



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**FACTORES QUE DEFINEN LA VARIABILIDAD DE LA
DIVERSIDAD BIOLÓGICA Y BIOMASA BÉNTICA EN UNA
ZONA DE OXÍGENO MÍNIMO EN EL GOLFO DE
CALIFORNIA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

CARMEN VICTORIA SUAZO YAMALLEL



DIRECTORA DE TESIS:

DRA. ELVA G. ESCOBAR-BRIONES

2011



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.

AGRADECIMIENTOS

- ✚ Al ICMyL, UNAM
- ✚ Al Proyecto CONACYT 4058, PAPIIT UNAM IN 224503
- ✚ A la jefa de campaña Dra. Elva Escobar Briones, ICMyL UNAM y participantes campaña EZOM 2005
- ✚ A la tripulación del B/O EL PUMA UNAM
- ✚ A Lisa A. Levin, Carlos Neira y colaboradores del Integrative Oceanography División, Scripps Institution of Oceanography, La Jolla.
- ✚ A la Dra. Elva Escobar-Briones por su apoyo, paciencia y orientación para la realización de este trabajo.
- ✚ A los miembros del jurado: Dr. Fernando Álvarez, Dr. Javier Alcocer, Dr. José Luis Villalobos y Dra. Guillermina Alcaráz por las revisiones y sugerencias para este trabajo.
- ✚ Trabajo en el campo: Biols. L. Raggi, D. Rabiela, E. Drs. C. Mortera, C. Canet
- ✚ Apoyo en laboratorio: Biol. B. Cuesta, M. C. A. Gaytán, Biol. E. Cosgalla, Leticia Jiménez, León Álvarez, Balam Jiménez.
- ✚ A mis papás y mi hermana, por su apoyo y amor incondicional.

RESÚMEN

En este estudio se reconocieron la densidad, abundancia, riqueza y biomasa de la meiofauna presente en una zona de oxígeno mínimo (ZOM) en el Golfo de California. Las muestras estudiadas provinieron de colectas realizadas durante una campaña oceanográfica a bordo del B/O "El Puma" en mayo de 2005. La colecta se efectuó en profundidades de 860, 862 y 1440 metros; colectándose los primeros 10 cm del sedimento. El número total de taxa identificados fue de 7 (nemátodos, poliquetos, copépodos, ostrácodos, oligoquetos, kinorrincos y bivalvos) con un total de 931 individuos. La abundancia, densidad y biomasa mostraron el mayor valor en la profundidad más somera (860m) mientras que el menor valor se encontró en la profundidad intermedia (862m). La densidad osciló en un intervalo promedio de 118.4 ± 233.7 a 2534.7 ± 13123.174 ind.m² y la biomasa de 0.13 ± 0.4 a 0.04 ± 0.16 mgC.m⁻². Los poliquetos, nemátodos, copépodos, bivalvos y kinorrincos fueron los taxa comunes para todas las estaciones, siendo los nemátodos los más abundantes para todas las estaciones y niveles. Las mayores abundancias, densidades, riquezas y biomásas se encontraron en los 3 cm superficiales. De los factores ambientales analizados, los que mejor explicaron los patrones de distribución observados en la meiofauna en la ZOM fueron la concentración de C y N presentes en el sedimento.

ABSTRACT

In this study we acknowledged the density, abundance, richness and biomass for meiofauna present in an oxygen minimum zone (OMZ) in the Gulf of California. The samples studied came from collections made during the oceanographic cruise aboard the R / V "El Puma" in 2005. The collection was made at depths of 860, 862 and 1440 meters. Taxa recognized in samples collected from the OMZ were nematodes, polychaetes, copepods, ostracods, oligochaetes, and bivalves. The total number of taxa identified were 7 with a total of 931 individuals. The abundance, density and biomass showed the highest value in the shallowest depth (860m) while the lowest occurred in midwater (862m). The density varied in an average interval of 118.4 ± 233.7 to $2534.7 \pm 13123,174$ ind.m² and biomass of 0.13 ± 0.4 to 0.04 ± 0.16 mgC.m².

FACTORES QUE DEFINEN LA VARIABILIDAD DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA Y BIOMASA BÉNTICA EN UNA ZONA DE OXÍGENO MÍNIMO EN EL GOLFO DE CALIFORNIA

Polychaetes, nematodes, copepods, bivalves and kynorrhyncha taxa were common to all stations, being the most abundant nematodes for every stations and levels. The level 0-3 cm had the highest abundance, density, richness and biomass.

Environmental factors that determined the distribution patterns observed in the meiofauna in the OMZ were the C and N concentrations in sediments.

INTRODUCCIÓN

Las zonas de oxígeno mínimo (ZOM) se caracterizan por presentar de manera natural masas de agua con menos de 0.5 ml L^{-1} de oxígeno disuelto (Levin, 2003). Las ZOM se ubican en las márgenes continentales y son zonas en las que se almacena gran cantidad de carbono a profundidades batiales entre los 200 y 1000m (Levin, 2003). El origen de estas aguas bajas en oxígeno se debe a la naturaleza misma del agua en la zona dada su antigüedad desde que se originó y/o su velocidad baja de circulación (Wyrтки, 1962, 1967; Olson *et al.* 1993). Adicionalmente, la productividad primaria local alta puede contribuir a la disminución de oxígeno. Las condiciones bajas de oxígeno disuelto se presentan en los océanos de todo el mundo (Kamykowsky & Zentara, 1990). Por su ocurrencia temporal estas zonas se clasifican en ZOM permanentes, estacionales o periódicas presentando una capa de mezcla más somera (Levin, 2003).

Como ejemplo de éstas se reconocen las presentes a lo largo del Pacífico Oriental Tropical, el océano norte de la India y el Atlántico Oriental al noroeste de África, siendo éstas las más desarrolladas (Wyrтки, 1962; Kamykowski and Zentara, 1990; Olson *et al.* 1993). En éstas regiones la concentración de oxígeno es comúnmente menor a 0.1 ml L^{-1} a profundidades de 600 a 800 m (Kamykowsky & Zentara, 1990) y a menudo sobre profundidades de 100 a 900 m (fig. 1).

En profundidades más someras, el consumo de oxígeno es mayor por las temperaturas más elevadas, pero el suplemento de éste es aún mayor por turbulencia y transporte. A profundidades mayores el suplemento de oxígeno es bajo. Éste se suma al depósito de material orgánico particulado. Debido al decaimiento en la biomasa de metazoarios, el consumo es aún más bajo pero es reemplazado por la degradación de la materia orgánica (Levin, 2003).

FACTORES QUE DEFINEN LA VARIABILIDAD DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA Y BIOMASA BÉNTICA EN UNA ZONA DE OXÍGENO MÍNIMO EN EL GOLFO DE CALIFORNIA

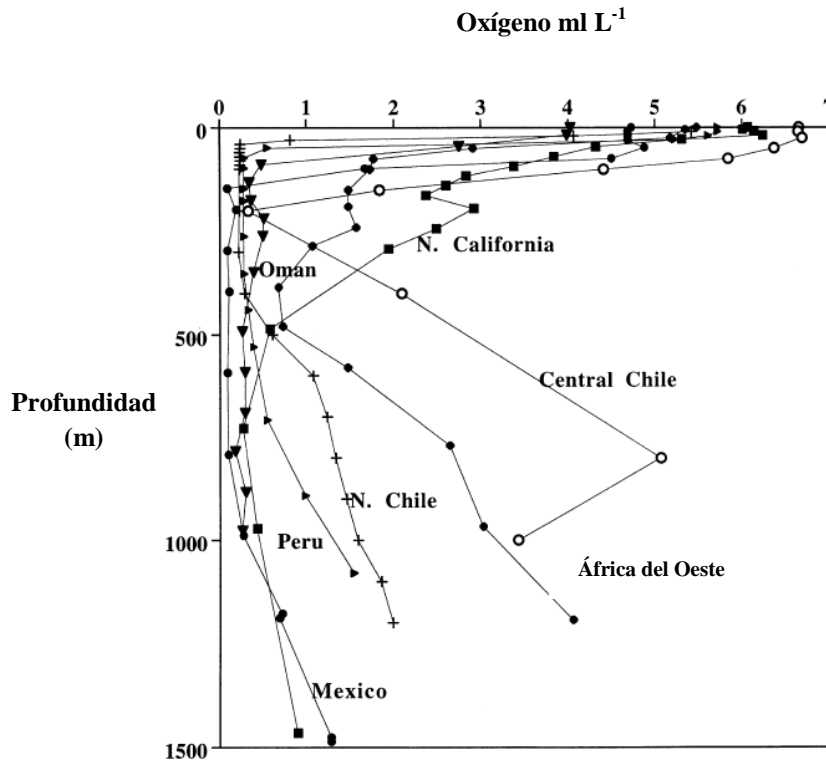


Fig.1 Perfil batimétrico de la concentración de oxígeno en diferentes regiones del mar mundial (tomado de Levin, 2003)

Los términos siguientes definen las condiciones en el ecosistema a diferentes concentraciones de oxígeno disuelto encontradas en diferentes masas de agua:

Anoxia	Ausencia de oxígeno disuelto (Bernhard y Sen Gupta, 1999).
Microxia	Presencia de oxígeno en una concentración igual a 0.1 ml L^{-1} (Bernhard y Sen Gupta, 1999).
Disoxia	Concentraciones de oxígeno de 0.1 a 1.0 ml L^{-1} (Rhoads y Morse, 1971).
Hipoxia	Concentraciones de oxígeno fisiológicamente estresantes para los metazoarios, comúnmente $<0.2 \text{ ml L}^{-1}$ (Kamykowski y Zentara, 1990).

Estas zonas representan un límite o barrera geográfica para la distribución de las especies ya que estas se expanden y contraen estacionalmente y en el tiempo geológico. Las ZOM influyen sobre la diversidad biológica en las escalas molecular y macroecológica y juegan un papel importante en la evolución de especies de profundidades batiales (Levin, 2003).

Las ZOM se caracterizan por una densidad alta y una baja riqueza de especies las cuales tienden a ser comúnmente endémicas . La biota presente ha incursionado a habitar este ecosistema asociándose con un predominio de formas heterótrofas con simbiosis (Levin, 2003).

Distribución y formación de zonas de oxígeno mínimo

Las ZOM se localizan asociadas a surgencias con productividad primaria alta en la superficie. Las partículas se hunden y degradan utilizando el oxígeno disuelto de la columna de agua y el sedimento (Sarmiento et al., 1988). Éstas también se forman por un intercambio de oxígeno reducido entre masas de agua ya sea por el aislamiento de una cuenca o por una velocidad de corriente reducida como son las zonas con circulación limitada donde la difusión vertical y horizontal son el único proceso disponible para el intercambio de gases (Sarmiento *et al.*, 1988).

Las ZOM más grandes se ubican en profundidades batiales del Océano Pacífico Oriental, en el mar Árabe, la Bahía de Bengala y en el suroeste de África (Kamykowski y Zentara, 1990). Las aguas en estas zonas son más antiguas y contienen una concentración de oxígeno más baja que otras en el océano mundial (Wyrki, 1966).

El incremento en la temperatura del agua conlleva a una reducción en las surgencias provocando una reducción de la tasa de oxidación del carbono con una consecuente elevación de las concentraciones de oxígeno disuelto (Tyson y Pearson 1991, von Rad et al., 1995, Rogers, 2000).. La intensidad de la condición hipóxica y la ocurrencia de las ZOM varían significativamente en la escala geológica. Los cambios en las tasas de productividad o circulación de las masas de agua pueden ocasionar expansiones y contracciones en las ZOM tanto verticales (en la profundidad de la columna de agua) como horizontales (Tyson & Pearson 1991; von Rad et al., 1995; Rogers, 2000).

Entre los taxa tolerantes en las aguas hipóxicas se reconoce a foraminíferos, nemátodos, poliquetos, oligoquetos y copépodos harpacticoides (Levin, 20003). De éstos, los nemátodos son el grupo de metazoarios más dominante a concentraciones bajas de oxígeno representando del 95 al 99% de la abundancia de la meiofauna (Levin, 2003). Otros grupos que llegan a ser localmente abundantes en estas zonas son los gastrotricos, algunos kinorricos y rotíferos (Todaro *et al.*, 2000; Muller *et al.*, 2001).

