moore, 1908

Infraclass Canalipalpata Rouse & Fauchald, 1997

Orden Spionida

Familia Magelonidae Cunningham & Ramage, 1888

Magelona marianae Hernández-Alcántara & Solís-Weiss, 2000

Familia Poecilochaetidae Hannerz, 1956

Poecilochaetus johnsoni Hartman, 1939

Familia Spionidae Grube, 1850

Dispia uncinata Hartman, 1951

Paraprionospio pinnata (Ehlers, 1901)

Prionospio dubia Day, 1961

Prionospio ehlersi Fauvel, 1928

Prionospio sp.

Spiophanes anoculata Hartman, 1960

Spiophanes berkeleyorum Pettibone, 1962

Spiophanes duplex (Chamberlin, 1919)

Spiophanes kroyeri Grube, 1860

Spiophanes sp.

Orden Terebellida

Familia Ampharetidae Malmgren, 1866

Ampharete finmarchica (M. Sars, 1865)

Ampharete sp.

Ecamphicteis sp. A

Samytha californiensis Hartman, 1969

Familia Cirratulidae Carus, 1863

Aphelochaeta elongata Blake, 1996

Aphelochaeta glandaria Blake, 1996

Aphelochaeta monilaris (Hartman, 1960)

Aphelochaeta multifilis (Moore, 1909)

Aphelochaeta phillipsi Blake, 1996

Aphelochaeta williamsae Blake, 1996

Chaetozone hedgpethi Blake, 1996

Chaetozone ca. lunula Blake, 1996

Familia Terebellidae Johnston, 1846

Loimia medusa (Savigny in Lamarck, 1818)

Scionides sp. A

Pista wui Safronova, 1988

Pista sp.

Fam. Terebellidae

Familia Trichobranchidae Malmgren, 1866

Terebellides horikoshii Imajima & Williams, 1985

Terebellides sp. A

Variaciones espaciales de los parámetros ambientales

En el análisis de ordenación PCA de la campaña del 2012 el porcentaje de varianza explicado fue del 79% en la relación entre las estaciones de acuerdo con las condiciones ambientales, mientras que en la campaña del 2013 en el respectivo PCA se explicó el 89.6% de la variabilidad ambiental. En el año 2012, el primer componente explicó el 54.9% de la variación y estuvo determinado principalmente por la profundidad (0.523) y la temperatura (-0.544); mientras que, el segundo componente explicó el 24.1% y estuvo definido por las variaciones del oxígeno disuelto (-0.525) y la textura del sedimento (0.593). Por otro lado, en la campaña del 2013, el PC1 explicó el 70.3% de la variación y, al igual que en 2012, estuvo determinado por la profundidad (0.514) y la temperatura (-0.489); mientras que el PC2 solo explicó el 19.3%, y estuvo definido también por el oxígeno disuelto (-0.770); sin embargo, en este caso, la salinidad (-0.493) influyó en la estructura ambiental (Tabla 4, Figura 5).

Tabla 4. Valores de las variables ambientales para cada campaña oceanográfica, obtenidos en el análisis PCA. En negritas se muestran los valores más elevados en cada uno de los componentes principales.

Variable	ECOGOCA 2012		COSURGC 2013	
	PC1	PC2	PC1	PC2
Profundidad (m)	0.523	-0.291	0.514	-0.236
Temperatura (°C)	-0.544	0.127	-0.489	-0.039
Salinidad (ups)	-0.436	-0.522	-0.433	-0.493
Oxígeno disuelto (ml/L)	0.371	-0.525	0.334	-0.770
Sedimento (%)	0.319	0.593	0.444	-0.328

Al comparar los diagramas del PCA de ambas campañas oceanográficas, se observó que la profundidad y la temperatura (PC1) tuvieron un efecto similar en la determinación de las relaciones ambientales entre las estaciones de muestreo (Figura 5); mientras que, los niveles de oxígeno disuelto influyeron en menor medida, de acuerdo con los valores generados por el PC2. Al realizar la prueba de ANOSIM se detectaron diferencias significativas entre las características ambientales de las estaciones de la campaña del 2012 y las que presentaron las estaciones en el 2013 ($R_{ANOSIM}=0.235$, $p=0.046$). Las diferencias entre ambas campañas oceanográficas estuvieron asociadas fundamentalmente con la variabilidad ambiental explicada por el PC2. Esto se debió a que durante la campaña del 2012, el porcentaje de arena fue importante en la estructura ambiental al registrarse un porcentaje de arena ligeramente mayor ($\bar{x}=28.44\%$) que el registrado por las estaciones de la campaña 2013 ($\bar{x}=21\%$). A pesar de que el análisis ANOSIM detectó precisamente estas diferencias, fue prácticamente debido al comportamiento de las estaciones 20 y 21 en la campaña de 2013, las cuáles registraron las máximas concentraciones de lodo (94-98%). Por otro lado, aunque durante la campaña oceanográfica 2013, la salinidad también fue una variable importante en la definición del PC2, el promedio del contenido salino en ambas campañas fue prácticamente la misma ($\bar{x}=34.61$ ups), por lo que las diferencias en la estructura ambiental detectadas por el ANOSIM no se pueden atribuir a este factor.

Como se mencionó previamente, ambas campañas oceanográficas se realizaron durante la misma temporada climática (invierno-primavera), por lo que con los resultados obtenidos con el PCA y el ANOSIM se pudo demostrar que sus diferencias ambientales fueron mínimas. Las

diferencias detectadas por el ANOSIM entre ambas campañas fueron originadas por la posición geográfica de las estaciones 20B y 21B, ya que fueron las localidades que se ubicaron en el extremo sur de toda la red de muestreo en ambas campañas oceanográficas, por tanto, sometidas a un efecto mayor de la confluencia de masas de agua en la boca del golfo que el resto de las estaciones. Esto deriva en que se presenten más cambios en la estructura ambiental en esta zona. En este sentido, si no se toma en cuenta la presencia de estas dos estaciones situadas en la boca del golfo, la estructura ambiental de las dos campañas fue muy similar debido a que ambos muestreos fueron realizados en la misma época del año, razón por la cual se decidió realizar los análisis ecológicos de ambas campañas en conjunto. En términos generales la profundidad fue el factor que más influencia tuvo para definir la estructura ambiental del área de estudio, es decir, los cambios en las variables físicas y químicas (Figura 5).

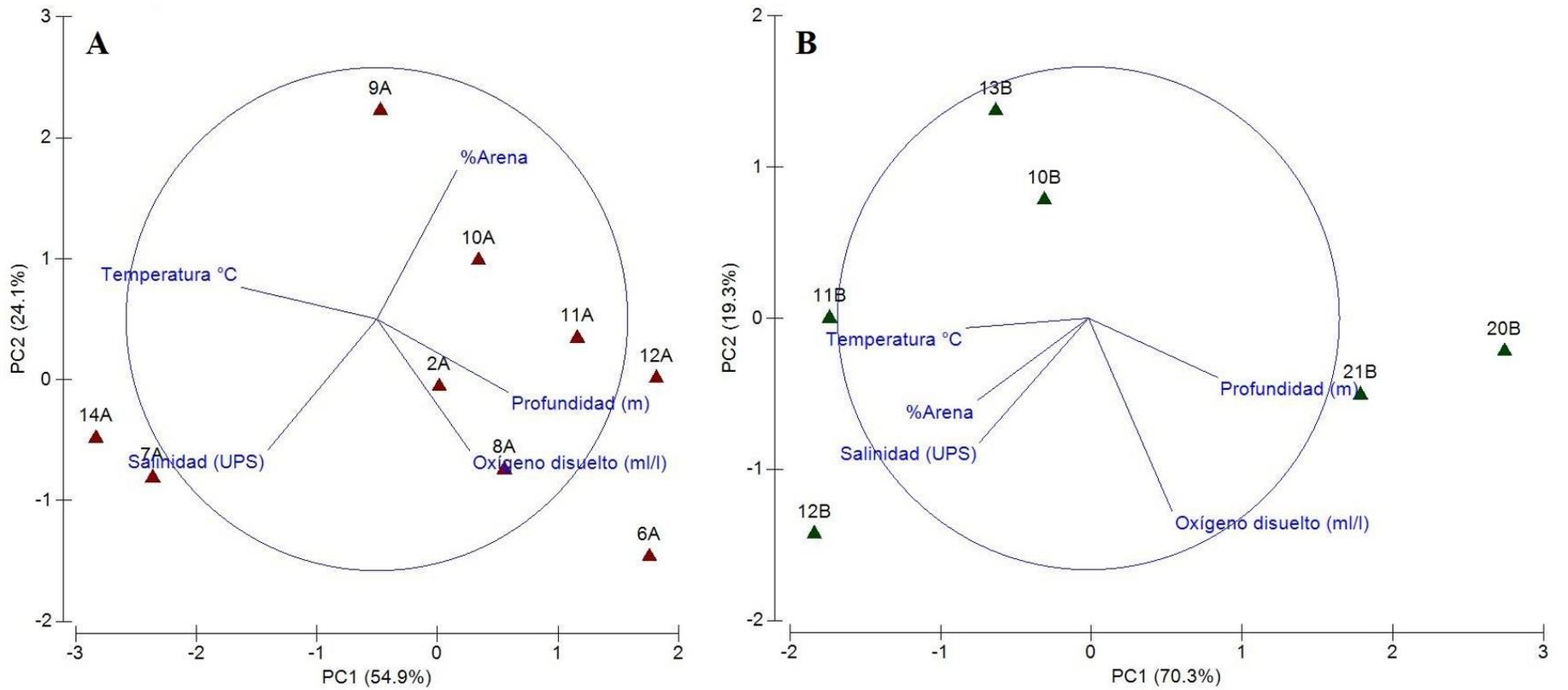


Figura 5. Diagramas de los PCA realizados para cada una de las campañas oceanográficas. A) ECOGOCA 2012 (A): PC1 y PC2 acumulan el 79% de la variación. B) COSURGC 2013 (B): PC1 y PC2 acumulan el 89.7% de la variación.

Patrón de distribución espacial de la temperatura y salinidad

De manera general en el área de estudio, los valores de temperatura disminuyeron conforme se incrementó la profundidad. En las estaciones del primer nivel de profundidad (238-348 m) se encontraron los valores de temperatura más elevados y con más variabilidad ($\bar{x}=11.76$, ± 1.95), desde 10°C alrededor de los 260 m (estaciones 7-A1 y 9-A1) hasta 15.22°C a 348 m de profundidad (estación 12-B1) (Tabla 5). En las estaciones del segundo nivel (651-915 m) la temperatura disminuyó a 5°C ($\bar{x}=5.28$, ± 0.57), en particular en la estación 10-B2 ubicada a 798 m de profundidad, y fue la única localidad que sobrepasó ligeramente la temperatura promedio del nivel (6.14°C) (Tabla 5). Las estaciones del tercer nivel (1335-2900 m) presentaron las temperaturas más bajas de la zona ($\bar{x}=3.42$, ± 1.75), con un intervalo de 1.31 a 5°C (Tabla 5). Las estaciones más profundas, 20-B3 y 21-B3, situadas a 2900 m y 2184 m, respectivamente, fueron las que registraron las temperaturas más bajas (1.31 y 1.83°C).

En general, la salinidad tuvo poca variación entre las localidades de muestreo, con valores entre 34.5 y 35 ups. En el primer nivel batimétrico (238-348 m) se presentaron las salinidades más elevadas ($\bar{x}=34.73$, ± 0.20) (Tabla 5), en particular, en la estación 12-B1 se encontró la salinidad máxima (35.04); las estaciones restantes registraron valores entre 34.5 y 34.8. La salinidad en las estaciones del segundo y tercer nivel (> 350 m) presentó menor variabilidad que en el primero: el segundo nivel tuvo un valor promedio de 34.59 , ± 0.08 , con un intervalo entre 34.5 y 34.7; mientras que, en las estaciones más profundas (tercer nivel) se presentó un valor promedio más bajo ($\bar{x}=34.48$, ± 0.18), con valores entre 34.5 y 34.6 (Tabla 5).

Patrón de distribución espacial de las concentraciones de oxígeno disuelto

La concentración de oxígeno disuelto disminuyó ligeramente en profundidades intermedias y se incrementó en las estaciones con mayor profundidad. En las estaciones menos profundas (238-348 m), el oxígeno disuelto osciló entre 0.09 y 1.85 ml/L ($\bar{x}=0.48$, ± 0.68) (Tabla 5); donde, en las estaciones ubicadas en el margen peninsular entre 238 y 262 m (7-A y 9-A), dentro de la Bahía de La Paz (estación 13-B), se encontraron concentraciones de oxígeno disuelto similares (0.14-0.18 ml/L). Por el contrario, la estación 14-A, situada en el margen continental (300 m), presentó la concentración más baja (0.09 ml/L), sin embargo, al aumentar la

profundidad, las concentraciones de oxígeno se incrementaron nuevamente, hasta 1.85 ml/L en la estación 12-B1 a 348 m.