La fauna se ha adaptado a las zonas hipóxicas mostrando cambios como cuerpos pequeños y delgados incrementando en área la superficie respiratoria (Levin, 2003), presencia de hemoglobina que permite una captura más eficiente de oxígeno (Levin, 2003), así como poros en la testa en el caso de foraminíferos y ostrácodos para facilitar el intercambio de oxígeno (Levin, 2003). Los invertebrados de aguas someras pueden seguir diferentes rutas bioquímicas como la quimiosíntesis principalmente para la generación de energía (González y Quiñones, 2000). La meiofauna que ocurre en las ZOM con valores de densidad total máximos, se presentan en las concentraciones más bajas de oxígeno lo cual se cree que es debido a la abundancia de partículas de comida y/o una baja tasa de depredación (Neira *et al.*, 2001b).

ANTECEDENTES

Entre los primeros estudios se cita el de Richards (1957) que revisa la distribución de las masas de agua y su asociación a la circulación profunda del océano y el de Wyrtyk (1962) sobre la circulación del océano y su relación a las concentraciones de oxígeno. El Centro Nacional de Datos Oceanográficos (NODC por sus siglas en inglés), listó cerca de 2 millones de observaciones de oxígeno mínimo realizadas entre los años 1905 y 1982 sobre en los océanos del mundo. Una síntesis sobre factores como temperatura y salinidad asociados a oxígeno disuelto se encuentra disponible al consultar a Levitus (1982). A inicio de los noventas se describen los primeros trabajos sobre la fauna asociada a estas zonas Childress y Seibel (1998), mostraron el impacto de los estratos con baja concentración de oxígeno sobre la distribución de la fauna, así como las adaptaciones presentes en esta.

Para las ZOM en el mundo, el trabajo de Levin (2003) describe las adaptaciones de la fauna a las zonas hipóxicas y el de Levin y Cowie (2009) los patrones y procesos biológicos y biogeoquímicos que explican la distribución en el margen de Pakistán, al noroeste del Mar Árabe. El trabajo de Ulloa y Pantoja (2008) describe los efectos sobre los ciclos biogeoquímicos de la fauna en el Pacífico Sur Oriental. Más recientemente Stramma *et al.* (2010) explican los efectos biológicos de las ZOM, así como su constante expansión debido al calentamiento global.

Estudios en el Golfo de California

En la escala regional los primeros estudios sobre hipoxia y sus efectos inician en los años 1939 y 1940 por Scripps Oceanographic Institution y se publicaron por Shepard (1950), Revelle (1950) y Byrne y Emery (1960) describiendo la topografía y sedimentación en esta área. En el año 1959 se llevó a cabo la expedición Vermillion en colaboración con el Instituto de Geología, UNAM contribuyendo con la geofísica y geología a gran escala de esta región. Los trabajos de Mullins *et al.* (1983) describen las zonas de oxígeno mínimo y su asociación a los sistemas de surgencias del Golfo describiendo los efectos geológicos y biológicos.

Los estudios realizados por Hendrickx y Gómez (1997) sobre distribución y abundancia de la meiofauna en una laguna costera en el sureste del Golfo reconocen densidades de 50 hasta 2,676.83 ind 10 cm⁻² siendo los nemátodos y copépodos harpacticoides los componentes más abundantes.

Para estudios sobre materia orgánica en las ZOM, se encuentra el estudio de Levin *et al.* (2008) para el margen de Pakistan donde encontraron que los sedimentos altamente bioturbados en los márgenes continentales se relacionan a la presencia de oxígeno del agua del fondo. La biomasa y la bioturbación responden a la presencia de materia orgánica, el máximo se da a profundidades de 850–950 m (3.39–3.53% C_{org}).

Por otra parte, el trabajo de Neira *et al.* (2001) para el sureste del Pacífico reconoce una relación inversamente proporcional entre la materia orgánica y la disponibilidad de oxígeno. Lo anterior lo atribuye cambios en las abundancias de la meiofauna, donde el

aumento en abundancia se debe a mayor contenido de materia orgánica y a una disminución en la concentración de oxígeno.

El presente estudio contribuye con describir la variabilidad de la composición, densidad biológica y la biomasa de la comunidad perteneciente a la meiofauna béntica en tres localidades de la Zona de Oxígeno Mínimo en el Golfo de California.

OBJETIVOS

Objetivo general

Describir la variabilidad de la composición, abundancia, densidad, riqueza biológica y de la biomasa meióbéntica en tres localidades de la Zona de Oxígeno Mínimo en el Golfo de California.

Objetivos particulares

1. Describir y analizar la estructura comunitaria del meio bentos (abundancia, densidad, riqueza biológica y biomasa).
2. Describir el hábitat de la meiofauna a través de la concentración de oxígeno disuelto en el agua cercana al sedimento así como la concentración de materia orgánica y clorofila *a* en sedimento y, finalmente, el tamaño del grano del sedimento en tres estaciones de muestreo a lo largo del Golfo de California.
3. Evaluar la relación entre los factores ambientales de las estaciones de muestreo y la estructura comunitaria del meio bentos.

JUSTIFICACIÓN

La meiofauna es el nivel trófico que vincula la microflora en el sedimento con niveles más altos de la trama trófica (Coull, 1988). Ésta está conformada por organismos cuya función es la regeneración y movilización de nutrientes presentes en el fondo ayudando a su disponibilidad en el ambiente (Sócola, 2003). Este estudio es importante al contribuir con información de la variabilidad de la composición, biomasa y la densidad en la región ante la reducción en las concentraciones de oxígeno. Dado que las zonas de oxígeno mínimo están aumentando en extensión y duración a nivel mundial con el incremento en el aporte de nutrimentos antropogénicos al mar (Díaz y Rosenberg, 1995) este estudio contribuye con conocimiento de la línea base para estudios futuros en la zona de oxígeno mínimo en la región del Golfo de California.

ÁREA DE ESTUDIO

Es un cuerpo de agua subtropical que separa la Península de California del resto del territorio mexicano, localizándose entre los 20° y 32° de latitud norte y los 105.5° y 114.5° de longitud oeste. Posee una longitud aproximada de 1000 km y una anchura promedio de 150 km (De la Rosa; González-Farías, 2008).

Topográficamente, el Golfo está dividido en una serie de cuencas y fosas o trincheras más profundas hacia el sur y que están separadas entre sí por cordilleras transversales (Álvarez-Borrego, 2008). Este es un sistema complejo por los accidentes topográficos, desde los abanicos sedimentarios de pendientes suaves en el golfo superior, hasta los cañones submarinos localizados en el extremo sur de la península.

Una de las características mejor documentada para la circulación del Golfo de California son los giros reversos estacionales a larga escala que tienen lugar en el norte del Golfo. Un giro ciclónico dura aproximadamente de junio hasta septiembre, y un giro anticiclónico de noviembre a abril. El norte del Golfo, posee dos mecanismos principales para su fertilización: una es la marea de mezcla alrededor de las grandes islas durante todo el año, dando lugar a un área con una mezcla vertical fuerte así como a un flujo continuo de agua rica en nutrientes (Lluch-Belda *et al.* 2003). La segunda son

las surgencias producidas por efecto de los vientos a través del Golfo central, donde aguas enriquecidas provenientes de las islas y la costa este, alcanzan el lado peninsular quedando atrapadas contribuyendo así a una mayor productividad primaria por área. Las áreas de surgencias del golfo tienen algunas de las más altas concentraciones de nutrientes de los océanos del mundo (Álvarez Borrego *et al.*, 1978), por lo que presenta tasas de productividad primaria excepcionalmente altas (Zeitzschel, 1969).

Debido a que este sistema de enriquecimiento opera solamente durante el invierno, hay un gradiente anual fuerte e importante en las concentraciones de pigmentos en la mayoría del Golfo (Lluch-Cota *et al.* 2003, 2007). Las aguas al SE del Golfo se caracterizan por poseer una capa de oxígeno mínimo amplia entre los 150 y 800 m de profundidad, aproximadamente, , paralela a la costa, donde se presentan condiciones de hipoxia o anoxia severas (Hendrickx, 2001). Esta zona de oxígeno mínimo coincide estrechamente con la distribución de sedimentos laminados y de alta materia orgánica. Los estratos en los fondos hipóxicos están bien preservados, mientras que en las cuencas más profundas más altamente oxigenadas, son destruidas por organismos excavadores en el fondo. La mayor parte de los sedimentos de la parte central del Golfo son laminados y ricos en materia orgánica. El agua profunda entrante tiene mayores concentraciones de nutrientes inorgánicos y más carbono inorgánico disuelto que el agua superficial que sale del golfo (Alvarez-Borrego *et al.*, 1991).

En la Región de las Grandes Islas se encuentran las concentraciones superficiales de nutrientes más elevadas de todo el Golfo de California (Alvarez-Borrego *et al.*, 1978).

Tipos de sedimentos, distribución y transporte

La fuente de sedimento del Golfo de California se encuentra irregularmente distribuida. El Río Colorado es una fuente principal, proporcionando aproximadamente un 48% del sedimento total. El margen oriental, al norte de Guaymas, es árido y los ríos son estacionales, con aporte de sedimento intermitente. Al sur de Guaymas las corrientes permanentes son numerosas, y algunos ríos (Yaqui, Mayo y Fuerte) tienen considerable importancia; éstos proporcionan aproximadamente el 27% del total de los sedimentos.

Los sedimentos del Golfo son batolíticos, volcánicos y mixtos (Álvarez, 2008).

Los sedimentos derivados de fuentes batolíticas son ricos en feldespatos; aquellos derivados de volcánicos contienen abundantes fragmentos de rocas volcánicas. Algunos sedimentos cuarzosos provienen de los ríos Colorado y Concepción (Álvarez, 2008).

En los taludes, los foraminíferos bentónicos y las diatomeas son relativamente abundantes en relación a otros componentes de la fracción arenosa (Álvarez, 2008).

Lo anterior sugiere que en las zonas principales de producción de plancton cerca de los márgenes del Golfo, se presenta una selección de los elementos gruesos que son depositados en los taludes mientras los finos son depositados en las cuencas (Álvarez, 2008).

Van Andel (1964) describe en general sedimentos finos predominantes, particularmente en la parte sur y central del Golfo. Más de la mitad de estos depósitos son diatomeas. Las arcillas limosas predominan en las pendientes y cuencas del sur del Golfo, donde la producción biogénica silíceas es más baja con respecto al suplemento de sedimentos terrígenos. La zona de muestreo se delimita a las cuencas con coordenadas presentadas en la Tabla 1; y en la Fig. 2.

Tabla 1. Localización de las estaciones de estudio y su profundidad

Estación	Latitud N	Longitud W	Profundidad (m)
1	28.000	112.0019	860
2	28.000	112.0018	862
3	25.254	110.004	1440

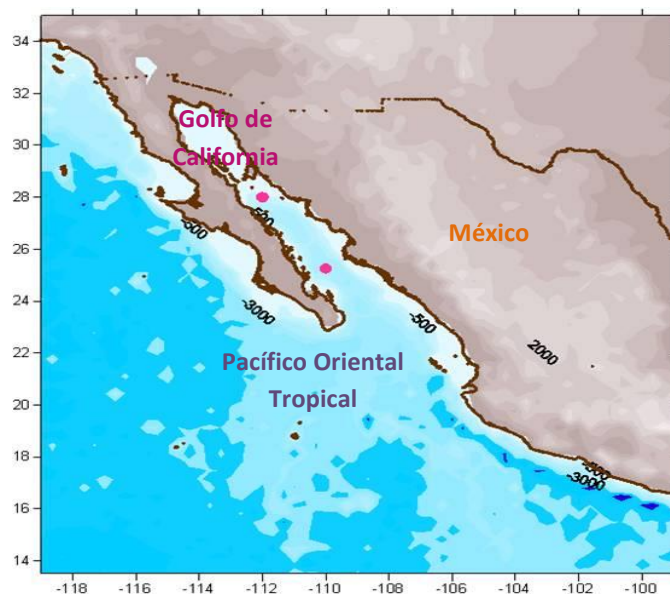


Fig. 2. Localización geográfica de las estaciones de muestreo (en rosa)

METODOLOGÍA

Trabajo de campo

El muestreo se realizó a bordo del B/O “El Puma” UNAM durante la campaña *Estudio de zonas de oxígeno mínimo (EZOM)* financiada por los proyectos CONACYT 4058 y PAPIIT UNAM IN 224503 “Determinación de los factores que definen la variabilidad de la diversidad biológica y biomasa béntica” del ICML, UNAM en 2005.

Oxígeno disuelto: Las concentraciones de oxígeno disuelto en las muestras de agua del fondo (862, 888 y 1464 metros) se midieron con un dispositivo sonda CTD de Sea-Bird Electronics 43 que genera un perfil en columna de agua que describe la conductividad-temperatura-profundidad equipado con un sensor de membrana polarográfica, el cual registra voltajes para su posterior conversión a concentraciones de oxígeno utilizando una versión modificada del algoritmo de Owens and Millard (1985). Las muestras de agua se colectaron en el mismo sitio que la muestra de sedimento superficial del nucleador múltiple.

Las muestras de agua de fondo fueron recolectadas con botellas Niskin de 10 litros, colocadas sobre la roseta del CTD. El agua fue posteriormente filtrada con equipo

MILLIPORE, utilizando filtros de 47 mm de diámetro guardándose en el congelador a -10°C , para el posterior análisis de concentración de clorofila “a” (Chl *a*) para medirse con fluorometría.

Composición elemental, tamaño de grano y clorofila *a* en sedimento: Para cada estación se tomó una réplica adicional para determinar el contenido de materia orgánica, tamaño de grano y Chl *a* en sedimento. Las muestras para determinar materia orgánica en sedimento superficial se tomaron con una jeringa de 20 mL sin punta, colocándose en frascos de vidrio etiquetados con los datos para la estación correspondiente, congelándose a -20°C .

Las muestras tomadas para analizar tamaño de grano del sedimento se colectaron de igual forma con una jeringa de 20 mL sin punta, colocándose en frascos de vidrio etiquetados.

Las muestras para el análisis del contenido de Chl *a* en el sedimento superficial se tomaron con una jeringa de 5 mL sin punta y se colocaron en tubos de 20 mL previamente etiquetados con los datos para la estación correspondiente. El tubo cerrado se envolvió con papel aluminio y se congeló a -20°C . La colecta se registró en la bitácora de la campaña. Al final de la campaña los tubos se colocaron en bolsas de plástico y se transportaron congelados al laboratorio.

Muestras biológica: Las muestras de sedimento se colectaron con un nucleador múltiple con un área de 10 cm^2 para cada núcleo, en 3 estaciones a profundidades de 860m, 862m y 1440 metros en el Golfo de California y el Pacífico Oriental Tropical. Cada núcleo se seccionó a bordo en intervalos de 0 a 1cm, de 1.1 a 3cm, de 3.1 a 5cm y de 5.1 a 10cm. En cada estación se colectaron muestras de sedimento superficial del fondo marino para contenido biológico con una réplica para cada nivel. Los estratos de sedimento se colocaron en frascos de plástico rotulados y se fijaron a bordo con formol al 0.4% para su preservación y procesamiento posterior.

Trabajo de laboratorio y de gabinete

Oxígeno disuelto: Los datos de oxígeno disuelto para cada estación se vaciaron en hojas de cálculo de Excel para relacionar su ubicación con la profundidad, posteriormente se transformaron a ml L^{-1} por medio de la fórmula:

$$(\text{"x"} \mu \text{ moles/litro O}) / (1.000.000 \text{ moles}/1 \mu \text{mol}) \times (\text{PM O}) \times (1000 \text{ mg}/1 \text{g})$$

Composición elemental: Las muestras de sedimento se colocaron por estación en frascos de vidrio con ácido clorhídrico (HCl) al 0.2 M para poder eliminar los carbonatos que la muestra pudiera tener y evaluar el contenido de C orgánico contenido en él cerciorándose que el pH permaneciera ácido. El exceso de ácido se eliminó a través de enjuagues con agua destilada para obtener un pH neutro ($\text{pH}=7$). Las muestras se colocaron en la estufa a una temperatura de $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ para secarlas por 24 hrs aproximadamente y posteriormente se homogeneizaron moliendo en un mortero de ágata y se colocaron en viales rotulados con los datos correspondientes a cada estación. Las muestras se analizaron por la unidad de Análisis Químico del Instituto de Química, UNAM con un Analizador Elemental FISON model EA 1108, en donde se lleva a cabo una catálisis oxidativa con óxido de cobalto. El carbono orgánico se oxida a dióxido de carbono. El dióxido de carbono es transportado por una corriente de gas inerte que pasa por un analizador infrarrojo no dispersivo donde se mide la concentración de C, N y S presente en la muestra. Los datos se reportan en porcentaje.

Tamaño de grano: El análisis del tamaño de grano se efectuó con el equipo láser Coulter Modelo LS230. El tamaño de las partículas se estableció por difracción de luz láser en aproximadamente 0.1 g de muestra seca analizada por triplicado a sextuplicado. El análisis granulométrico se realizó en partículas con un intervalo de tamaño de 0.04 a $2000\ \mu\text{m}$. La información analizada se reflejó gráficamente en porcentaje de peso de muestra vs diámetro de partículas y en un listado de todos tamaños de partículas detectados.

Análisis de clorofila *a* en sedimento: El contenido de clorofila *a* se analizó en el sedimento por lo que se procedió a descongelar las muestras de sedimento a temperatura ambiente en el laboratorio, posteriormente se agregaron 10 mL de acetona al 90% para comenzar la extracción. Los tubos se mantuvieron en oscuridad y a 4°C no rebasando 24 horas para evitar la degradación de la clorofila *a*. Posteriormente, se centrifugó cada muestra a 1700 rpm durante 15 minutos. Se tomó el sobre nadante con una pipeta y se colocó en cubetas de 15 mL para tomar lectura en un fluorómetro de mesa Turner Designs 10-AU, en el cual se analizaron las muestras en un espectro de fluorescencia a una longitud de onda de 680 nm, es la longitud de emisión valores totales de clorofila *a*, los cuales se expresaron en µg de Chl*a* ml (Arar y Collins, 1997).

Muestras biológicas: Las muestras obtenidas se enjuagaron con agua corriente en el laboratorio para eliminar el formol, posteriormente se tamizaron a través de una malla de 54µm, conservándose con etanol al 70% en frascos rotulados, agregándoles tinción de Rosa de Bengala para resaltar la fauna presente en la muestra y facilitar con ello la separación de los organismos en el microscopio estereoscópico a un aumento de 3.2x. Los organismos se identificaron al nivel de grupo, se separaron, contaron y colocaron en viales rotulados con los datos de las estaciones correspondientes; los datos para el cálculo de la abundancia se vaciaron en bitácoras hechas en Excel. La identificación se realizó con base en la clasificación de Brusca & Brusca (2003). Los organismos obtenidos se fotografiaron utilizando para ello un microscopio estereoscópico marca Carl Zeiss, modelo SteREO Discovery.V12, utilizando el objetivo PlanApo S1.5x. La escala se estableció en µm con ayuda de los portaobjetos micrométricos que se incluyen en el mismo microscopio; colocando así los organismos sobre uno de estos portaobjetos y al observarse en la pantalla de la computadora, se establece la medida correspondiente con el programa Axio Vision, realizándose así para cada grupo de individuos que se colocaba sobre el microscopio, esto con el fin de tener una base de datos para los organismos recolectados.

Abundancia, densidad y riqueza: Los datos para abundancia se obtuvieron de las bitácoras, mientras que los datos para densidad fueron en base a las equivalencias realizadas con lo encontrado en el área del núcleo (10 cm²) transformándolos así a individuos por metro cuadrado. Con éstos datos se elaboraron gráficas de riqueza

taxonómica para las 3 estaciones. La riqueza se obtuvo a partir del número de taxa presentes en cada nivel y en cada estación.

Biomasa: La biomasa se registró en μg de peso húmedo fijado (phf) en una microbalanza electrónica de la marca Mettler Toledo MX5 realizando el cálculo para cada taxón y por réplica en una parte representativa de la misma (30 organismos). Los datos obtenidos se transformaron a mg C con base en las constantes de transformación de biomasa propuestas por Rowe (1983) para cada grupo expresándose en mg C m^2 .

Análisis de resultados

La comparación de la abundancia, densidad, riqueza taxonómica, biomasa y factores ambientales entre estaciones se realizó con gráficas de caja y bigote para establecer las diferencias significativas entre estaciones, a una resolución del 95%. También se realizaron gráficas de barras para cada descriptor biológico.

Para comparar la similitud de la composición taxonómica y biomasa entre estaciones y niveles se aplicó el análisis de Bray-Curtis (Bray & Curtis, 1957) con datos de presencia/ausencia que permitió agrupar las estaciones por la similitud en su abundancia, densidad, riqueza, biomasa y las variables ambientales del sedimento. Se realizaron dendogramas de similitud utilizando el programa Biodiversity Professional versión 2.

RDA: Se aplicó un análisis de redundancia (RDA) para establecer la covarianza de los factores ambientales sobre la densidad y biomasa de los taxa presentes en la ZOM. El RDA es un análisis de ordenamiento donde se determina la matriz de los componentes principales (taxa), después se elabora una matriz con los factores ambientales a medir (profundidad, tamaño de grano, materia orgánica) posteriormente se relacionan ambas matrices y se analiza la relación entre las coordenadas principales y las variables ambientales. Los resultados del análisis de redundancia (RDA) se interpretaron por medio de la librería “vegan” del programa estadístico R. Para esto, la abundancia de los diferentes taxa se transformó por medio de la constante de Hellinger. Al final se aplicó

una prueba para determinar si el modelo era significativo, mediante un ANDEVA utilizando para ello una $p=0.05$ (Legendre y Anderson, 1999).

RESULTADOS

Factores ambientales

Oxígeno disuelto: El oxígeno disuelto para las estaciones de muestreo se reportó en unidades μM y ml L^{-1} obteniéndose el mayor valor para las estaciones 1 y 2, mientras que el menor valor lo presentó la estación 3 (tabla 2).

Tabla 2. Concentración de oxígeno para cada estación de muestreo

Estación	Profundidad (m)	Concentración de oxígeno (μM - ml L^{-1})
1	860	54-0.86
2	862	540.86
3	1440	45-0.72

Composición elemental: Los valores más elevados de nitrógeno (N) y carbono orgánico (C) se obtuvieron en la estación 3, siendo (0.833% y 6.635% respectivamente), esta la más profunda con 1440 m. Los valores más bajos de N (0.2646%) y C (2.0789%) se observan en la estación 1, las más somera a una profundidad de 860m (tabla 3).

Tabla 3. Contenido de C y N para cada estación de muestreo

Estación	% comp. Elemental	
	C	N
1	2.17	0.28
2	4.18	0.54
3	6.56	0.83

El análisis de Bray-Curtis para contenido de C y N en las 3 estaciones mostró una mayor similitud entra la estación 1 y 3 (77.9%), mientras que las estaciones 2 y 3 muestran la similitud más baja (49.7%) (fig. 5).