En términos generales, en el segundo nivel batimétrico (651-915 m) se registraron las concentraciones más bajas de oxígeno disuelto ($\bar{x}=0.27$ ml/L, ± 0.21), desde 0.09 hasta 0.56 ml/L (Tabla 5). En especial, la estación 10-A2, ubicada a 736 m de profundidad, presentó la concentración más baja (0.09 ml/L) del muestreo. Por el contrario, en la estación 8-A (651 m), situada hacia el norte del área de estudio, se registró el valor más elevado (0.56 ml/L) de este intervalo batimétrico (651-915 m).

En las estaciones más profundas de toda la zona (1335-2900 m) se registraron las concentraciones más elevadas de oxígeno disuelto ($\bar{x}= 1.14$ ml/L, ± 1.01). En este intervalo batimétrico, además, los niveles de oxígeno tendieron a incrementarse conforme aumentó la profundidad, desde 0.21 ml/L a 1335 m de profundidad (estación 10-A3), hasta 2.4 ml/L en la estación 20-B3, que fue la que se ubicó en la profundidad más elevada (2900 m) (Tabla 5).

Tabla 5. Valores promedio e intervalos de los parámetros ambientales por nivel batimétrico.

Parámetro	Nivel 1 (238-350 m)		Nivel 2 (651-915 m)		Nivel 3 (1335-2900 m)	
	Promedio	Intervalo	Promedio	Intervalo	Promedio	Intervalo
Temperatura (°C)	11.76	10 - 15.22	5.28	5 - 6.14	3.42	1.31 - 5
Salinidad (ups)	34.73	34.5 - 35.04	34.59	34.5 - 34.7	34.48	34.5 - 34.61
Oxígeno disuelto (ml/L)	0.48	0.09 - 1.85	0.27	0.09 - 0.56	1.14	0.21 - 2.08
Arena (%)	27.5	6 - 58	27.5	17 - 39	21.4	2 - 52
Lodo (%)	72.83	43 - 94	72.5	60 - 84	78.6	48 - 98

Patrón de distribución espacial de los sedimentos

La mayoría de las estaciones profundas del sur del Golfo de California presentaron un porcentaje de lodo mayor al 50%, excepto en la estación 9-A1, con el 58% de arena y el 43% de lodo (Figura 6). Las estaciones del primer nivel batimétrico (238-350 m) presentaron más variabilidad en la composición sedimentaria que en el resto del área de estudio, ya que presentaron entre el 6 y 58% de arena ($\bar{x}=27.5\%$, ± 23.20), y entre el 43 y 94% de lodo ($\bar{x}=72.83\%$, ± 23.12).

En las estaciones del segundo nivel batimétrico (651-915 m) no se observaron cambios importantes en el porcentaje de lodos ($\bar{x}=72.5\%$, ± 10.11), en comparación con el nivel batimétrico superior. Sin embargo, estos porcentajes de lodos aumentaron al incrementarse la profundidad, hasta que en las estaciones más profundas, es decir, las del tercer nivel batimétrico (1335-2900 m) se registró el máximo contenido de lodos ($\bar{x}=78.6\%$, ± 20.26) y las más bajas concentraciones de arena ($\bar{x}=21.4\%$, ± 20.26). Cabe destacar que en la estación 12-A (1423 m); se registraron porcentajes similares de lodo (48%) y arena (52%) (Figura 6, Tabla 5).

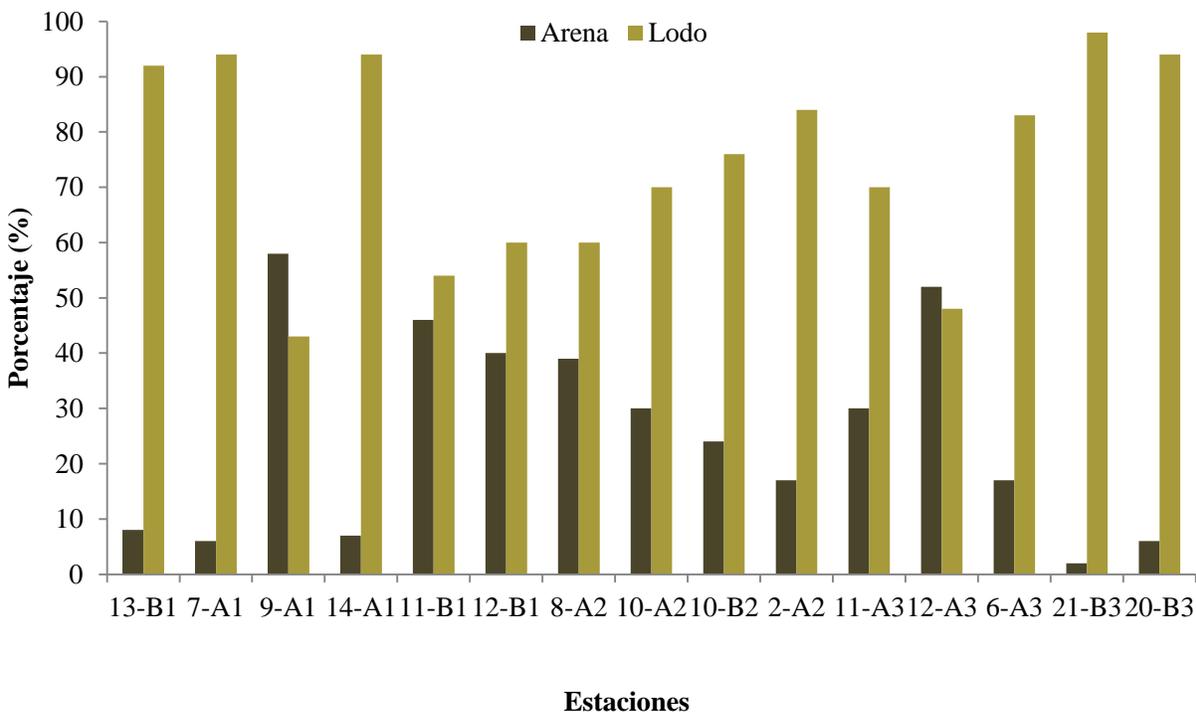


Figura 6. Variación del sedimento con respecto a la profundidad.

Variación espacial de la fauna de poliquetos

Distribución de la densidad y del número de especies

La distribución de la fauna poliquetológica que habita en el mar profundo del sur del Golfo de California fue heterogénea. Cuatro familias agruparon al 51.90% de la abundancia total registrada: Paraonidae (119.04 ind./0.1 m²), Spionidae (95.23 ind./0.1 m²), Lumbrineridae (73.80 ind./0.1m²) y Pilargidae (69.04 ind./0.1 m²). Por el contrario, las familias Magelonidae, Traviisiidae y Poecilochaetidae presentaron claramente las densidades más bajas (2.38 ind./0.1 m², con un individuo cada una); éstas representaron únicamente al 1.03% de la abundancia total (Figura 7).

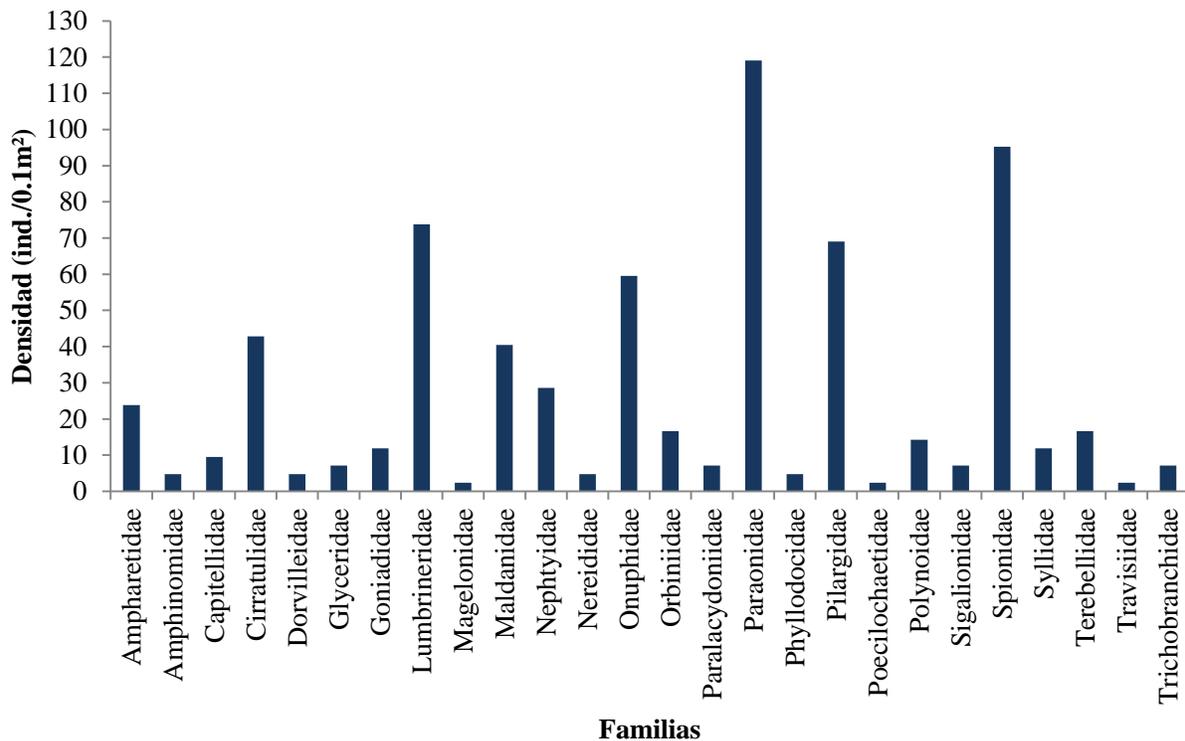


Figura 7. Variación de los valores de densidad (ind./0.1 m²) por familia.

A pesar de que los paraónidos, lumbrinéridos y pilárgidos presentaron densidades elevadas, no fueron de las familias con la riqueza de especies registrada más elevada; estas familias, estuvieron representadas por seis, cinco y tres especies, respectivamente. Por el contrario, las familias con el número mayor de especies fueron Onuphidae (11 especies),

Spionidae y Cirratulidae (ocho especies cada una), que representaron el 34.11% del total de especies.

Ocho familias estuvieron representadas por una sola especie: Glyceridae, Paralacydonidae, Sigalionidae, Dorvilleidae, Phyllodocidae, Magelonidae, Traviisiidae y Poecilochaetidae, las cuales concentraron sólo el 9.41% del total de las especies identificadas. La mitad de las familias registradas (13) presentaron entre dos y cuatro especies (Figura 8).

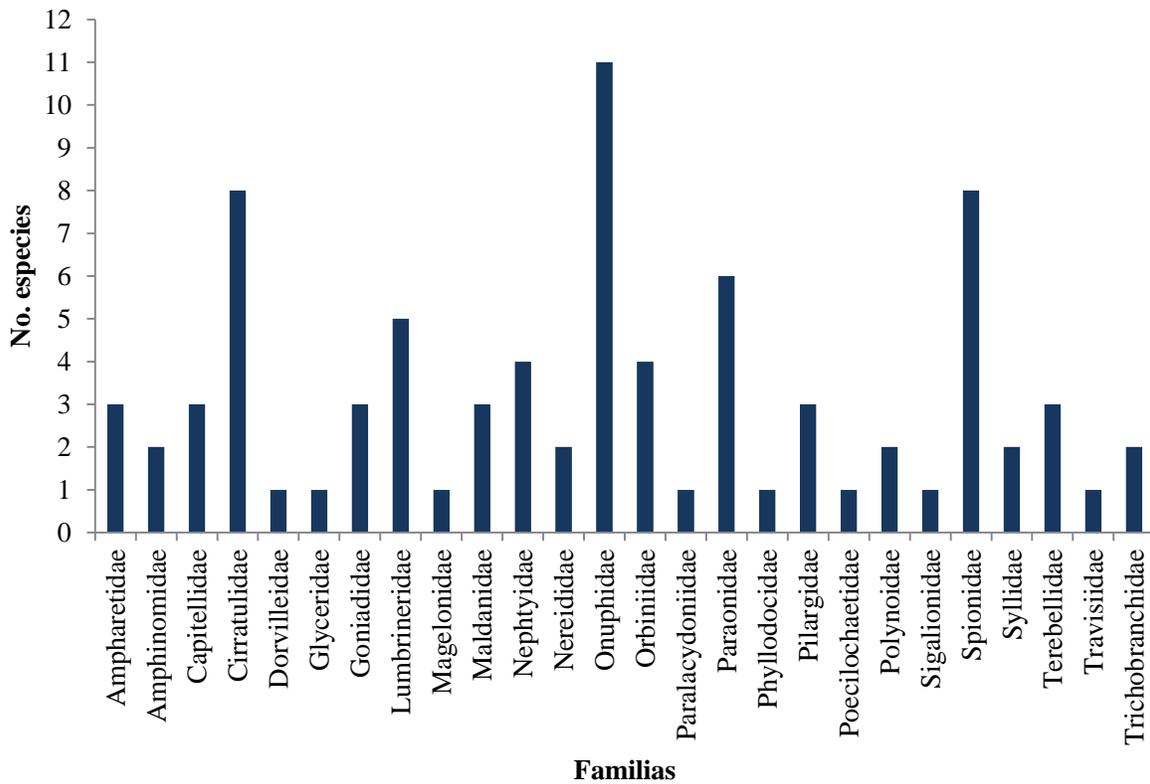


Figura 8. Distribución espacial del número de especies por familia.