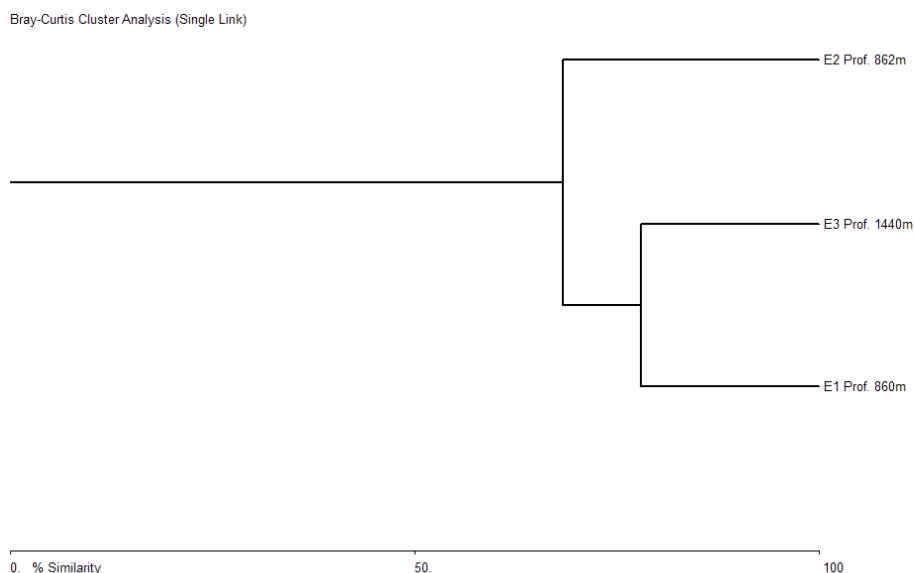


Figura 5. Análisis de Bray-Curtis para estaciones por contenido de C y N.

Tamaño de grano: Las fracciones con mayor cantidad en el sedimento para la E1 fueron los limos (18.01%); para la E2, fue la arena muy fina (14.32%), mientras que para la E3 se presentó mayormente limo grueso (17.32%).

Clorofila *a* en sedimento: Los valores de la clorofila para cada estación fueron 2.12 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ para la estación 1 siendo este el mayor valor, 1.18 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ para la estación 2 como menor valor y 1.47 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ para la estación 3 (fig.6).

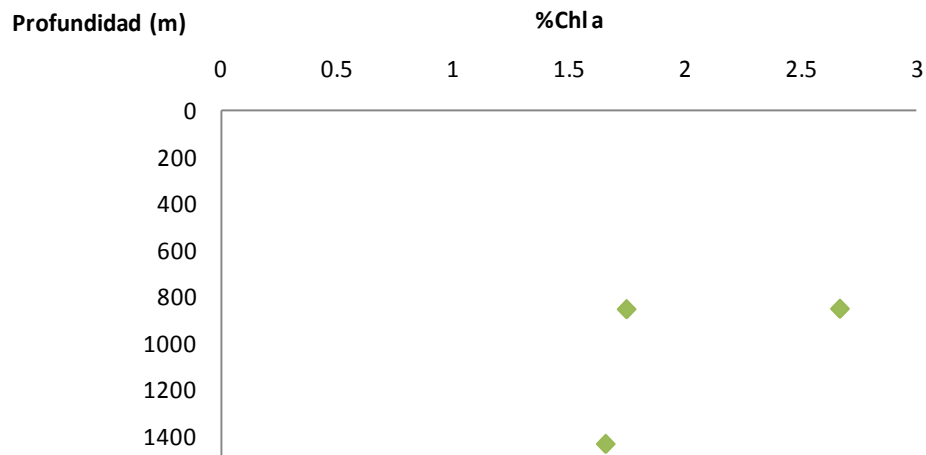


Figura 6. Clorofila en sedimento y su variación con la profundidad

Caracterización biológica

En total se separaron 931 individuos pertenecientes a la meiofauna, de los cuales se reconocieron 7 grupos taxonómicos identificados a nivel de phylum en base a la clasificación propuesta por Brusca y Brusca (2003) (tabla 4).

Tabla 4. Grupos identificados para las estaciones EZOM en el POT. Clasificación según Brusca y Brusca (2003)

Phylum	Subphylum	Clase	Subclase	Superorden	Orden	Nombre común
Annelida		Polychaeta				Poliqueto
Kinorhyncha			Kinorrinca			Quinorrinco
Nematoda						Nemátodo
Mollusca		Bivalvia				Bivalvo
Arthropoda	Crustacea	Maxillopoda	Ostracoda			Ostrácodo
			Copepoda		Harpacticoida	Copépodo

Densidad:

La densidad promedio (tabla 4) en las tres estaciones varió de 2534.7 ± 13123.174 a 118.4 ± 233.7 ind/m². El valor mas bajo (118.4 ± 233.7 ind/m²) se obtuvo en la estación E2 con profundidad de 862m, mientras que el valor más alto (2534.7 ± 13123.2 ind/m²) se encontró en la estación E1 a una profundidad de 860 (fig. 7).

En el caso de los niveles en el sedimento, el nivel 0 a 1cm presenta para todas las estaciones, la mayor densidad, mientras que el nivel 5 a 10cm presenta una disminución considerable de esta.

En todas las estaciones se registró una mayor densidad en el nivel 0-1 cm, decreciendo hasta el nivel 5-10 cm (tabla 4). En la gráfica de caja y bigote (fig. 8) se observa la relación entre la densidad y su disminución a través del paso por los niveles. El nivel 0-1 es el que presenta una mayor densidad, seguido por el nivel 1a 2 cm, 2 a 3 cm, siendo los niveles 3 a 5 y 5 a 10 cm los que presentan una menor densidad para las 3 estaciones.

FACTORES QUE DEFINEN LA VARIABILIDAD DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA Y BIOMASA BÉNTICA EN UNA ZONA DE OXÍGENO MÍNIMO EN EL GOLFO DE CALIFORNIA

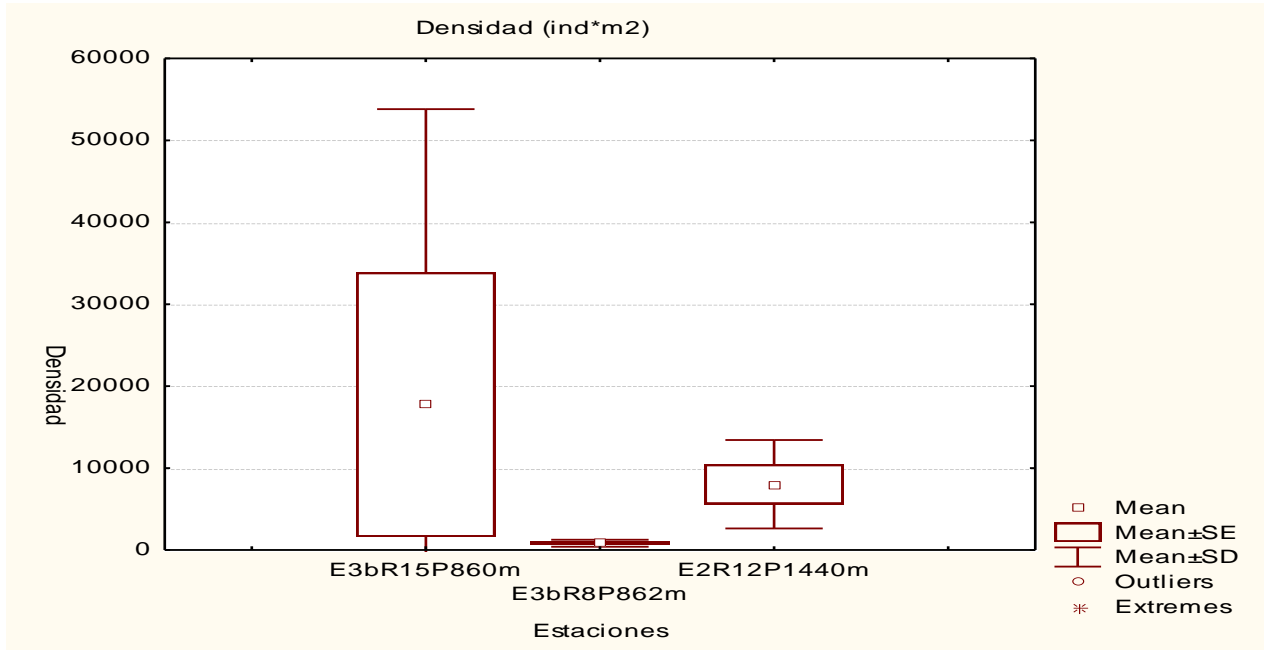


Figura 7. Densidad por estaciones

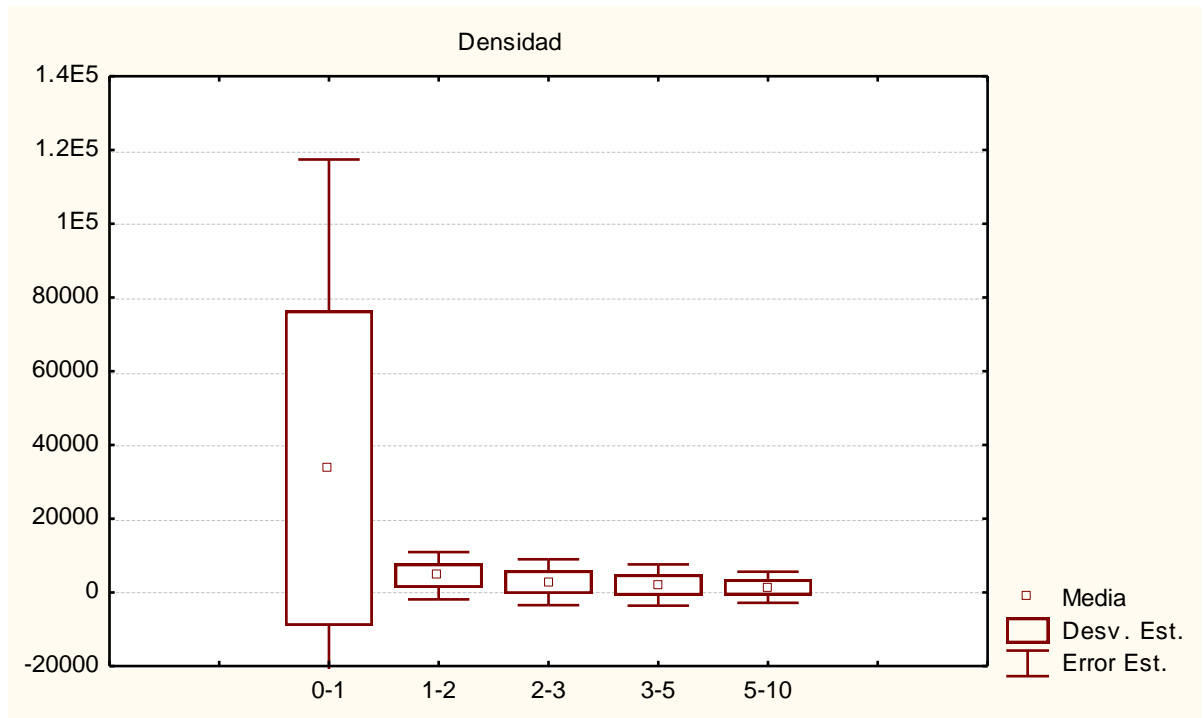


Figura 8. Densidad en la profundidad del sedimento.

En el análisis de Bray-Curtis por estaciones, la mayor similitud (33.53%) se presentó entre las estaciones E1 y E3, mientras que la estación E2 es la que presenta menor índice similitud la estación 1 (7.07%) (fig. 9). En el análisis de similitud por niveles, se obtuvo una mayor similitud entre los niveles 2-3 y 3-5cm para todas las estaciones (82.6%). Los niveles 0-1 y 3-5cm obtuvieron el valor mas bajo de similitud (9.4%) (fig. 10).