La distribución espacial de las familias de poliquetos fue heterogénea en el área de estudio. Las familias Paraonidae, Cirratulidae y Nephtyidae se distribuyeron ampliamente en la zona debido a que estuvieron presentes en más de la mitad de las estaciones (8 a 9 estaciones). Las familias Amphinomidae, Capitellidae, Dorvilleidae, Glyceridae, Magelonidae, Maldanidae, Nereididae, Paralacydonidae, Phyllodocidae, Poecilochaetidae, Sigalionidae, Traviisiidae y Trichobranchidae (la mitad de las familias identificadas) se localizaron sólo en una o dos estaciones de muestreo.

En cuanto a la distribución de la densidad y el número de especies por estación, se observó que las localidades que presentaron el número mayor de individuos, regularmente también registraron un incremento en el número de especies. La excepción a esta tendencia se presentó en la estación 10-B2, donde la densidad fue claramente mayor que en las demás localidades ($123.80 \text{ ind./}0.1 \text{ m}^2$), pero con la presencia de sólo seis especies: *Ninoe jessicae* y *Sigambra setosa* registraron 21 individuos cada una, mientras que las otras cuatro especies estuvieron representadas por 1-7 individuos (Figura 9).

Otra tendencia observada fue que las estaciones con la riqueza de especies y densidades más elevadas también fueron las que se ubicaron en profundidades mayores, 6-A (1604 m) con 19 especies y $78.57 \text{ ind./}0.1 \text{ m}^2$, seguida de la 11-A (1335 m) con 18 especies y $71.42 \text{ ind./}0.1 \text{ m}^2$. Por el contrario, en las estaciones con profundidades intermedias, 8-A y 2-A (651 y 915 m), claramente descendió el número de especies presentes (dos y cuatro especies, respectivamente). Además, la estación 8-A2, también situada en profundidades intermedias, presentó la menor densidad observada durante el estudio ($4.76 \text{ ind./}0.1 \text{ m}^2$). En las estaciones con profundidad menor, la riqueza y la densidad fueron variables, ya que presentaron entre cinco y 13 especies, y entre 19.04 y $73.80 \text{ ind./}0.1 \text{ m}^2$ (Figura 9).

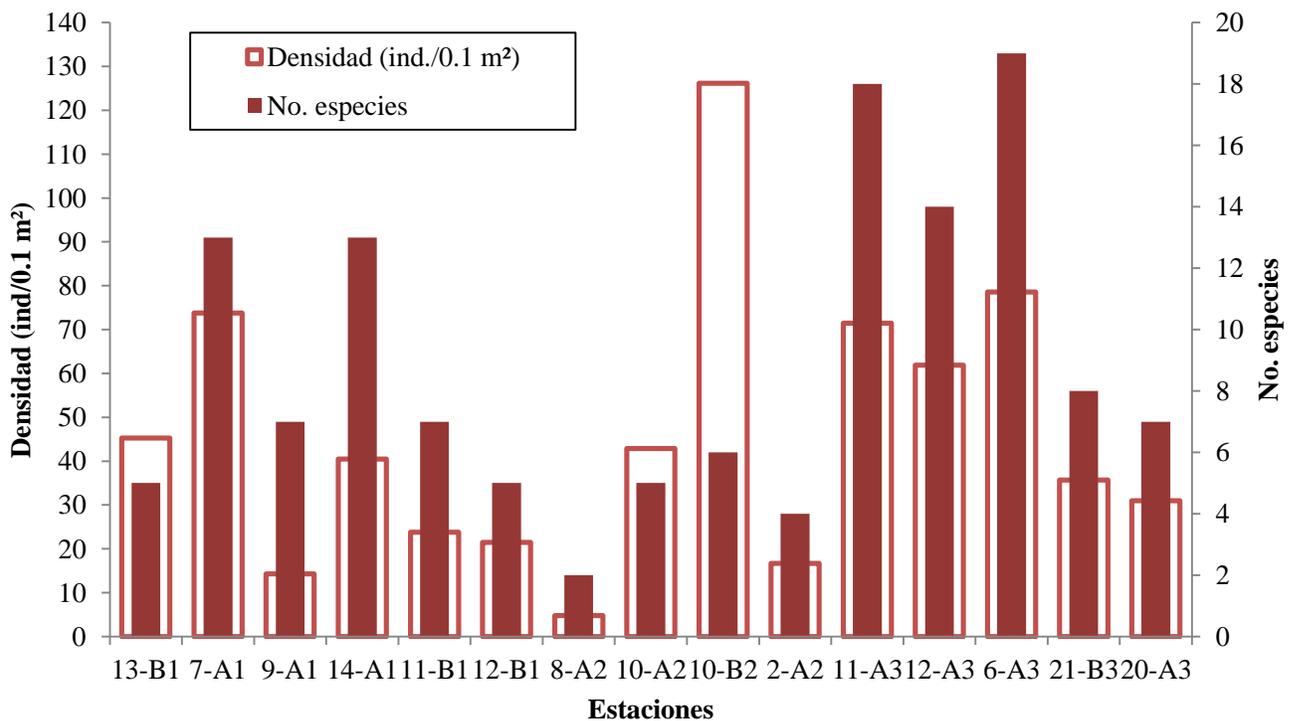


Figura 9. Número de especies y densidad por estación, ordenadas de acuerdo con la profundidad.

Distribución espacial de la diversidad

De acuerdo con los resultados del índice de Shannon (Tabla 6, Figura 10) se confirmó que las estaciones más profundas (nivel 3) registraron la diversidad más elevada ($H' = 2.65-3.79$ bits/ind.), en las estaciones con la profundidad más baja (nivel 1) se presentaron valores intermedios, entre 1.38 y 3.62 bits/ind.; mientras que, la menor diversidad se registró en las estaciones con profundidades intermedias (nivel 2) ($H' = 1-1.9$ bits/ind.). La diversidad más elevada se registró en las estaciones 6-A3 y 11-A3 ($H' = 3.79$ y 3.74 bits/ind.), cuyos valores fueron cercanos a la diversidad máxima ($J' = 0.89$ y 0.91). Por el contrario, la diversidad más baja se registró en la estación 8-A2 ($H' = 1$ bit/ind.) donde, los valores de abundancia y riqueza de poliquetos fueron bajos (dos individuos y dos especies).

En términos generales, la distribución de la abundancia entre las especies en cada una de las localidades fue variable ($J' = 0.59-1.00$). En las estaciones del nivel 1 (238-348 m) se registró el valor mínimo del índice de Pielou, ($J' = 0.59$), en particular, en la estación menos profunda 13-B1 (238 m), donde se recolectaron 18 individuos de cinco especies. Desde luego, este valor fue el resultado de esta abundancia baja, pero también de que el espiónido *Prionospio ehlersi* fue claramente la especie más importante con 13 individuos; las otras cuatro especies registraron únicamente uno o dos individuos cada una (Figura 10).

En el nivel 1 (238-348 m) se registraron valores de equidad cercanos al valor máximo. En la estación 14-A1, a 300 m de profundidad, se obtuvo un valor del índice de Pielou elevado ($J' = 0.97$), asociado con su elevada diversidad ($H' = 3.62$ bits/ind.). Esto fue resultado del elevado número de especies (13) y de que cada una estuvo representada por uno y dos individuos. En las estaciones 11-B1 (314 m) y 9-A1 (262 m) también se registraron valores elevados del índice de Pielou ($J' = 0.94$ y 1 , respectivamente). Estos valores no estuvieron asociados con diversidades elevadas ($H' = 2.64$ bits/ind. en 11-B1 y $H' = 2.80$ bits/ind. en 9-A1), ya que se identificaron 7 especies en cada estación; sin embargo, la mayoría de ellas estuvieron representadas por un individuo, lo que dio como resultado los valores del índice de Pielou elevados.

En las estaciones del nivel 2 (651-915 m) se registraron los valores más bajos del índice de Pielou, particularmente en las estaciones 10-A2 (736 m) y 10-B2 (798 m) ($J' = 0.75$ y 0.71). En la estación 10-A2, se registraron 10 individuos del paraónido *Aricidea* sp. A y las otras cuatro

especies presentaron entre uno y tres individuos; mientras que, en la estación 10-B2 se recolectaron 53 individuos de seis especies, pero la mayor parte de los individuos pertenecieron a dos especies: el lumbrinérico *Ninoe jessicae* y el pilárgido *Sigambra setosa*, ambas con 21 ejemplares. En las estaciones 8-A2 y 2-A2 (651 y 915 m) se obtuvieron valores elevados de equidad ($J' = 1$ y 0.92), a pesar de que presentaron pocas especies (2 y 4) e individuos (2 y 7).

Además de haber encontrado los valores de diversidad más elevados ($H' = 2.65-3.79$ bits/ind.) en las estaciones del nivel 3 (1335-2900 m), también se registraron valores de equidad elevados ($J' = 0.88$ y 0.96), debido a que en estas estaciones se encontró el mayor número de especies (hasta 19 especies).

Tabla 6. Número de especies (S), abundancia (N), índice de Shannon (H' bits/ind.) e índice de equidad de Pielou (J') de las estaciones muestreadas agrupadas por profundidad.

Estación	S	N	$H'(\log_2)$	J'
13-B1	5	18	1.38	0.59
7-A1	13	30	2.91	0.78
9-A1	7	7	2.80	1.00
14-A1	13	16	3.62	0.97
11-B1	7	10	2.64	0.94
12-B1	5	9	2.05	0.88
8-A2	2	2	1.00	1.00
10-A2	5	18	1.94	0.75
10-B2	6	53	1.83	0.71
2-A2	4	7	1.84	0.92
11-A3	17	28	3.74	0.91
12-A3	14	23	3.56	0.93
6-A3	19	33	3.79	0.89
21-B3	8	13	2.65	0.88
20-B3	7	13	2.71	0.96

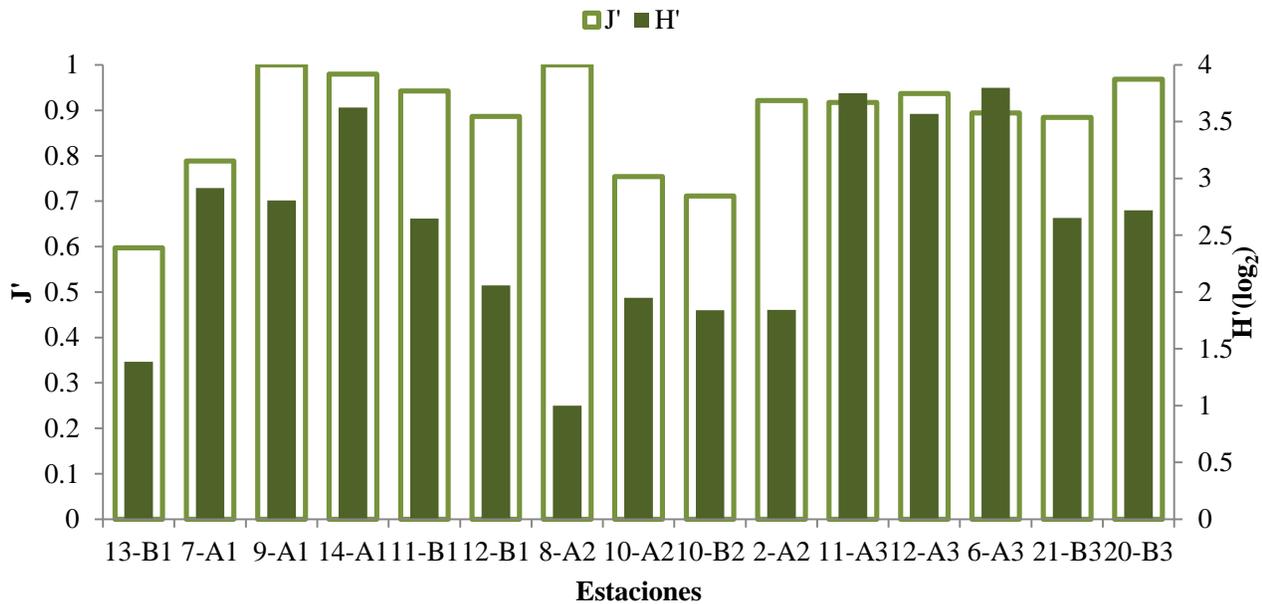


Figura 10. Índices de diversidad de Shannon (H') y de equidad de Pielou (J') en los sitios de muestreo, ordenados de acuerdo con su profundidad.