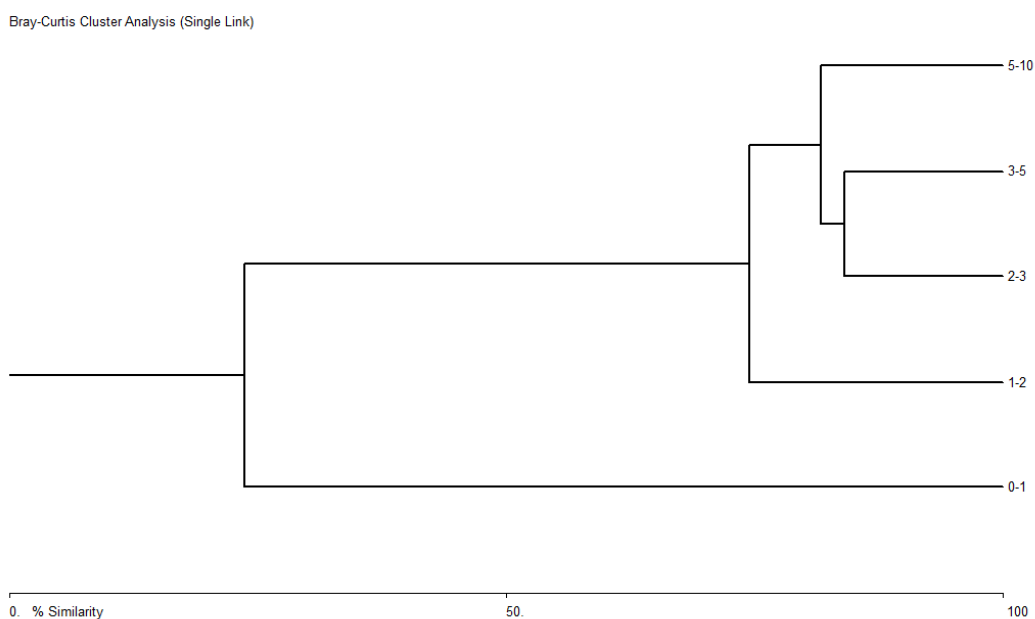


Figura 9. Dendrograma de Bray-Curtis para niveles en base a sus densidades.

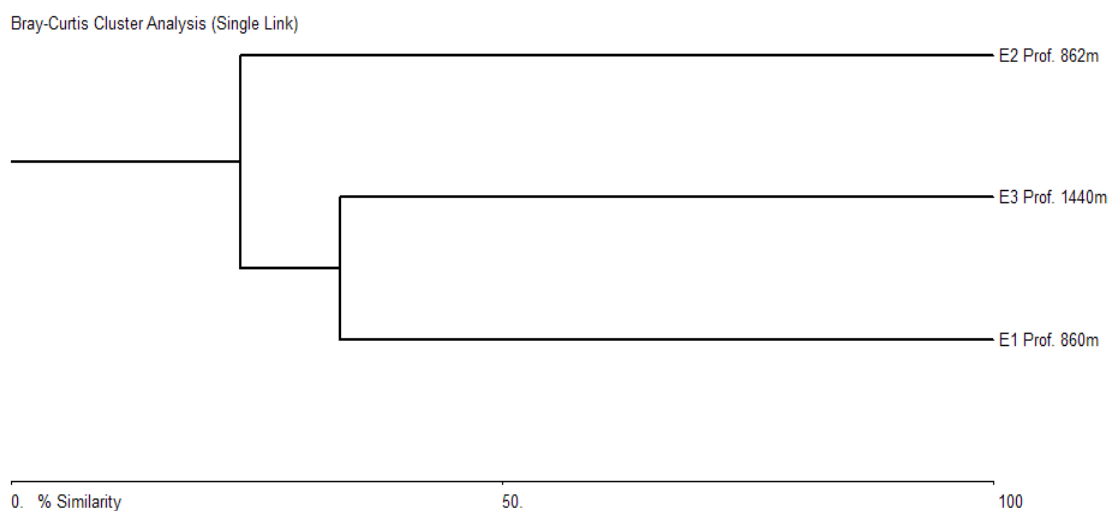


Figura 10. Dendrograma Bray-Curtis para densidad por niveles para las 3 estaciones.

Abundancia:

La abundancia total mayor se encontró en la estación E1 con una profundidad de 860 m, en la cual se obtuvieron 621 individuos en total por área muestreada (0.007m²). Siendo los nemátodos el taxón más abundante, con un conteo de 570 organismos, seguidos por los poliquetos con 21 individuos, oligoquetos con 11 individuos y copépodos con 10 individuos. En total para la estación se encontraron 621 individuos.

En segundo lugar, la estación E3 con profundidad de 1440 metros, presentó un total de 281 individuos por área muestreada; presentando 176 nemátodos, 72 copépodos y 23 poliquetos como los taxa más abundantes. La estación que registró una menor abundancia fue la estación E2 a una profundidad de 862 m presentando 19 nemátodos y 4 moluscos bivalvos como los más abundantes. En total se presentaron 29 individuos.

El taxón dominante en abundancia fue el de nemátodos para las 3 estaciones de muestreo, seguido por poliquetos, copépodos y bivalvos (fig. 11).

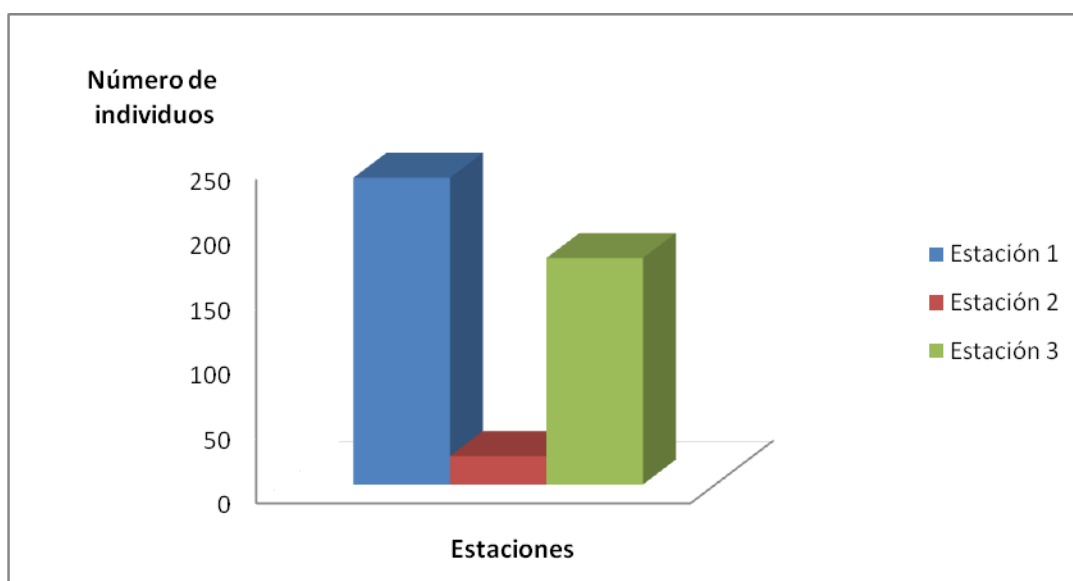


Figura 11. Abundancia para cada estación.

Los poliquetos se presentaron en las 3 estaciones en los niveles 0-2 cm en la E1, 0-1 cm en la E2 y presentes en todos los niveles para la E3. Los nemátodos se presentaron en todas las estaciones y en los niveles 0-5 para las estaciones E1 y E2 y hasta el nivel 5-10cm para la E3. Los ostrácodos se presentaron solo en la E1 en el nivel 2-3cm y en la E2 en los niveles 2-5cm. Los copépodos se presentaron en todos los niveles en la estación E3, mientras que para la estación E1 se encontraron en los niveles 0-3 cm y para la estación E2 solo en el nivel 0-1 cm.

Los bivalvos tuvieron su mayor presencia en los niveles 2-10cm de la estación E2 y la menor en la estación E1 en el nivel 0-1 cm y en la E3 en el nivel 5-10 cm. Los oligoquetos solo se presentaron en la estación E1 en los niveles 1-5 cm. Los quinorrincos se presentaron en el nivel 0-1cm para las 3 estaciones y en el nivel 3-5cm solo para la E3. Los poliquetos, nemátodos, copépodos, bivalvos y quinorrincos fueron comunes para todas las estaciones (fig.12).

FACTORES QUE DEFINEN LA VARIABILIDAD DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA Y BIOMASA BÉNTICA EN UNA ZONA DE OXÍGENO MÍNIMO EN EL GOLFO DE CALIFORNIA

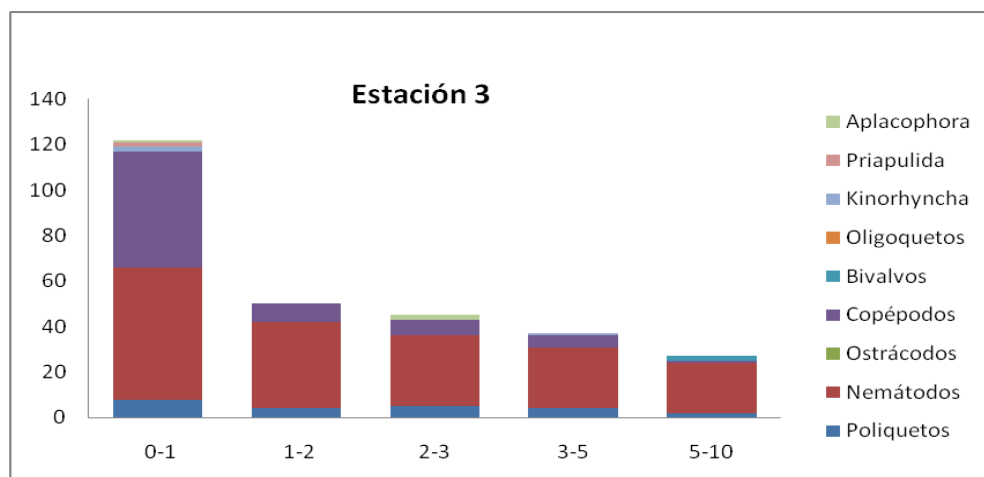
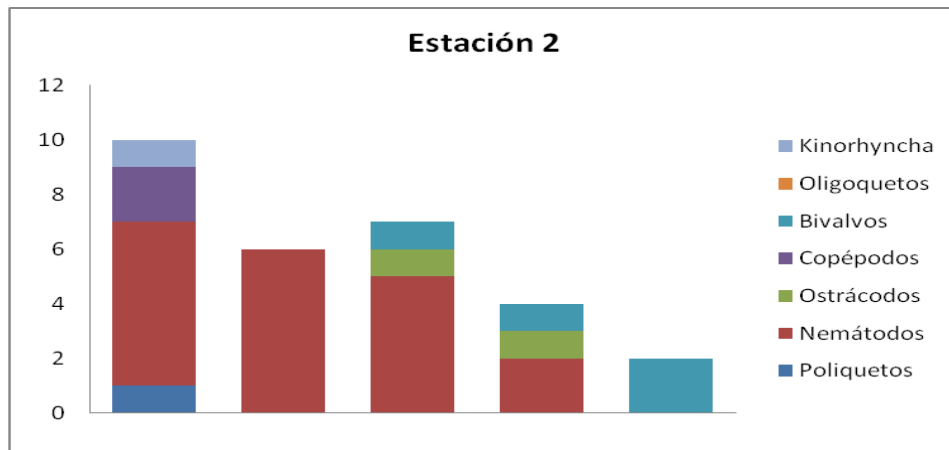
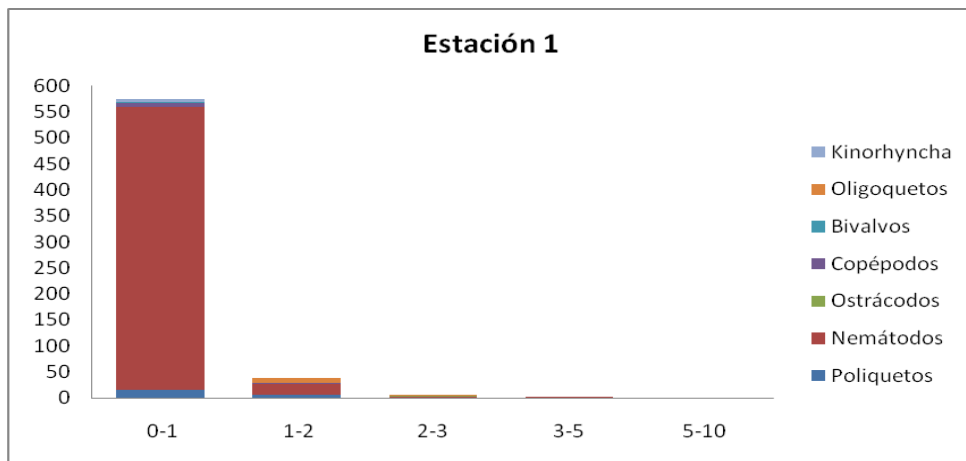


Figura 12. Abundancias por niveles para las 3 estaciones de muestreo.