Agrupamientos y patrones de distribución faunística

En el análisis de escalamiento multidimensional no métrico (nMDS) se observaron tres grupos de estaciones con afinidades faunísticas, los cuales coinciden con los tres niveles batimétricos. Las estaciones correspondientes al primer nivel batimétrico (238-348 m) se ubicaron en la parte superior del gráfico (Figura 11). Las estaciones del tercer nivel batimétrico (1335-2900 m) quedaron situadas en el centro del gráfico, mientras que las correspondientes al segundo nivel (651-915 m) se localizaron en el lado izquierdo de la figura.

Es conveniente aclarar que la estación 8-A2 quedó aislada de los agrupamientos principales debido a que en ella se recolectaron únicamente dos especies con un ejemplar cada una: *Ampharete finmarchica* (Ampharetidae) y *Sigambra* sp. A (Pilargidae), por lo que dicha estación no fue incluida en este análisis. Otra excepción fue la estación 14-A1, la cual no se agrupó con las demás estaciones del primer nivel batimétrico (238-348 m) debido a que 12 de las 13 especies identificadas se encontraron exclusivamente en esta estación. Asimismo, la estación 2-A2 quedó alejada de las estaciones del segundo nivel batimétrico (651-915 m) debido a que

Lumbriclymene sp. (Maldanidae) y *Benthoscolex* sp. A (Amphinomidae) se recolectaron exclusivamente en esta localidad.

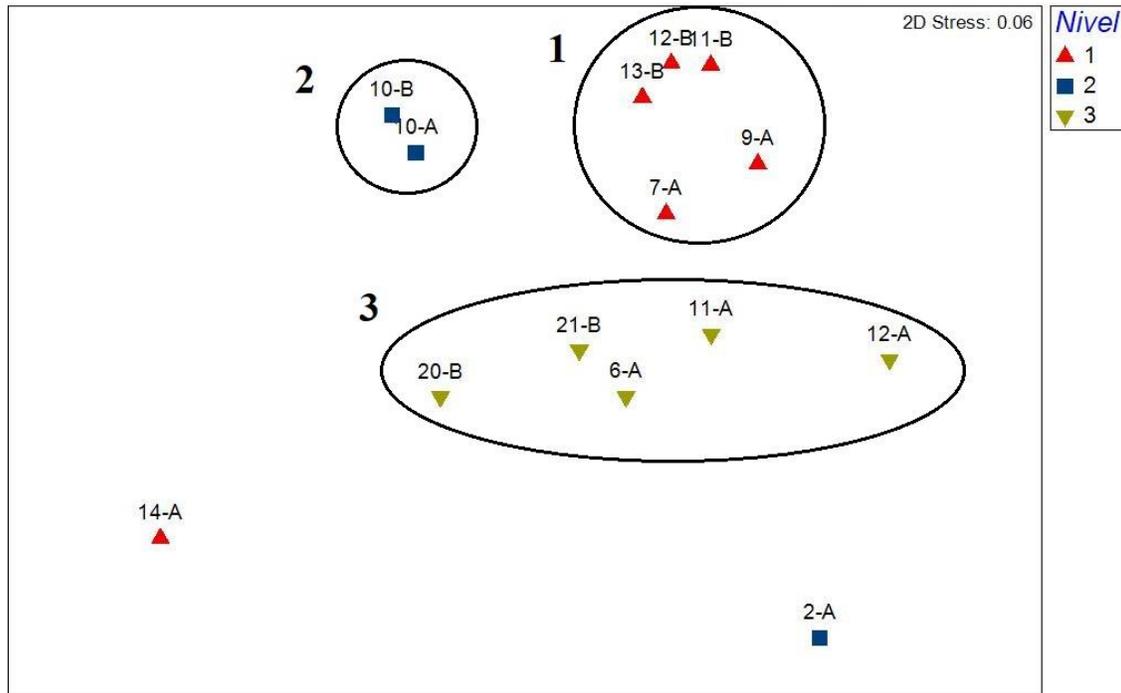


Figura 11. Escalamiento no-métrico multidimensional (nMDS) de las estaciones de acuerdo con su composición faunística y el nivel batimétrico: 1) 238-348 m, 2) 651-915 m, 3) 1335-2900 m.

Con la prueba de ANOSIM se comprobó que los agrupamientos faunísticos que habitan en ambientes profundos del Golfo de California, estuvieron asociados con su distribución en los tres niveles batimétricos ($R_{ANOSIM}=0.71$, $p=0.001$), y que las diferencias entre estos tres agrupamientos son significativas; principalmente entre las estaciones del primer nivel batimétrico y las del tercer nivel ($p= 0.008$) (Tabla 7).

Tabla 7. Resultados del ANOSIM para comprobar la existencia de diferencias entre grupos, de acuerdo con su composición faunística.

Profundidades	R	Significancia
Nivel 1-Nivel 2	1	0.048
Nivel 2-Nivel 3	0.636	0.048
Nivel 1-Nivel 3	0.636	0.008

Los tres agrupamientos faunísticos fueron caracterizados por distintas especies. El conglomerado correspondiente a las estaciones del nivel batimétrico 1 (238-348 m) fue definido por la presencia de *Prionospio elhersi* (38.48%), *Subadyte mexicana* (25.33%), *Syllis alternata* (15.49%) y *Aglaophamus erectans* (11.20%). El grupo faunístico que congregó a las estaciones del nivel 2 (651-915 m) fue caracterizado principalmente por *Aricidea* sp. A y *Ninoe jessicae* (60.44 y 39.56% respectivamente). Por último, la similitud faunística entre las estaciones con mayor profundidad (nivel 3: 1335-2900 m) fue determinada básicamente por *Aglaophamus paucilamellata* (26.16%), *Aricidea (Acmira) simplex* (23.06%), *Ancistrosyllis groenlandica* (11.06%). (Tabla 8).

Tabla 8. Resultados del análisis de porcentajes de similitud (SIMPER) para reconocer a las especies que contribuyeron a la similitud interna de los agrupamientos faunísticos.

(*)Se muestran únicamente las especies que contribuyeron con más del 10% a la similitud interna de los grupos.

Especies	Porcentaje de contribución a la similitud interna del grupo (%)	Porcentaje de contribución acumulado (%)
Nivel 1		
Similitud promedio: 25.81		
<i>Prionospio elhersi</i>	38.48	38.48
<i>Subadyte mexicana</i>	25.33	63.81
<i>Syllis alternata</i>	15.49	79.29
<i>Aglaophamus erectans</i>	11.20	90.49
Nivel 2		
Similitud promedio: 35.69		
<i>Aricidea</i> sp. A	60.44	60.44
<i>Ninoe jessicae</i>	39.56	100
Nivel 3*		
Similitud promedio: 14.80		
<i>Aglaophamus paucilamellata</i>	26.16	26.16
<i>Aricidea (Acmira) simplex</i>	23.06	49.21
<i>Ancistrosyllis groenlandica</i>	11.06	60.28
...

Asimismo, se detectaron diferencias faunísticas entre los grupos: entre el nivel 1 y nivel 2 la disimilitud promedio fue de 94.80%; entre los niveles 2 y 3 fue de 97.00%; y entre los niveles 1 y 3 fue de 93.48%. Con esta información se corroboró los resultados obtenidos mediante el ANOSIM.

Relación entre la fauna y las características ambientales prevalecientes en el sur del Golfo de California

De acuerdo con los resultados obtenidos a partir del análisis BIO-ENV, los valores de correlación entre los factores ambientales y la distribución de la fauna fueron muy bajos ($R < 0.141$) y por tanto, no significativos ($p > 0.50$) (Tabla 9). Esto indicó que los factores ambientales evaluados en este estudio no explicaron las variaciones espaciales en la composición de especies. En principio, y debido al diseño de muestreo, la profundidad determinó la estructura de los agrupamientos faunísticos detectados; sin embargo, por si sola, esta variable no explicó todos los cambios espaciales de la fauna de poliquetos en las aguas profundas de Golfo de California, y al parecer, aunque de manera no significativa, la temperatura y el contenido de arena también podrían ayudar a explicar la distribución de las especies (Tabla 9).

Al relacionar en forma gráfica la estructura faunística generada con el nMDS con los valores de los factores ambientales evaluados (Figura 12), se pudo observar que las estaciones que registraron los valores de temperatura más elevados están ligadas con el agrupamiento faunístico *Prionospio elhersi-Subadyte mexicana-Syllis alternata*, distribuido en las estaciones menos profundas (238-348 m), mientras las estaciones con los valores de temperatura más bajos estuvieron asociadas con el conglomerado faunístico *Aglaophamus paucilamellata-Aricidea (Acmira) simplex-Ancistrosyllis groenlandica*, que se ubicó en las zonas con mayor profundidad (1335-2900 m).

Tabla 9. Resultados del análisis BIO-ENV entre la matriz de las densidades de especies y los parámetros ambientales

Parámetros ambientales	Coefficiente de correlación de Spearman
Temperatura	0.141
Temperatura y sedimento	0.115
Temperatura y salinidad	0.079
Temperatura y oxígeno disuelto	0.052
Temperatura, salinidad y sedimento	0.047
Sedimento	0.043
Temperatura, oxígeno disuelto y sedimento	0.028
Salinidad	0.014
Temperatura, salinidad y oxígeno disuelto	0.003
Temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y sedimento	-0.01

En este mismo sentido, con la superposición de los valores del contenido de arena en la estructura faunística generada por el nMDS se observó una relación entre el porcentaje de arena y la distribución del conglomerado *Prionospio elhersi-Subadyte mexicana-Syllis alternata*, que se ubicó preferentemente en zonas donde el porcentaje de arena es mayor.

A pesar de que el conglomerado localizado en el nivel batimétrico 1 (238-348 m) parece estar asociados con los valores más elevados de salinidad, y la distribución del agrupamiento faunístico localizado en las zonas más profundas (1335-2900 m) con concentración de oxígeno disuelto más elevada, en forma global no hay una relación clara entre estas variables y la presencia de los agrupamientos de poliquetos definidos (Figura 12).

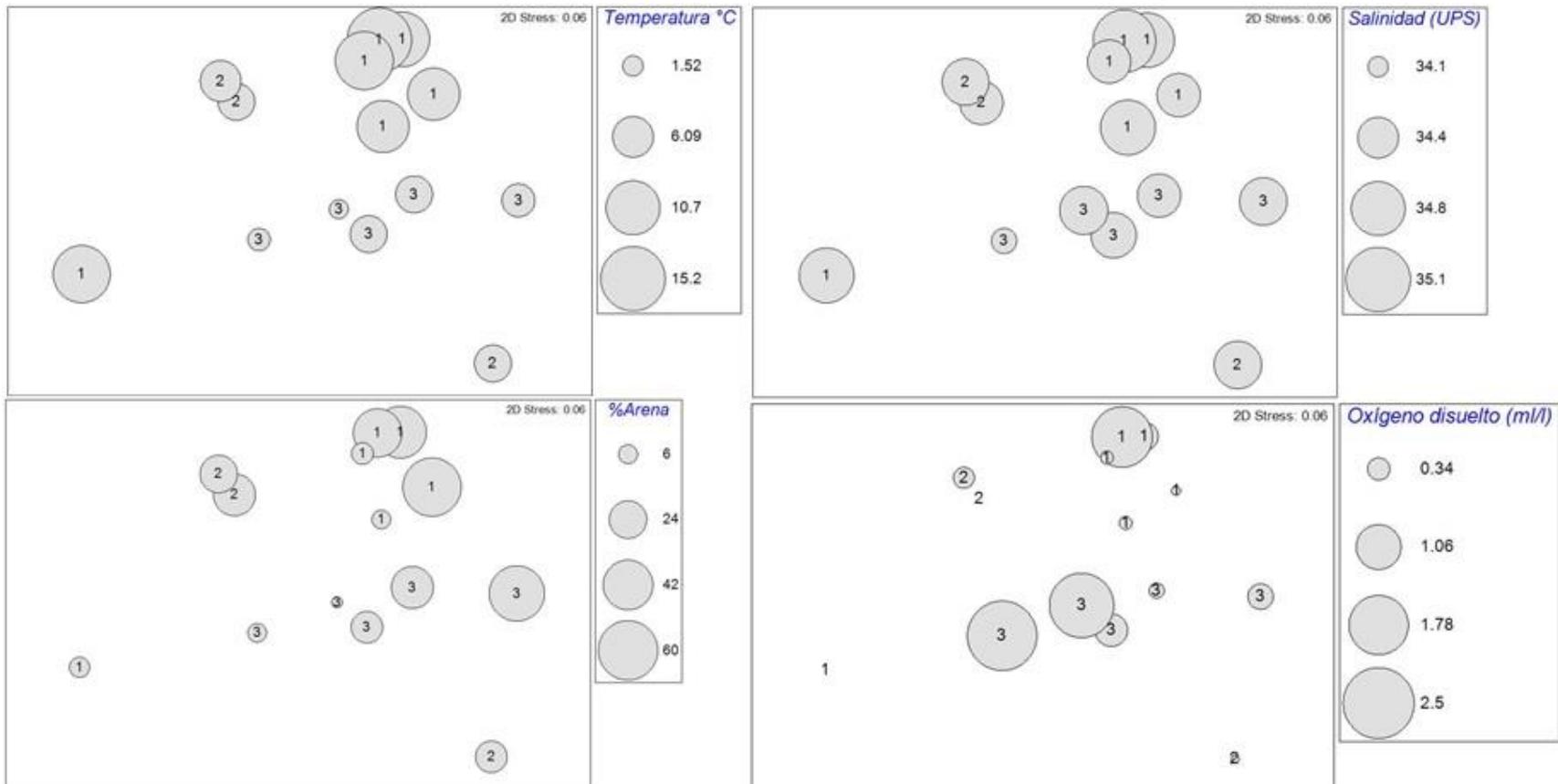


Figura 12. nMDS de las estaciones ordenadas de acuerdo con su composición faunística con círculos superpuestos que representan los diferentes parámetros ambientales analizados. Conforme aumenta el valor del parámetro, el círculo aumenta de tamaño. Las estaciones están representadas únicamente con el nivel de profundidad al que pertenecen: 1) 238-348 m, 2) 651-915 y 3) 1335-2900 m.