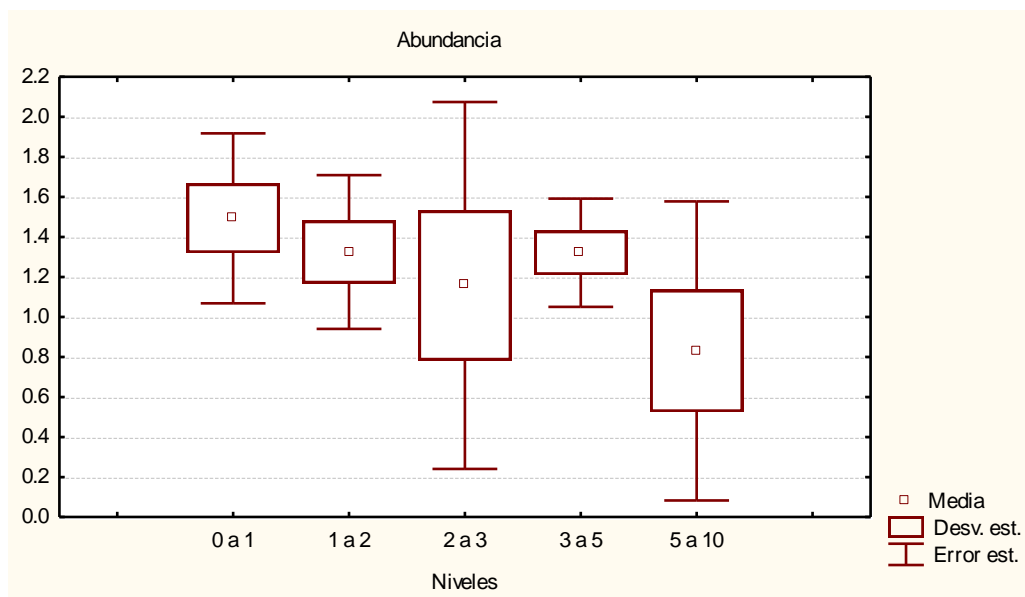


Figura 13. Abundancia en la profundidad del sedimento.

En el análisis de similitud de Bray-Curtis (fig. 14) se muestra que las estaciones E1 y E2 presentan una similitud del 50% siendo esta la de mayor valor, mientras que la estación 2 con una profundidad de 862 m es la que posee una menor similitud (20%) con las 2 estaciones restantes. En el caso del análisis de similitud por niveles (fig.15) se muestra una mayor similitud de abundancia entre los niveles 2-3 y 3-5 cm (82.53%) seguido por los niveles 3-5 y 5-10 cm con un 81.13% de similitud. Los niveles que presentaron menor similitud, fueron los niveles 0-1 y 5-10cm con un 6.55% de similitud.

FACTORES QUE DEFINEN LA VARIABILIDAD DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA Y BIOMASA BÉNTICA EN UNA ZONA DE OXÍGENO MÍNIMO EN EL GOLFO DE CALIFORNIA

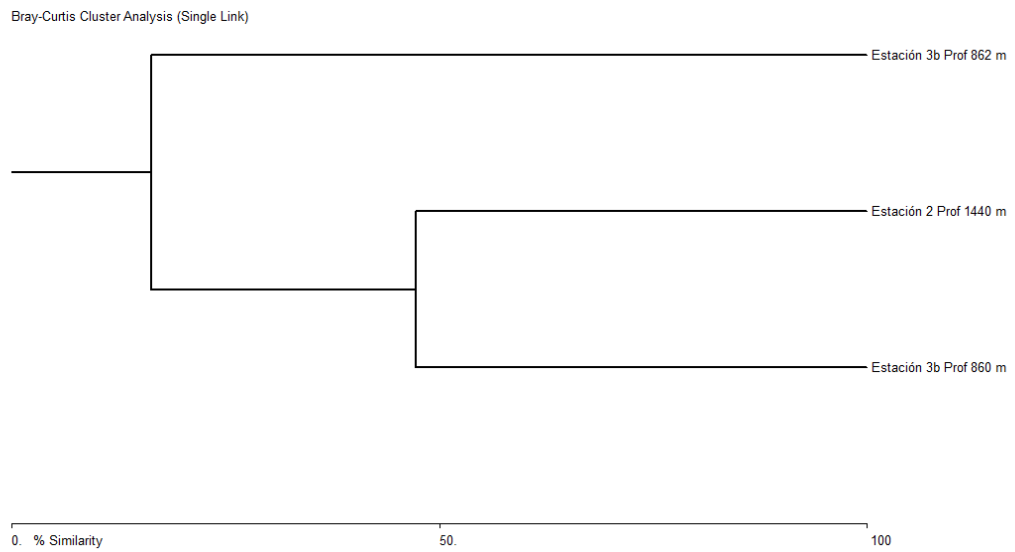


Figura 14. Dendrograma de Bray-Curtis para las estaciones de muestreo en base a sus abundancias.

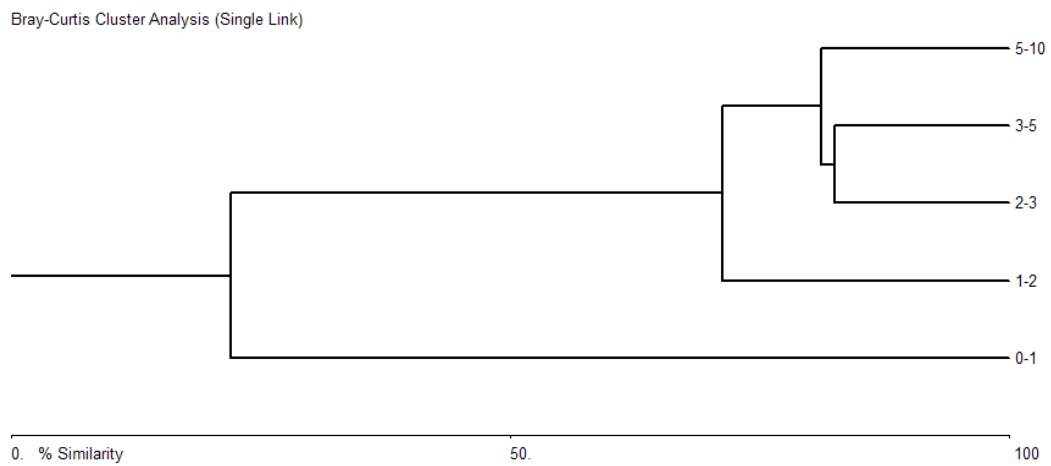


Figura 15. Dendrograma de Bray-Curtis para los niveles de las estaciones de muestreo y sus réplicas en base a sus abundancias.

FACTORES QUE DEFINEN LA VARIABILIDAD DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA Y BIOMASA BÉNTICA EN UNA ZONA DE OXÍGENO MÍNIMO EN EL GOLFO DE CALIFORNIA

El valor de p es significativo ($p < 0.05$) solo para abundancia por estaciones.

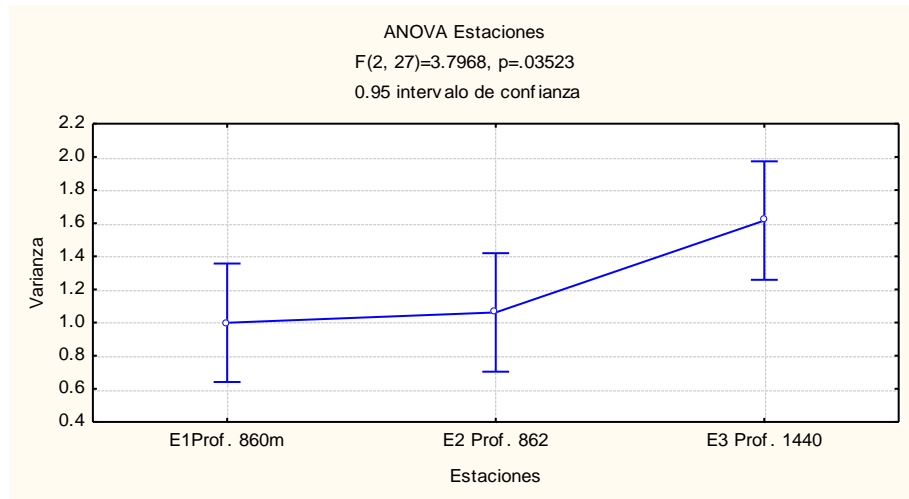


Figura 16. ANDEVA para abundancia por estaciones.

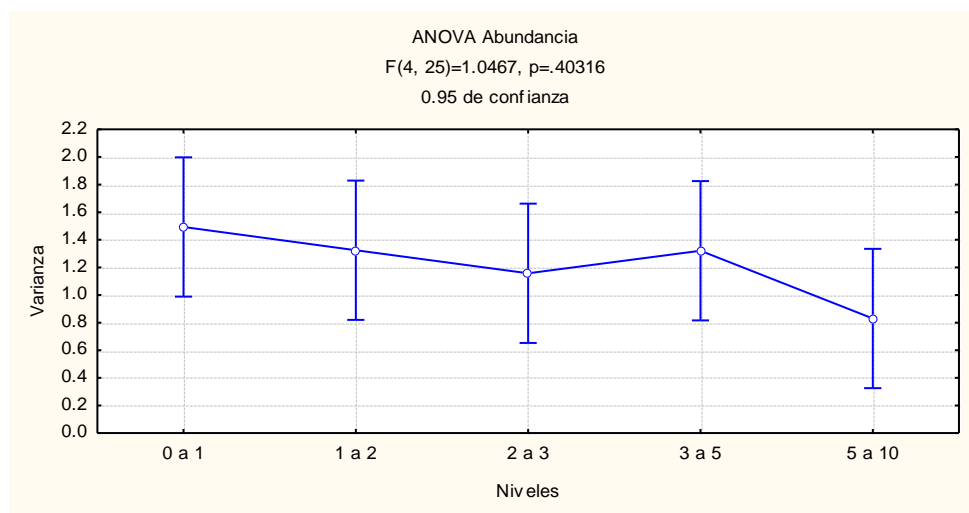


Figura 17. ANDEVA para abundancia por niveles.

Riqueza taxonómica

Las estaciones que presentan mayor riqueza son la E1 y la E3, cada una con un valor de 7 taxa presentes. La E2 presenta una riqueza menor, siendo esta de 6 taxa (fig. 18).

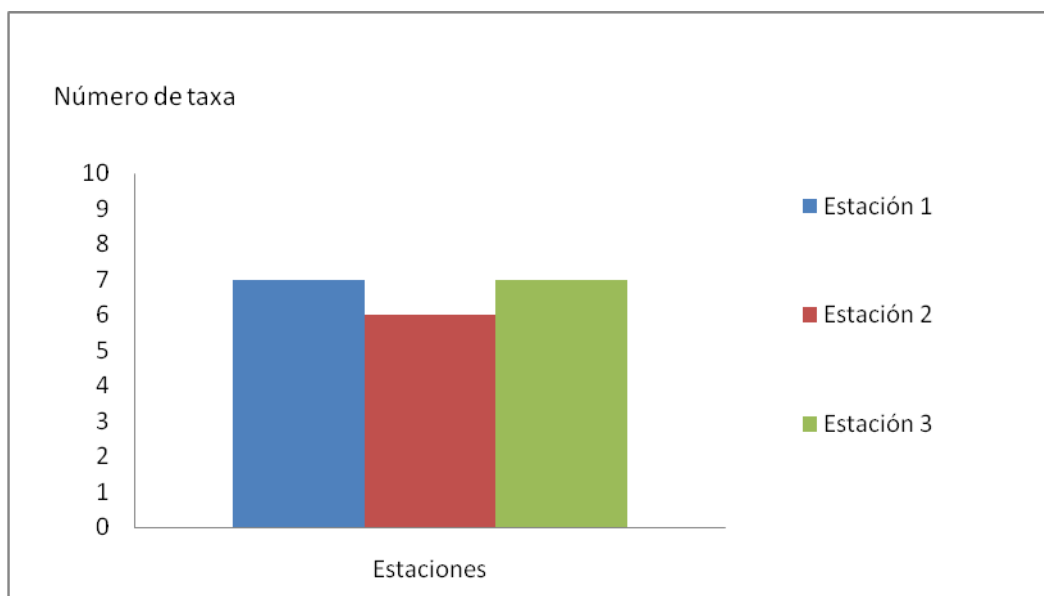


Figura 18. Gráficas de riqueza para las tres estaciones de muestreo en la ZOM.