Discusión

Variación espacial de los parámetros ambientales

En términos generales, el ambiente de aguas profundas en el sur del Golfo de California es relativamente homogéneo. En principio, las estaciones localizadas en profundidades de 238-348 m (primer nivel batimétrico) se encuentran inmersas en la capa de agua subsuperficial tropical (ASsT) que se distribuyen entre los 150 y 500 m de profundidad. Esta masa de agua se caracteriza por presentar temperaturas entre los 9 y 18 °C y una salinidad entre 34.5 y 35.9 ups (Lavín y Marinone, 2003), intervalos que corresponden con los valores observados en este estudio. De acuerdo con Bray (1988), esta masa de agua es una combinación entre agua proveniente del Océano Pacífico y el agua propia del Golfo de California (AGC), lo que la vuelve una masa de agua con parámetros ambientales más variables que las masas de agua más profundas. En particular, el AGC es una capa superficial (< 150 m) que se caracteriza por presentar salinidades y temperaturas elevadas (≥ 35 ups y ≥ 12 °C), esta masa de agua se considera que es ASsT que fue transformada por evaporación, principalmente en el norte del golfo, fluyendo hacia el sur por la península de Baja California y entonces es reemplazada por la ASsT (Lavín *et al.*, 1997). En la entrada del golfo se ha encontrado que la ASsT se caracteriza por presentar un máximo de salinidad alrededor de los 200 m y velocidades entre 0.3-0.4 m/s durante los meses de abril y mayo (Collins *et al.*, 1997), lo que ocasiona un alto dinamismo en la zona. Esto último explicaría por qué los factores ambientales evaluados en este estudio presentaron una mayor variabilidad en las estaciones con menor profundidad.

Las estaciones correspondientes a este primer nivel batimétrico también registraron bajas concentraciones de oxígeno disuelto (0.09-1.85 ml/L). En el ASsT se puede encontrar una capa pequeña que corresponde con la zona de mínimo oxígeno (ZMO), que de acuerdo con Serrano (2012), es la franja oceánica donde las concentraciones de oxígeno disuelto son menores a 0.5 ml/L. En el Golfo de California se presenta una capa con condiciones anóxicas (alrededor de 0.0 ml/L) desde los 300 m hasta los 700 m (Hendrickx y Serrano, 2010), debido a que el ASsT se forma en el hemisferio sur y mientras fluye lentamente hacia el Pacífico nororiental, la concentración de oxígeno disuelto se reduce por procesos de oxidación (Serrano, 2012).

Por otra parte, las estaciones con profundidades intermedias (500-1200 m) se encuentran inmersas en la capa correspondiente al Agua Intermedia del Pacífico (AIP), donde la temperatura varía entre 4 y 9 °C y la salinidad entre 34.5 y 34.8 ups. En esta masa de agua se ha encontrado un mínimo de salinidad (34.5 ups) alrededor de los 900 m de profundidad (Collins *et al.*, 1997; Lavín *et al.*, 1997; Lavín y Marinone, 2003) que corresponden con las variaciones observadas durante el presente estudio, ya que se observaron salinidades de 34.6 ups alrededor de los 915 m. En particular, se ha observado que existe un intercambio de AIP con la capa de agua ubicada en la parte superior (ASsT), más salina (Lavín *et al.*, 1997), lo que podría explicar por qué en la estación 8-A2 se registró un ligero aumento en la salinidad (34.7 ups), en comparación con el resto de las estaciones con profundidades intermedias.

Las localidades con profundidades intermedias se encuentran inmersas en la ZMO, por ello, presentaron las concentraciones de oxígeno disuelto más bajas del estudio. La circulación de las aguas intermedias en el golfo es relativamente restringida, por lo que su mezcla con las aguas superficiales ricas en oxígeno es reducida; esto causa que las bajas concentraciones de este gas permanezca largo tiempo (Serrano, 2012).

Las estaciones con mayor profundidad, es decir, el tercer nivel batimétrico (más de 1200 m) están inmersas en la capa de Agua Profunda del Pacífico (APP), que se caracteriza porque la temperatura es menor a los 4 °C y hay un incremento en la salinidad a 34.75 ups cerca del fondo (Lavín y Marinone, 2003). Sólo en las estaciones con profundidades cercanas a la frontera con la capa AIP (6-B3 y 10-B3) se detectaron valores de temperatura de alrededor de 5 °C. Aparentemente, en el interior del Golfo de California no hay fluctuaciones evidentes en la distribución de esta masa de agua, lo que junto con su relativo aislamiento de la influencia de las masas de agua superiores, las condiciones ambientales de la APP son muy estables (Lavín *et al.*, 1997). Precisamente, en las estaciones con profundidades más elevadas se registraron las concentraciones de oxígeno disuelto más elevadas. De acuerdo con Weyl (1965), el incremento en las concentraciones de oxígeno en las aguas profundas del Océano Pacífico resulta porque se originan en las aguas de la Antártica ricas en oxígeno.

En particular, en las estaciones con la máxima profundidad (20-B3 y 21-B3, muestreadas en 2013), se registraron más diferencias ambientales con respecto al resto de las localidades. Esto fue debido a que estuvieron ubicadas en la entrada del golfo, donde se han detectado flujos de

entrada de agua principalmente en el centro del Golfo de California durante el invierno y primavera (Mascarenhas *et al.*, 2004); estos flujos son muy variables del lado del continente; mientras que, los flujos de salida fueron observados en el margen peninsular, con velocidades de 0.1 m/s a profundidades de 1400 m. Por lo tanto, en la boca del golfo, se presentan condiciones hidrológicas muy dinámicas, asociadas con la confluencia de masas de agua y la formación de frentes, por lo que los factores ambientales en esa zona son menos estables que dentro del propio golfo (Hernández-Alcántara, 2002). Además, debido a que, en estas dos estaciones el porcentaje de lodos y la concentración de oxígeno disuelto fue mayor que en las estaciones restantes, su comportamiento tuvo gran influencia en la definición de la estructura ambiental generada por el PCA. Estas estaciones aportaron la mayor parte de la varianza para que se diera una ligera diferencia en las condiciones ambientales observadas durante las campañas del 2013 y del 2012.

En cuanto a los patrones de distribución espacial de los sedimentos, los resultados fueron los esperados para los ambientes de mar profundo en el Golfo de California, donde claramente predomina el sedimento fino (Gage y Tyler, 1991). En particular, Méndez (2007) encontró que el porcentaje de lodos en el sureste del golfo se encuentra entre el 80 y 100% entre los 732 y 2110 m de profundidad, resultados que, también fueron registrados en el presente estudio.

Variación espacial de la fauna de poliquetos

Distribución de la densidad y del número de especies

Se han realizado numerosos estudios sobre los poliquetos de mar profundo en el Atlántico norte (Blake, 1994; Blake y Hilbig, 1994; Hilbig, 1994; Cosson *et al.*, 1998; Glover *et al.*, 2001; Pérez-Mendoza *et al.*, 2003), en todos, las familias Spionidae, Paraonidae y Cirratulidae estuvieron entre las familias con el número mayor de especies. Por el contrario, los estudios realizados en el Océano Pacífico no han sido tan numerosos, pero también se ha observado que en el Golfo de Farallones, frente a las costas de San Francisco, Spionidae, Paraonidae, y Cirratulidae también fueron las familias más abundantes y con el mayor número de especies (Hilbig y Blake, 2006). Estos resultados son distintos de los observados en el Golfo de California en el presente estudio, donde los paraónidos estuvieron representados por únicamente seis especies; mientras que, la familia Onuphidae presentó la mayor riqueza específica, 11 especies.

De acuerdo con el trabajo de Hilbig y Blake (2006), las familias Paraonidae, Cirratulidae y Cossuridae fueron muy abundantes en los ambientes de mar profundo del Golfo de Farallones; sin embargo, en el presente estudio, en el sur del Golfo de California las familias Spionidae y Lumbrineridae fueron en las que se registró el mayor número de ejemplares y la familia Cossuridae no fue registrada.

En este mismo sentido, los resultados faunísticos generados por el presente estudio también fueron distintos de los obtenidos por Méndez (2007 y 2012), donde las familias Maldanidae, Ampharetidae y Cirratulidae fueron las familias mejor representadas en el sureste del Golfo de California, con 13, 11 y 9 especies, respectivamente; mientras los onúfidos y espionidos sólo presentaron dos especies cada una. Cabe destacar que en estos trabajos los muestreos se realizaron en ambas temporadas climáticas (invierno-primavera y verano-otoño) y no se hicieron análisis por temporada, por lo que no hay que descartar la posibilidad de que ocurran cambios faunísticos entre temporadas y que éstos sean la causa de las diferencias observadas.

De acuerdo con la recopilación de los poliquetos registrados en ambientes de mar profundo de México realizada por Solís-Weiss *et al.* (2014), las familias Ampharetidae y Polynoidae son las que presentan un mayor número de especies en las aguas profundas del Pacífico mexicano con 29 y 23 especies, respectivamente. Sin embargo, en el sur del Golfo de California no se observó este comportamiento, ya que estas dos familias fueron poco abundantes y sólo estuvieron representadas por tres y dos especies, respectivamente. Asimismo, estos autores mencionan que Paraonidae y Lumbrineridae también se encuentran entre las familias con mayor número de especies en el Pacífico mexicano; sin embargo, en el presente trabajo, aunque fueron familias abundantes, estuvieron representados por pocas especies.

Por otro lado, la familia Spionidae es una de las familias mejor representadas en los sustratos blandos de la plataforma continental del Golfo de California, tanto en términos de abundancia como de número de especies (Hernández-Alcántara *et al.*, 1994; Hernández-Alcántara, 2002 y Hernández-Alcántara *et al.*, 2017), en este estudio se detectó la misma tendencia al ser abundante y diversa. En particular, estos poliquetos se alimentan en la interfase sedimento-agua tomando partículas del sedimento o de la columna de agua con ayuda de sus palpos (Dauer *et al.*, 1981). Pueden adaptarse a dos tipos de alimentación y poder nutrirse de

material de depósito o de suspensión, dependiendo de la disponibilidad de partículas, ya sea en el sedimento o suspendidas en la columna de agua (Taghon *et al.*, 1980). Esta flexibilidad en las estrategias de alimentación y el hecho de que la larva planctónica sea de vida relativamente larga y poder dispersarse con la ayuda de las corrientes a grandes distancias (Blake *et al.*, 1996), podría ser parte de las causas de que la familia se encuentre distribuida en todo el mundo, en particular en el Pacífico mexicano y que también habite a grandes profundidades.

Finalmente, una de las familias con un número elevado de especies en el mar profundo del Pacífico mexicano es Onuphidae, con 19 especies (Solís-Weiss *et al.*, 2014), lo cual fue corroborado en el sur del Golfo de California, por ser la familia que presentó el mayor número de especies (11 especies). Los miembros de esta familia son considerados excavadores omnívoros, por lo que son capaces de adaptarse a consumir el alimento que más abunda en el ambiente en el que se desarrollan (Fauchald y Jumars, 1979). Estas características si bien les permiten establecerse en diferentes ambientes, incluido el mar profundo, al parecer las poblaciones no se desarrollan en forma óptima, dado que los valores de densidad en el sur del Golfo de California fueron relativamente bajos.

Una diferencia sobresaliente entre este trabajo y lo previamente registrado por Méndez (2006, 2007 y 2012) fue el número y la composición de especies, ya que esta autora registró un total de 73 especies distribuidas en 33 familias. Mientras en este estudio se encontró un total de 85 especies distribuidas en 26 familias. Asimismo, de las especies registradas en los trabajos de Méndez (2007 y 2012), sólo siete fueron recolectadas durante los muestreos de este trabajo como se mencionó anteriormente, las familias que presentaron un número mayor de especies en el presente estudio (Onuphidae y Spionidae) están pobremente representadas en el suroeste del golfo (Méndez, 2006, 2007 y 2012). Esto es un claro indicio de la alta heterogeneidad faunística que pueden albergar los ambientes profundos del Golfo de California.

Distribución espacial de la riqueza específica y diversidad

Determinar los patrones de distribución batimétrica de la fauna en aguas profundas ha sido una inquietud constante entre los investigadores de los ambientes marinos. De acuerdo con Rex (1981), en el Atlántico Norte el número de especies de diferentes grupos macrofaunísticos

aumenta con la profundidad hasta alrededor de 2300-2800 m y decrece hacia las profundidades abisales, siendo los poliquetos uno de los grupos con el mayor número de especies. Por su parte, Paterson y Lamshead (1995) registraron un mayor número de especies de poliquetos entre 1400 y 1800 m y un descenso a profundidades mayores también en el Atlántico Norte. En el Océano Pacífico, Hilbig y Blake (2006) encontraron máximos de diversidad de poliquetos alrededor de los 1200 m y un descenso en el número de especies alrededor de los 2600 m.

En el sur del Golfo de California, la distribución de los valores de número de especies y la diversidad en aguas profundas tuvo un descenso en profundidades intermedias (651-915 m). Sin embargo, en este estudio los muestreos fueron menos profundos que los realizados en los trabajos mencionados anteriormente y los valores máximos de diversidad aquí registrados se encuentran en profundidades similares a los registrados en distintos mares del mundo.

En términos generales, la diversidad observada en aguas profundas fue menor que la registrada previamente en la plataforma continental del golfo. En las estaciones del primer nivel batimétrico (238-348 m), la diversidad ($H' = 1.65$ bits/ind. en promedio) presentó valores más bajos que los observados en profundidades inferiores a 200 m, tanto por Hernández-Alcántara (2002) ($H' = 1.5-5.16$ bits/ind., la mayoría alrededor de 3) en todo el golfo, como por Lezcano-Bustamante (1989) en la porción sur del golfo ($H' = 1.22-3.50$ bits/ind., la mayoría superiores a 3).

Cabe destacar que se presentaron valores bajos de diversidad de Shannon y de equidad de Pielou en la estación 13-B1 ($H' = 1.38$ bits/ind., $J' = 0.59$), debido a la presencia de sólo cinco especies y a la elevada abundancia de *Prionospio ehlersi*, que representó al 72% de la abundancia total en esa estación. *P. ehlersi* se distribuye ampliamente en el Pacífico este, sobre todo desde la plataforma externa hasta el talud medio (Blake *et al.*, 1996), lo cual se pudo corroborar en este estudio, donde la distribución de esta especie estuvo restringida hasta los 348 m. De hecho, *P. ehlersi* fue la especie que contribuyó en mayor medida (38.48%), a la similitud interna del grupo de estaciones con las profundidades más bajas (238-348 m); sin embargo, no contó con más de siete individuos en la mayoría de las estaciones, excepto en la ya mencionada 13-B1, situada en la Bahía de la Paz.

Dentro de la Bahía de la Paz, el intercambio de agua ocurre alrededor de los 250 m de profundidad, donde un umbral batimétrico inhibe la incursión del Agua Intermedia del Pacífico y el Agua Profunda del Pacífico, así como la salida del agua profunda local hacia el golfo. Sumado a esto, el Agua Subsuperficial Tropical proveniente del Pacífico contribuye a la formación del giro ciclónico que es característico de la bahía (Molina Cruz *et al.*, 2002). Estas características podrían restringir la dispersión de *P. elhersi* hacia el exterior de la bahía y hacia zonas más profundas dentro del Golfo de California, lo que ocasiona que sus densidades sean más elevadas en esta localidad y que el número de especies sea más bajo que en las estaciones que se encuentran en profundidades similares.

En el talud suroriental del Golfo de California, Méndez (2007, 2012) registró que los valores de diversidad fueron más bajos entre los 732-980 m ($H' = 0-2.7$ bits/ind.), lo cual, también se observó en el presente estudio, donde los valores más bajos de diversidad y equidad se presentaron en las estaciones con profundidades intermedias. Esto se debe principalmente al número bajo de especies recolectadas en estas estaciones (entre dos y seis especies) y al incremento en la abundancia del paraónido *Aricidea* sp. A (17 individuos) y del lumbrinérico *Ninoe jessicae* (24 individuos), que determinaron la similitud faunística entre las estaciones con profundidades de 651-915 m.

En las estaciones más profundas se presentaron los valores de diversidad más elevados, particularmente entre los 1335 y los 2900 m, resultado del elevado número de especies, pero también de una equidad mayor entre los valores de abundancia. Precisamente, Méndez (2007, 2012) también registró valores del índice de Shannon hasta de 4.2 bits/ind. entre los 1075-1980 m, mientras que en profundidades superiores a los 2000 m la diversidad osciló entre 2 y 2.9 bits/ind., tal como se pudo observar en el presente estudio. En particular, el incremento en los valores de diversidad a estas profundidades es incluso similar a los registrados en la plataforma continental del golfo (Hernández-Alcántara, 2002; Lezcano-Bustamante, 1989).

Las especies mejor representadas en las localidades con más profundidad fueron *Aglaophamus paucilamellata* (26.95%), *Ancistrosyllis groenlandica* (11.45%) y el paraónido *Aricidea (Acmira) simplex* (23.88%). De acuerdo con Blake *et al.* (1996), *A. simplex* es uno de los poliquetos más abundantes desde los 100 m hasta profundidades mayores a los 3000 m en diferentes partes del Atlántico y del Pacífico. Sin embargo, en este estudio, esta especie presentó

densidades muy bajas entre 260-736 m. Algo parecido ocurrió con *A. groenlandica*, la cual se encuentra ampliamente distribuida en el Pacífico oriental desde California hasta México, entre profundidades que van desde los 45 m hasta 2950 m (Blake y Hilbig, 1994; Pérez-Mendoza, 2001). Por su parte, *A. paucilamellata* ha sido encontrada entre 220-2478 m (Blake y Hilbig, 1994; Fauchald, 1972), lo que no difiere con los resultados obtenidos en este estudio, donde esta especie se encontró principalmente a partir de los 1335 m, pero con muy pocos representantes en las estaciones más someras. Esto quiere decir que las especies encontradas en las estaciones más profundas no son exclusivas de estas profundidades y que las variaciones ambientales que se pueden presentar en un gradiente batimétrico no son impedimento para que se establezcan a lo largo de éste. Sin embargo, las condiciones a partir de los 1335 m, que resultaron ser las más estables en el área de estudio, les permiten tener un mejor desarrollo ya que las densidades son mucho mayores.

Relación entre la distribución de la fauna y las condiciones ambientales

De acuerdo con los resultados generados por el BIO-ENV, la temperatura fue la variable ambiental que mejor explica la distribución de la fauna (Tabla 9); sin embargo, el valor de correlación fue muy bajo ($R=0.141$) y no significativo ($p > 0.50$). Salcedo-Oropeza (2013) realizó un estudio con los poliquetos del clado Aciculata de la plataforma continental del Golfo de California durante la temporada invierno-primavera, esta autora encontró también que la profundidad, la salinidad, la materia orgánica y el porcentaje de arena no explican suficientemente la distribución espacial de las especies.

A pesar de lo anterior, la profundidad, por su parte, fue seleccionada por el PCA como la variable que mejor explicó la estructura ambiental del área de estudio. Se observó que los valores de diversidad cambian con la profundidad siendo menores en profundidades intermedias e incrementándose en las estaciones más profundas. En el nMDS se observó que las variaciones en la composición de la fauna se puede asociar con el nivel batimétrico en que se establecen las especies. Sin embargo, la profundidad por sí sola no podría explicar la distribución de los poliquetos, porque suele estar relacionada con otros factores como la temperatura, nutrientes, salinidad e intensidad de corrientes, entre otros (Hernández-Alcántara y Solís-Weiss, 2005;

2011), por lo que es necesario evaluar un mayor número de variables en estudios de ambientes de aguas profundas para explicar los patrones de distribución batimétricos de la fauna.

La temperatura, presentó una correlación inversa con la batimetría, al disminuir conforme aumenta la profundidad, por lo que se esperaría que este factor también influyera sobre la ocurrencia de las especies. Se encontró que en las estaciones donde la fauna es similar, la temperatura varió muy poco, mientras que entre las estaciones donde los valores de temperatura fueron muy diferentes, la fauna también cambia. A pesar de esto, la relación entre la diversidad y la temperatura no fue significativa. En las estaciones del nivel 1 (238-348 m), donde la diversidad se incrementó, se registraron los valores de temperaturas más elevados, pero en las localidades ubicadas en el nivel 3 (1335-2900 m), donde se registraron los valores más elevados de diversidad, se presentaron las temperaturas más bajas. Un comportamiento heterogéneo, contrastante con lo observado por Méndez (2007), quien encontró que la densidad, riqueza y diversidad fueron más elevadas en las zonas donde la temperatura disminuyó (2.5-4 °C).

A pesar de que la salinidad es de los factores ambientales más relevantes en la distribución de las comunidades macrofaunísticas, incluso en el mar profundo (Laine, 2003), los valores de este factor variaron muy poco entre los sitios de muestreo, por lo que no se detectó alguna relación con la distribución espacial de la fauna.

Hendrickx (2001) registró un mayor número de crustáceos en el talud del sureste del Golfo de California, entre los 1000-1380 m, donde las condiciones son casi anóxicas (<0.5 ml/L), que en profundidades más someras donde las concentraciones de oxígeno son superiores (1.46-2.44 ml/L). Méndez (2007) encontró que entre los 700-1100 m las concentraciones de oxígeno disuelto son bajas (0.28 ml/L), pero al contrario de lo esperado, la densidad de los poliquetos fue alta; mientras que, entre los 1900-2200 m se presentaron las mayores concentraciones de oxígeno disuelto (1.92-1.98 ml/L), pero también las densidades más bajas. Por tanto, no encontró una relación con el oxígeno disuelto que permitiera asociar sus variaciones con los cambios en la riqueza y diversidad de los poliquetos. En el presente estudio, la relación oxígeno-fauna no fue significativa, aunque, su distribución fue distinta de la observada previamente por Hendrickx (2001) y Méndez (2007). En principio, se observó que la mayor diversidad se registró alrededor de los 1335-1604 m, precisamente donde las concentraciones de oxígeno disuelto fueron bajas (0.21-0.61 ml/L). Sin embargo, en las

estaciones con profundidades intermedias, donde se registraron los valores de oxígeno disuelto más bajos, la diversidad también disminuyó. Este comportamiento era de esperarse ya que la zona de mínimo oxígeno se caracteriza por la ausencia casi total de macrofauna (Lluch *et al.*, 2007; Serrano, 2012), y sólo se establecen especies que toleran estas condiciones hipóxicas, con estructuras especializadas para captar bajos niveles de oxígeno, como puede ser la presencia de branquias largas y/o con varios filamentos (Levin, 2003). Este es el caso de las especies mejor representadas en estas profundidades, como *Ninoe jessicae*, que se caracteriza por presentar branquias con hasta 12 filamentos, y el paraónido *Aricidea* sp. A, que cuenta con branquias desarrolladas, más largas que el ancho del cuerpo.

En general, en el presente estudio se corroboró que las bajas concentraciones de oxígeno disuelto en algunas regiones del mar profundo no son un impedimento para el establecimiento de una relativamente elevada densidad y diversidad de poliquetos, debido a la tolerancia que tiene este grupo de invertebrados a condiciones de hipoxia (Méndez, 2007).

La composición del sedimento está fuertemente relacionada con la presencia y distribución de los organismos en el bentos porque representa una fuente de alimento y hábitat para ellos (Sanders y Hessler, 1969; Etter y Grassle, 1992). La composición sedimentaria es afectada por factores abióticos, como la perturbación provocada por las corrientes al remover el sedimento, pero también por el comportamiento de la propia fauna, como la perturbación provocada por los organismos al remover el sedimento mientras se alimentan (Snelgrove, 1999; Lohrer *et al.*, 2004). En el caso de los poliquetos, se ha demostrado que este factor junto con la profundidad, suele ser el que mayor influencia tiene en la distribución de los organismos (Mackie *et al.*, 1997; Hernández-Alcántara y Solís-Weiss, 2005; Salcedo-Oropeza, 2013, Hernández-Alcántara, 2002).