FACTORES QUE DEFINEN LA VARIABILIDAD DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA Y BIOMASA BÉNTICA EN UNA ZONA DE OXÍGENO MÍNIMO EN EL GOLFO DE CALIFORNIA

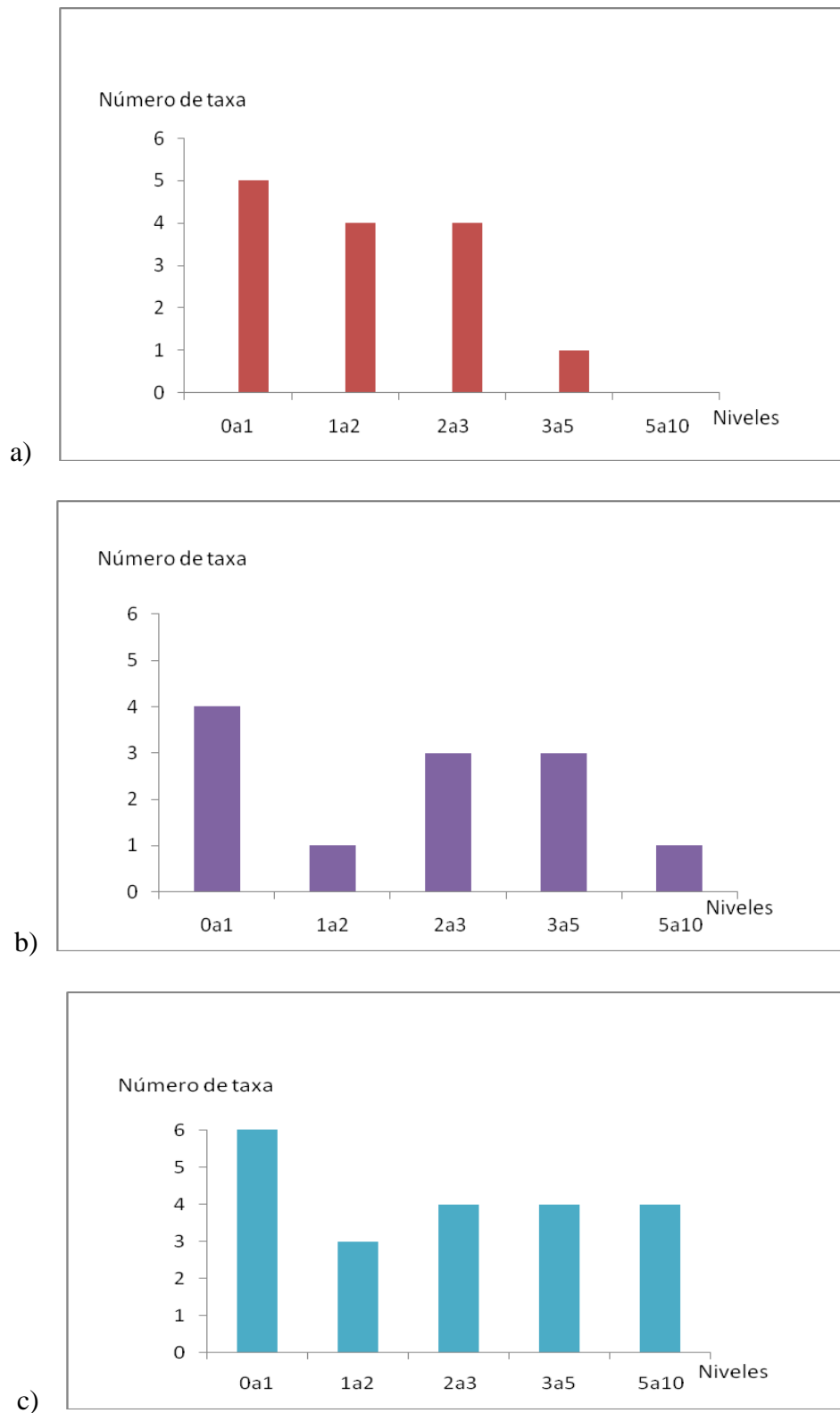


Figura 19. Riqueza taxonómica por niveles en total para las 3 estaciones de muestreo:

a)E1 b) E2 c)E3

Los niveles que presentaron una mayor riqueza en todas las estaciones fueron de 0 a 5 cm, siendo el nivel de 5 a 10 cm el nivel que presentó una disminución en la riqueza (fig. 20).

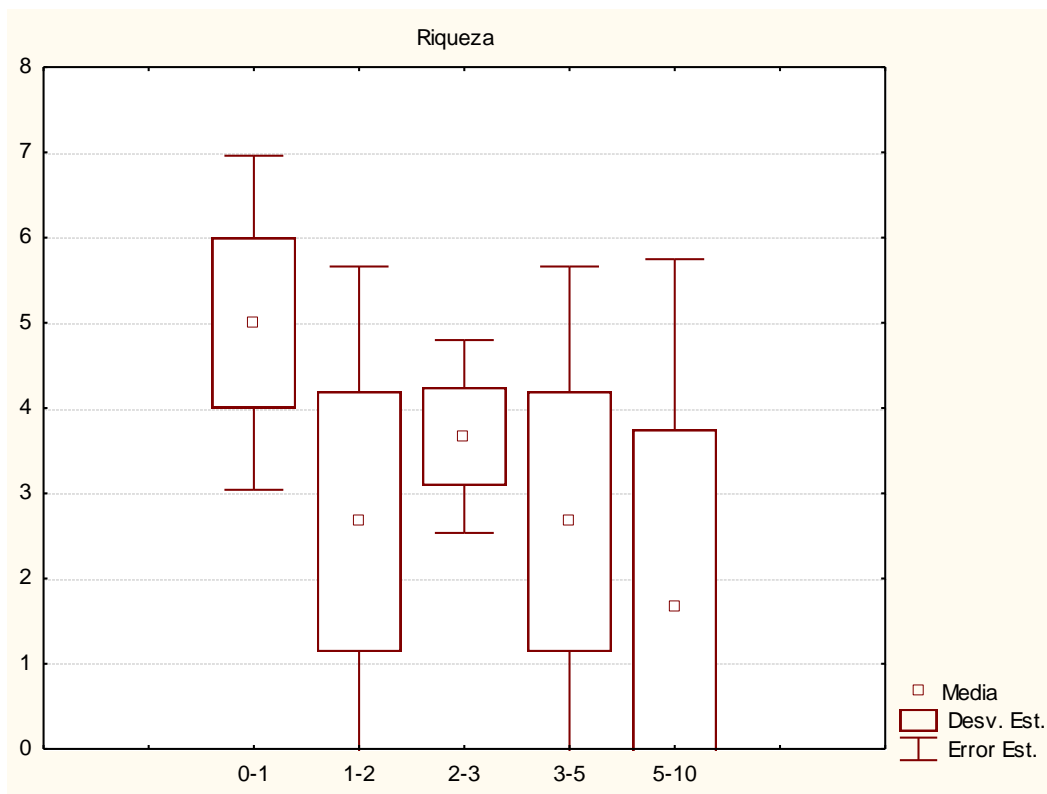


Figura 20. Variación de la riqueza por niveles para las estaciones de la ZOM.

El análisis de similitud de Bray-Curtis para riqueza por estaciones, muestra la mayor similitud entre las estaciones 1 y 3, con un 74.28%. La estación 1 y 2 muestran el menor porcentaje de similitud (69.23%) (fig. 20).

Para el análisis de similitud de Bray-Curtis por niveles (fig. 22) los niveles 0-5 cm poseen la mayor similitud con un 84.2%, mientras que los niveles 0-1 cm y 5-10 cm presentan un 50% de similitud, siendo esta la de menor valor en comparación con los demás niveles.

FACTORES QUE DEFINEN LA VARIABILIDAD DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA Y BIOMASA BÉNTICA EN UNA ZONA DE OXÍGENO MÍNIMO EN EL GOLFO DE CALIFORNIA

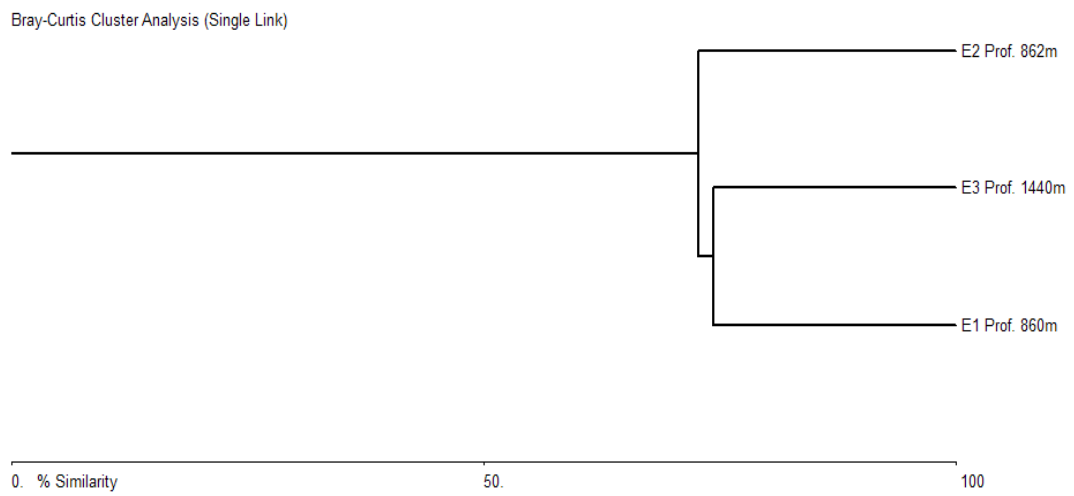


Figura 21. Dendrograma de Bray-Curtis para mostrar la relación entre las estaciones de muestreo y sus réplicas en base a su riqueza.

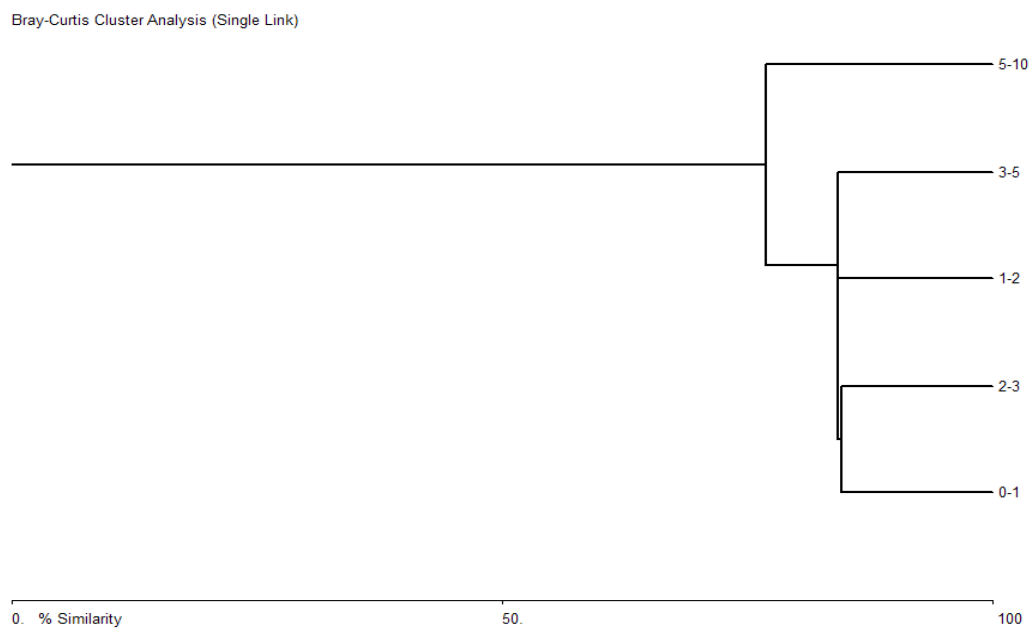


Figura 22. Dendrograma de Bray-Curtis para mostrar la relación entre los niveles de las estaciones de este estudio con base en su riqueza.