Sin embargo, en las aguas profundas los resultados obtenidos en el PCA, mostraron que el tamaño de grano del sedimento resultó ser poco relevante para determinar la estructura ambiental entre los sitios de muestreo, no se encontró un efecto significativo sobre los cambios en la composición faunística. En las estaciones que presentaron el mayor contenido de arena (menor profundidad) se destacó la presencia de *Prionospio ehlersi*, *Subadyte mexicana* y *Aglaophamus erectans*. Estas especies han sido ampliamente registradas desde la plataforma continental hasta profundidades del talud superior, en sedimentos mezclados (Aguirrezabalaga y

Ceberio, 2005; Blake *et al.*, 1995). En la plataforma continental del golfo, donde el porcentaje de arena es mayor, la densidad y el número de especies de poliquetos disminuye; sin embargo, en ambientes de aguas profundas, tanto en el presente estudio como en el de Méndez (2007), no se observó esta relación, debido a que la textura del sedimento fue relativamente homogénea, predominando los substratos lodosos.

Con esto queda claro que, como se mencionó anteriormente, la profundidad por sí sola no es suficiente para explicar patrones de distribución de la diversidad y densidad de los poliquetos en las aguas profundas el golfo. En este caso, la profundidad y la temperatura podrían ser las variables que mejor ayuden a explicar la distribución de la fauna; sin embargo, la correlación entre estas variables y la distribución de la fauna no fue significativa. Esto indica que otros factores que no fueron considerados en este estudio, como la disponibilidad de alimento, que suele ser un factor limitante en los ambientes de mar profundo (Gage y Tyler, 1991) y/o las interacciones biológicas como la competencia y la depredación (Rex, 1981), podrían tener un efecto importante sobre la presencia de los poliquetos en el mar profundo.

De acuerdo con Sanders (1968) la estructura de una comunidad es determinada por componentes físicos y biológicos, pero la proporción en la que ambas partes actúan es lo que determina dicha estructura. Es decir, donde el ambiente presenta amplias variaciones son los componentes físicos los que principalmente controlan la comunidad, porque las adaptaciones que presenta la fauna son principalmente al ambiente; mientras que, las interacciones biológicas son menos intensas. Por otro lado, en ambientes más estables las interacciones biológicas toman mayor importancia debido a que un mayor número de especies intervienen en el funcionamiento de la comunidad (Menge y Sutherland, 1976). Esto origina que interacciones biológicas como competencia o depredación puedan determinar en mayor medida la estructura faunística.

Conclusiones

En el mar profundo del sur del Golfo de California se recolectaron 289 ejemplares de 84 especies distintas de poliquetos, lo que es un reflejo de la riqueza específica que tiene el grupo en estos ambientes.

Las condiciones ambientales presentaron variaciones batimétricas que coinciden con lo previamente registrado en el área, donde la profundidad fue el factor que determinó la estructura ambiental.

La salinidad y la composición de los sedimentos fueron los factores que menos variaciones batimétricas registraron. Por su parte, la concentración de oxígeno disuelto fue más elevada en las zonas más profundas y más baja en profundidades intermedias; mientras se observó una disminución de la temperatura conforme aumentó la profundidad.

La fauna encontrada en este estudio es característica de ambientes de sedimentos blandos, pero difiere de la composición faunística, en términos de diversidad a nivel de familia, registrada previamente en las aguas profundas del Pacífico mexicano y en la entrada del golfo, lo que representa un indicio de la heterogeneidad que existe en la región.

La distribución de la diversidad presentó variaciones asociadas con la batimetría al presentarse la diversidad más baja en las profundidades intermedias y un aumento en las zonas más profundas. Esto es un comportamiento similar al observado en otros mares del mundo donde se han realizado estudios en profundidades semejantes.

Existieron algunas especies con una amplia distribución batimétrica como: *Aricidea (Acmira) simplex*, *Ancistrosyllis groenlandica* y *Aglaophamus paucilamellata*. Sin embargo, las condiciones ambientales a partir de los 1335 m les permiten tener un mejor desarrollo, ya que presentaron densidades más elevadas en estas profundidades.

A pesar de que la profundidad determinó la distribución de los agrupamientos faunísticos en aguas profundas del Golfo de California, en términos generales, con las variables ambientales aquí analizadas no se pudo explicar significativamente los patrones de distribución de la fauna.

Literatura citada

- Aguirrezabalaga, F., Ceberio, A. (2005). Spionidae (Annelida: Polychateta) from the Capbreton Canyon (Bay of Biscay, NE Atlantic) with descriptions of a new genus and three new species. Published collaboration with the University of Bergen and the Institute of Marine Research, Norway, and the Marine Biological Laboratory, University of Copenhagen, Denmark. *Marine Biology Research*, 1(4): 267-280.
- Blake, J.A. (1985). Polychaeta from the vicinity of deep-sea geothermal vents in the Eastern Pacific I: Euphrosinidae, Phyllodocidae, Hesionidae, Nereididae, Glyceridae, Dorvilleidae, Orbiniidae, and Maldanidae. *Bulletin of the Biological Society of Washington*, 6: 67-101.
- Blake, J.A. (1994). Benthic community structure on the U.S. South Atlantic slope off the Carolinas: Spatial heterogeneity in a current-dominated system. *Deep-Sea Research II*, 41(4-6): 835-874.
- Blake, J.A., Hilbig, B. (1990). Polychaeta from the vicinity of deep-sea geothermal 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.
- Blake, J.A., Hilbig, B. (1994). Dense infaunal assemblages on the continental slope off Cape Hatteras, North Carolina. *Deep-Sea Research II*. 41(4-6):875-899.
- Blake, J.A., Hilbig, B. (1994). *Taxonomic Atlas of the Santa Maria Basin and Western Santa Barbara Channel. Vol. 4. Annelida Part 1. Oligochaeta and Polychaeta (Phyllodocidae to Paralacydoniidae)*. Santa Barbara Museum of Natural History. 369 pp.
- Blake, J.A., Hilbig, B., Scott, P.H. (1995). *Taxonomic Atlas of the Santa Maria Basin and Western Santa Barbara Channel. Vol. 5. Annelida Part 2. Polychaeta (Phyllodocida, Amphinomida and Eunicida)*. Santa Barbara Museum of Natural History. 378 pp.
- Blake, J.A., Hilbig, B., Scott, P.H. (1996). *Taxonomic Atlas of the Santa Maria Basin and Western Santa Barbara Channel. Vol. 6. Annelida Part 3. Polychaeta (Orbiniidae to Cossuridae)*. Santa Barbara Museum of Natural History. 418 pp.

- Blake, J.A., Hilbig, B., Scott, P.H. (2000). *Taxonomic Atlas of the Santa Maria Basin and Western Santa Barbara Channel. Vol. 7. Annelida Part 4. Polychaeta (Flabelligeridae to Ampharetidae)*. Santa Barbara Museum of Natural History. 348 pp.
- Bray, J.R., Curtis, J.T. (1957). An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecology Monograph*, 27: 325-349.
- Bray, N.A. (1988). Thermohaline circulation in the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research*, 93(C5): 4993-5020.
- Brusca, R.C., Hendrickx, M.E. (2010). Chapter 4. Invertebrate biodiversity and conservation in the Gulf of California. In: Brusca, R.C. (Ed.) *The Gulf of California Biodiversity and Conservation*. University of Arizona Press, Tucson and The Arizona-Sonoara Desert Museum. (pp. 72-95).
- Brusca, R.C., Moore, W., Shuster, S.M. (2016). *Invertebrates*. Tercera edición. Sinauer Associates, Inc. U.S.A. 1104 pp.
- Carabias, J., Meave, J.A., Valverde, T., Cano-Santana, Z. (2009). *Ecología y medio ambiente en el siglo XXI*. Pearson Educación, México. 264 pp.
- Castro, R., Mascarenhas, A.S., Durazo, R., Collins, C.A. (2000). Variación estacional de la temperatura y salinidad en la entrada del Golfo de California, México. *Ciencias Marinas*, 26(4): 561-583.
- Chamberlin, R.V. (1919a). The Annelida Polychaeta: *Memories of the Museum of Comparative Zoology Harvard*, 48: 1-514.
- Clarke, K.R., Ainsworth, M. (1993). A method of linking multivariate community structure to environmental variables. *Marine Ecology Progress Series*, 92: 205-219.
- Clarke, K.R., Green, R.H. (1988). Statistical design and analysis for 'biological effects' study. *Marine Ecology Progress Series*, 46: 213-226.
- Clarke, K.R., Warwick, R.M. (2001). *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*. 2nd edition. PRIMER-E: Plymouth, 173 pp.

- Collins, C.A., Garfield, N., Mascarenhas, A.S., Jr., Spearman, M.G., Rago, T.A. (1997). Ocean currents across the entrance to the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research*, 102(C9): 20927-20936.
- Cosson-Sarradin, N., Sibuet, M., Paterson, G.L.J., Vangriesheim, A. (1998). Polychaete diversity at tropical Atlantic deep-sea sites: environmental effects. *Marine Ecology Progress Series*, 165: 173-185.
- Dauer M.D., Maybury, C.A., Ewing, R.M. (1981). Feeding behavior and general ecology of several spionid polychaetes from the Chesapeake Bay. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 54(1): 21-38.
- De León-González, J.A., Bastida-Zavala, J.R., Carrera-Parra, L.F., García-Garza, M.E., Peña-Rivera, A., Salazar-Vallejo, S.I., Solís-Weiss, V. (2009). *Poliquetos (Annelida: Polychaeta) de México y América Tropical*. Universidad Nacional Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México. 737 pp.
- Díaz-Castañeda, V., Harris, L.H. (2004). Biodiversity and structure of the polychaete fauna from soft bottoms of Bahía Todos los Santos, Baja California, Mexico. *Deep-Sea Research II*, 51: 827-847.
- Etter, R.J., Grassle, F. (1992). Patterns in species diversity in the deep sea as function of sediment particle size diversity. *Nature*, 360: 576-578.
- Fauchald, K. (1968). *Onuphidae (Polychaeta) from Western Mexico*: Allan Hancock Monographs in Marine Biology, 3: 1-82.
- Fauchald, K. (1970). *Polychaetous annelids of the families Eunicidae, Lumbrineridae, Iphtimidae, Arabellidae, Lysaretidae and Dorvilleidae from Western Mexico*: Allan Hancock Monograph in Marine Biology, 5: 1-335.
- Fauchald, K. (1972). *Benthic polychaetous annelids from deep water off Western Mexico and adjacent areas in the eastern Pacific Ocean*: Allan Hancock Monographs in Marine Biology, 7: 1-575.

- Fauchald, K., Jumars, P.A. (1979). The diet of worms: A study of polychaete feeding guilds. *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, 17: 193-284.
- Gage, J.D., Tyler, P.A. (1991). *Deep-sea Biology. A natural history of organisms at the deep-sea floor*. Cambridge University Press. 504 pp.
- Gage, J.D., Lamont, P.A., Tyler, P.A. (1995). Deep-sea microbenthic communities at contrasting sites off Portugal, preliminary results: Introduction and diversity comparisons. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie*, 80(2): 235-250.
- Gaston, G.R. (1984). Chapter 2. Family Paraonidae Cerruti, 1909. In: Uebelacker, J.M., Johnson, P.G. (Eds.) *Taxonomic guide to the polychaetes of northern Gulf of Mexico. Vol. 1*. Barry A. Vittor & Associates (pp. 1-53).
- Glover, A., Paterson, G., Bett, B., Gage, J., Sibuet, M., Shearer, M., Hawkins, L. (2001). Patterns in polychaete abundance and diversity from the Madeira Abyssal Plain, northeast Atlantic. *Deep-Sea Research I*, 48: 217-236.
- Gotelli, N.J., Chao, A. (2013). Measuring and estimating species richness, species diversity and biotic similarity from sampling data. In: Levin, S.A. (Ed.) *Encyclopedia of diversity, second edition. Vol 5*. (pp. 195-211). Waltham, MA: Academic Press.
- Gray, J.S. (2000). The measurement of marine species diversity, with an application to the benthic fauna of Norwegian continental shelf. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 250: 23-49.
- Hartman, O. (1960). Systematic account of some marine invertebrate animals from the deep basins off southern California. *Allan Hancock Pacific Expeditions*, 22: 69-215.
- Hartman, O. (1963). Submarine canyons of southern California Polychaetous annelids. *Allan Hancock Pacific Expeditions*, 27: 1-93.
- Hendrickx, M.E. (2001). Occurrence of a continental slope decapods crustacean community along the edge of the minimum oxygen zone in the south eastern Gulf of California, Mexico. *Belgian Journal of Zoology*, 131(Supl. 2): 95-109.

- Hendrickx, M.E., Serrano, D. (2010). Impacto de la zona de mínimo oxígeno sobre los corredores pesqueros en el Pacífico mexicano. *Interciencia*, 35(1): 12-18.
- Hernández-Alcántara, P., González-Ortiz, L., Solís-Weiss, V. (1994). Los espionidos (Polychaeta: Spionidae) del Golfo de California y Golfo de Tehuantepec, México. *Revista de Biología Tropical*, 42(3): 567-577.
- Hernández-Alcántara, P. (2002). *Composición y estructura de las comunidades de poliquetos (Annelida: Polychaeta) bénticos de la plataforma continental del Golfo de California* (Tesis doctoral). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Hernández-Alcántara, P., Frontana-Uribe, S.C., Solís-Weiss, V. (2003). Commented checklist of the polychaetes (Annelida: Polychaeta) from areas adjacent to islands of the Mexican Pacific and Gulf of California: *Southern California Academy of Science*, 102(1): 1-16.
- Hernández-Alcántara P., Solís-Weiss, V. (2005). Seasonal variations of the Spionida (Palpata: Canalipalpata) in the sublittoral zone of the Gulf of California. *Marine Ecology*, 26: 273-285.
- Hernández-Alcántara, P., Solís-Weiss, V. (2011). Distribution of the polychaete assemblages on the continental shelf of the Northern Gulf of California, Eastern Pacific. *Italian Journal of Zoology*, 78(S1): 280-289.
- Hernández-Alcántara, P., Cuéllar-Mercado, D.M., Barbosa-López, A., Solís-Weiss, V. (2017). Spatial patterns of species richness and taxonomic composition of polychaetes along the Baja California Peninsula, Eastern Pacific. *Journal of Marine Biological Association of the United Kingdom*, 97(5): 1037-1049.
- Hilbig, B. (1994). Faunistic and zoogeographical characterization of the benthic infauna on the Carolina continental slope. *Deep-Sea Research II*, 4(6): 929-950.
- Hilbig, B., Blake, J.A. (2006). Deep-sea polychaete communities in the northeast Pacific Ocean off the Gulf of Farallones, California. *Bulletin of Marine Science*, 78(2): 243-269.

- Hutchings, P. (1998). Biodiversity and functioning of polychaetes in benthic sediments. *Biodiversity and Conservation* 7: 1133-1145.
- Laine, A.O. (2003). Distribution of soft-bottom macrofauna in the deep open Baltic Sea in relation to environmental variability. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 57: 87-97.
- Lalli, C.M., Parsons, T.R. (1997). *Biological oceanography: an introduction*. Second edition. The Open University. 314 pp.
- Lavín, M.F., Beiber, E., Badan, A. (1997). Capítulo 7. Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: escalas estacional e interanual. In: Lavín, M.F. (Ed.) *Contribuciones a la Oceanografía Física en México*, Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana. (pp. 141-171).
- Lavín, M.F., Marinone, S.G. (2003). An overview of the physical oceanography of the Gulf of California. in Velasco-Fuentes, O.U., Sheinbaum, J., Ochoa, J. (Eds.) *Nonlinear processes in geophysical fluid dynamics*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. (pp. 173-204).
- Legendre, P., Legendre, L. (1998). *Numerical ecology: Second edition English edition*. Developments in environmental modeling, 20. 853 pp.
- Levin, L. (2003). Oxygen minimum zone benthos: Adaptation and community response to hipoxia. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*, 41: 1-35.
- Lezcano-Bustamante, B.E. (1989). *Estudio prospectivo de la distribución, diversidad y abundancia de las poblaciones de anélidos poliquetos en la porción sur del Golfo de California* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Lluch-Cota, S.E., Aragón-Noriega, E.A., Arreguín-Sánchez, F., Auriol-Gamboa, D., Bautista-Romero, J.J., Brusca, R.C., Cervantes-Duarte, R., Cortés-Altamirano, R., Del-Monte-Luna, P., Esquivel-Herrera, A., Fernández, G., Hendrickx, M.E., Hernández-Vázquez, S., Herrera-Cervantes, H., Kahru, M., Lavín, M., Lluch-Belda, D., Lluch-Cota, D., López-Martínez, J., Marinone, S.G., Nevárez-Martínez, M.O., Ortega-García, S., Palacios-Castro, E., Parés-Sierra, A., Ponce-Díaz, G., Ramírez-Rodríguez, M., Salinas-Zavala, C.A.,

- Schwartzlose, R.A., Sierra-Beltrán, A.P. (2007). The Gulf of California: Review of ecosystem status and sustainability challenges. *Progress in Oceanography*, 73: 1-26
- Lohrer, A.M., Thrush, S.F., Gibbs, M.M. (2004). Bioturbators enhance ecosystem function through complex biogeochemical interactions. *Nature*, 431: 1092-1095.
- Mackie, A.S.Y., Parmiter, C., Tong, L.K.Y. (1997). Distribution and diversity of Polychaeta in the southern Irish Sea. *Bulletin of Marine Science*, 60(2): 467-481.
- Makarov, V., Jiménez-Illescas, A. (2003). Corrientes básicas barotrópicas en el Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 29(2): 141-153.
- Maluf, L.Y. (1983). Physical oceanography. In: Case, T.J., Cody, M.L. (Eds.) *Island oceanography in the Sea of Cortez*. University of California Press. (26-45 pp).
- Margalef, R. (1974). *Ecología*. Ediciones Omega. Barcelona. 237 pp.
- Mascarenhas, A.S., Jr., Castro, R., Collins, C.A., Durazo, R. (2004). Seasonal variation of geostrophic velocity and heat flux at the entrance to the Gulf of California, Mexico. *Journal of Geophysical Research*, 109: 1-9.
- Méndez, N. (2006). Deep-water polychaetes (Annelida) from the southeastern Gulf of California, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 54(3): 773-785.
- Méndez, N. (2007). Relationships between deep-water polychaete fauna and environmental factors in the southeastern Gulf of California, Mexico. *Scientia Marina*, 71(3): 605-622.
- Méndez, N. (2012). Poliquetos (Annelida, Polychaeta) del talud continental suroriental del Golfo de California y su relación con algunas variables ambientales. In: Zamorano, P., Hendrickx, M.E., Caso, M. (Eds.) *Biodiversidad y comunidades del talud continental del Pacífico Mexicano*. Instituto Nacional de Ecología. (pp 225-242). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

- Méndez, N. (2013). Trophic categories of soft-bottoms epibenthic deep-sea polychaetes from the southeastern Gulf of California (Mexico) in relation with environmental variables. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 8(4): 299-311.
- Menge, B.A., Sutherland, J.P. (1976). Species diversity gradients: Synthesis of the roles of predation, competition, and temporal heterogeneity. *The American Naturalist*, 110(973): 351-369.
- Mercado-Santiago, A.J., Hernández-Alcántara, P., Solís-Weiss, V. (2016). Distribución espacial de los poliquetos (Annelida) de aguas profundas del sur del Golfo de California (resumen). *Memorias del XIX Congreso Nacional de Oceanografía*, Ciudad de México. 214-219.
- Miller, C.B. (2004). *Biological Oceanography*. John Wiley & Sons. 402 pp.
- Molina-Cruz, A., Pérez-Cruz, L., Monreal-Gómez, A. (2002). Laminated sediments in the Bay of La Paz, Gulf of California: a depositional cycle regulated by pluvial flux. *Sedimentology*, 49: 1401-1410.
- Morris, E.K., Caruso, T., Buscot, F., Fischer, M., Hancock, C., Maier, T.S., Meiners, T., Müller, C., Obermaier, E., Prati, D., Socher, S.A., Sonnemann, I., Wäschke, N., Wubet, T., Wurst, S., Rilling, M.C. (2014). Choosing and using diversity indices: insights for ecological applications from the German Biodiversity Exploratories. *Ecology and Evolution*, 4(18): 3514-3524.
- Paterson, G.L.J., Lambshead, P.J.D. (1995). Bathymetric patterns of polychaete diversity in the Rockall Trough, northeast Atlantic. *Deep-Sea I*, 42(7): 1199-1214.
- Pérez-Mendoza, A.Y. (2001). *Los poliquetos bénticos (Annelida: Polychaeta) de aguas profundas en México. Taxonomía y distribución geográfica*. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, México.
- Pérez-Mendoza, A.Y., Hernández-Alcántara, P., Solís-Weiss, V. (2003). Bathymetric distribution and diversity of deep water polychaetous annelids in the Sigsbee Basin, northwestern Gulf of Mexico. *Hydrobiologia*, 496: 361-370.

- Pielou, E.C. (1976). *Population and community ecology*. Gordon & Breach. Chicago. 424 pp.
- Read, G., Fauchald, K. (2018). World Polychaeta database. *Syllis alternata* Moore, 1908. Accessed through: World Register of Marine Species at: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=131413> on 2018-05-03.
- Rex, M.A. (1981) Community structure in the deep-sea benthos. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 12: 331-353.
- Roden, G.I., Emilsson, I. (1979). Oceanografía física del Golfo de California. *Centro de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México*. 67pp.
- Rouse, G.W. (2000). Classification of the Annelida and Polychaeta. in Beesley, P.L., Ross, G.J.B., Glasby, C.J. (Eds). *Polychaetes and allies: The southern synthesis. Fauna of Australia. Vol. 4A. Polychaeta, Myzostomida, Pogonophora, Echiura, Sipuncula*. CSIRO Publishing, Melbourne. (pp 51-53).
- Rouse, G.W., Fauchald, K. (1997). Cladistics and polychaetes. *Zoologica Scripta*, 26(2): 139-204.
- Salazar-Vallejo, S.I., León-González, J.A., Salaices-Polanco, H. (1989). *Poliquetos (Annelida: Polychaeta) de México*. Universidad Autónoma de Baja California Sur, 212 pp.
- Salcedo-Oropeza, D.L. (2013). *Variación temporal y espacial de los anélidos poliquetos del clado Aciculata de la plataforma continental del Golfo de California* (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Sanders, H.L., Hessler, R.R., Hampson, G.R. (1965). An introduction to the study of deep-sea benthic faunal assemblages along the Gay Head-Bermuda transect. *Deep-Sea Research*, 12: 845-867.
- Sanders, H.L. (1968). Marine benthic diversity: A comparative study. *The American Naturalist*, 102(925): 243-282.
- Sanders, H.L., Hessler, R.R. (1969). Ecology of the Deep-Sea benthos. *Science*, 163: 1419-1424.

- Santamaría-del-Ángel, E., Álvarez-Borrego, S. (1994). Gulf of California biogeographic regions based on coastal color scanner imagery. *Journal of Geophysical Research*, 99(4): 7411-7421.
- Serrano, D. (2012). La zona del mínimo oxígeno en el Pacífico mexicano. En Zamorano, P., Hendrickx, M.E., Caso, M. (Eds.) *Biodiversidad y comunidades del talud continental del Pacífico Mexicano. Instituto Nacional de Ecología*. (pp. 105-119). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).
- Shepard, F.P. (1954). Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Research*, 24(3): 151-158.
- Snelgrove, P.V.R. (1999). Getting to the bottom of marine biodiversity: Sedimentary habitats. *BioScience*, 49(2): 129-138.
- Solís-Weiss, V., Hernández-Alcántara, P. (1994). *Amphisamytha fauchaldi*: a new species of Ampharetid (Annelida: Polychaeta) from the hydrothermal vents at Guaymas Basin, Mexico. *Bulletin of the Southern California Academy of Science*, 93(3): 127-134.
- Solís-Weiss, V., Hernández-Alcántara, P., Granados-Barba, A. (2014). Los anélidos poliquetos del mar profundo en México. In: Low-Pfeng, A. y Peters-Recagno, E. M. (Eds.) *La frontera final: El océano profundo: México*, INECC-SEMARNAT. 175-214.
- Strickland, J.D.H., Parsons, T.R. (1972). *A practical handbook on seawater analysis*. Ottawa, Canada: Fisheries Research Board of Canada. 310 pp.
- Taghon, G.L., Nowell, A.R.M., Jumars, P.A. (1980). Induction of suspension feeding in spionid polychaetes by high particulate fluxes. *Science*, 210(31): 562-564.
- Tovar-Hernández, M.A., Salazar-Silva, P., León-González, A., Carrera-Parra, L.F., Salazar-Vallejo, S.I. (2014). Biodiversidad de Polychaeta (Annelida) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(1): 190-196.
- Treadwell, A.L. (1923). Polychaetous annelids from Lower California with descriptions of new species. *American Museum Novitates*, 74: 1-11.

- Van-Andel, T.H. (1963). Algunos aspectos de la sedimentación reciente en el Golfo de California. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 27(2): 85-94.
- Wilkinson, T.E., Wiken, J., Bezaury-Creel, T., Hourigan, T., Agardy, H., Herrmann, L., Janishevski, C., Madden, L., Morgan, L., Padilla, M. (2009). Gulf of California. *Marine Ecoregions of North America. Commission for Environmental Cooperation. Montreal, Canada*. 96-105 pp.
- Weyl P.K. (1965). On the oxygen supply of the deep Pacific Ocean. *Limnology and Oceanography*. 10(2): 215-219.