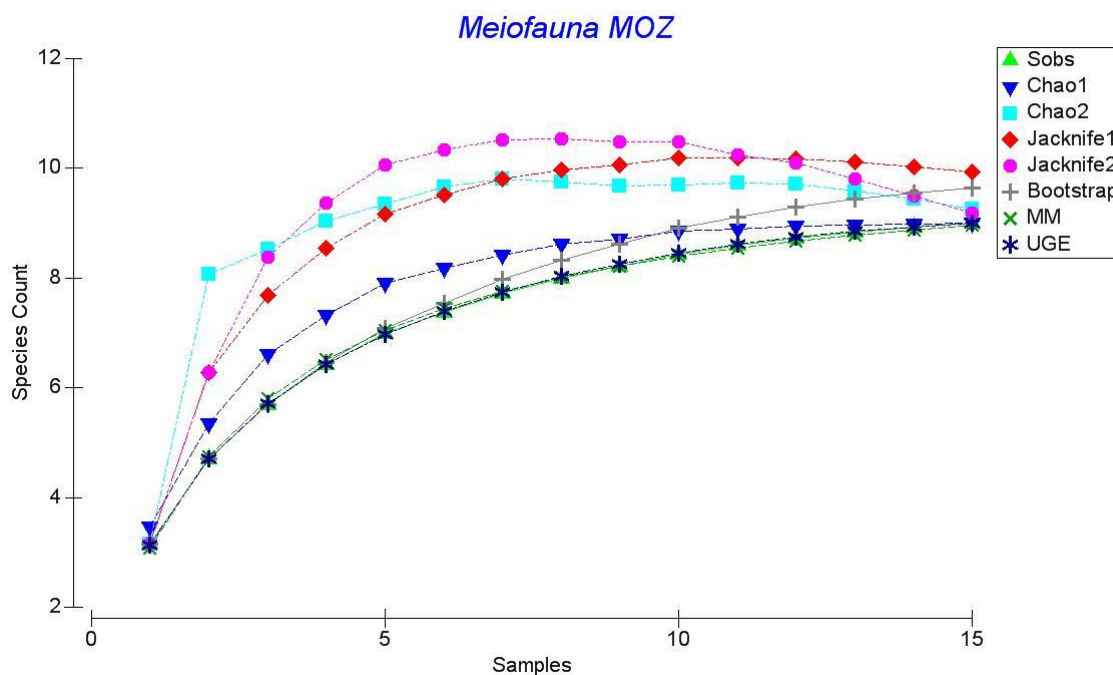


Figura 23. Gráfica de rarefacción para las muestras de ZOM.

En la gráfica de rarefacción (fig. 23) se muestra la representatividad del muestreo sobre la comunidad para el presente estudio sobre la ZOM, lo cual indica que el número de muestreos es suficiente para llevar a cabo este estudio debido a que en ella se presenta una asíntota.

Biomasa: La estación más profunda (E3) presentó los valores más elevados de biomasa ($0.34 \pm 1.04 \text{ mgC.m}^{-2}$) mientras que el valor más bajo se presentó en la E2 ($0.04 \pm 0.16 \text{ mgC.m}^{-2}$). Las estaciones mostraron una tendencia de decremento de la biomasa hacia el interior del sedimento (fig. 25). Los valores más altos de biomasa se presentaron en los primeros 2 niveles para todas las estaciones. El valor más alto ($1.24 \pm 2.32 \text{ mgC.m}^{-2}$) se presentó en el nivel 0-1cm en la estación 3, seguido por el nivel 1-2cm ($0.21 \pm 0.32 \text{ mgC.m}^{-2}$) para la misma estación. El menor valor de biomasa se encontró en los niveles 5-10 cm (0 mgC.m^{-2} para las tres estaciones) (Tabla 5).

Tabla 5. Valores promedio y de desviación estándar de la biomasa por estación y sus niveles.

Estación	Nivel (cm)	Biomasa (mgC.m ⁻²)	
1	0-1	0.51±0.84	
	1-2	0.13±0.24	
	2-3	0.02±0.02	
	3-5	0.0001±0.0002	
	5-10	0	Total E1 (mgC.m⁻²)
			0.13±0.4
2	0-1	0.18±0.35	
	1-2	0	
	2-3	0.02±0.04	
	3-5	0.02±0.04	
	5-10	0	Total E2 (mgC.m⁻²)
			0.04±0.16
3	0-1	1.24±2.32	
	1-2	0.21±0.32	

FACTORES QUE DEFINEN LA VARIABILIDAD DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA Y BIOMASA BÉNTICA EN UNA ZONA DE OXÍGENO MÍNIMO EN EL GOLFO DE CALIFORNIA

2-3	0.13±0.17	
3-5	0.07±0.08	
5-10	0.04±0.04	Total E3(mgC.m⁻²)
		0.34±1.04

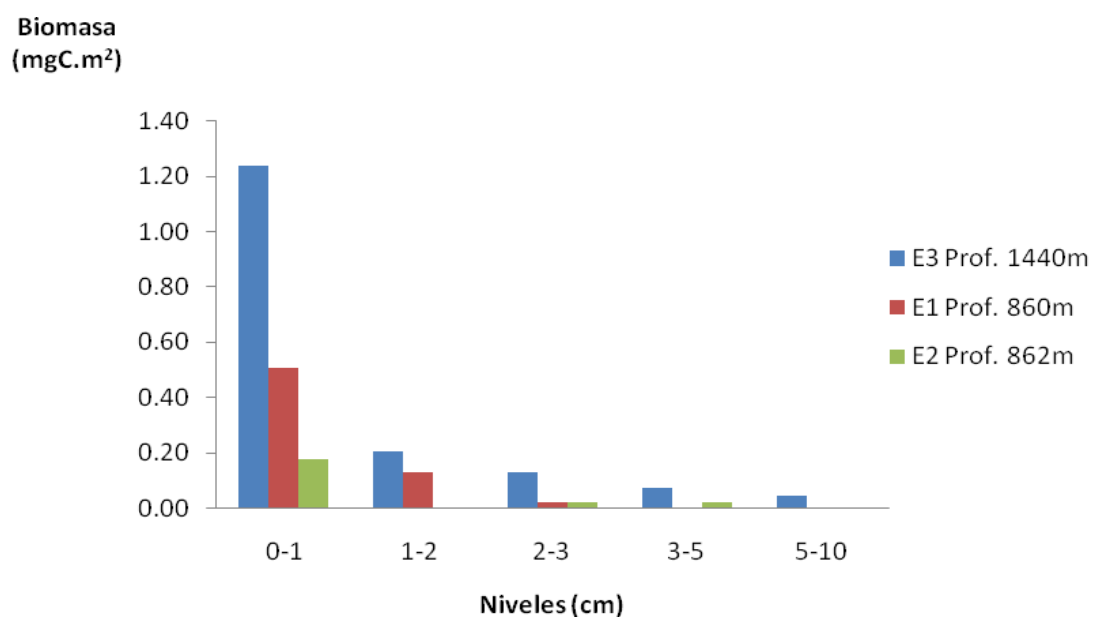


Figura 25. Variación de la biomasa con la profundidad en el sedimento.

FACTORES QUE DEFINEN LA VARIABILIDAD DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA Y BIOMASA BÉNTICA EN UNA ZONA DE OXÍGENO MÍNIMO EN EL GOLFO DE CALIFORNIA

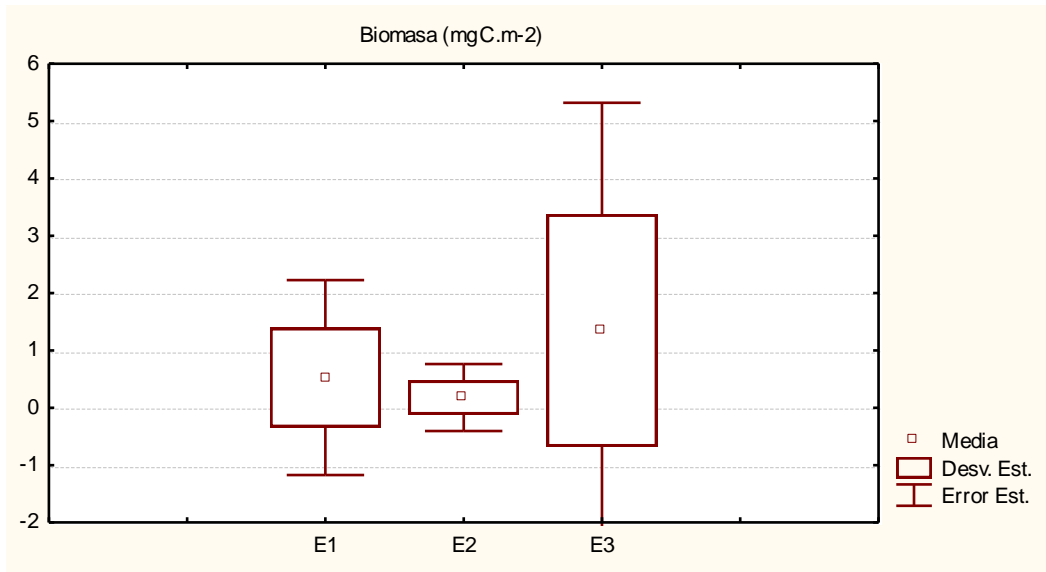


Figura 26. Biomasa por estaciones.

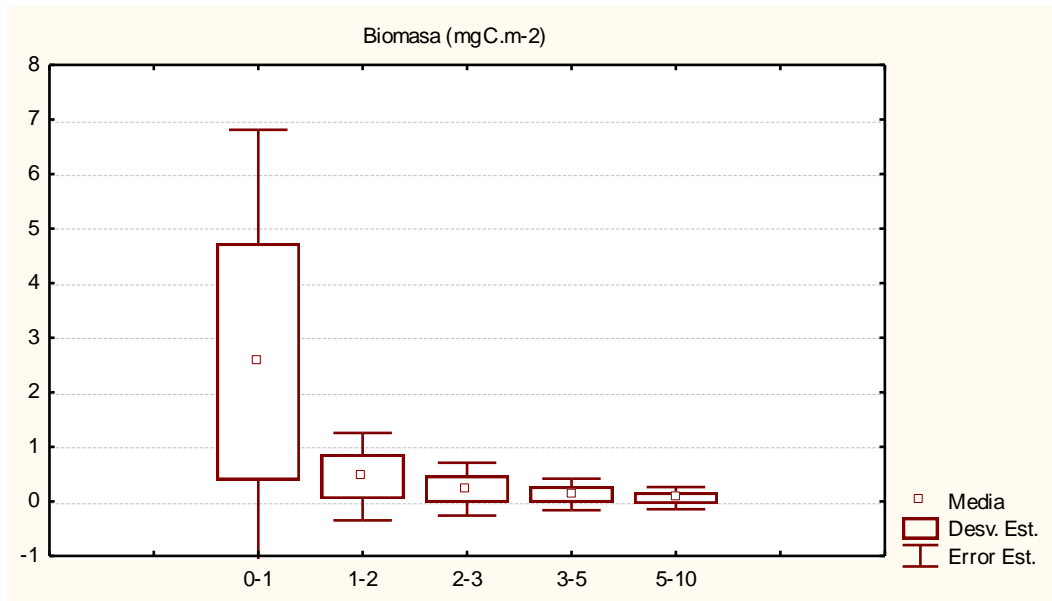


Figura 27. Biomasa por profundidad del sedimento en las 3 estaciones

En el análisis de similitud de Bray-Curtis entre estaciones, fueron las estaciones E3 y E1 con profundidades de 1440 y 860m respectivamente, las que presentaron una mayor

similitud (56.19%). La estación E2 con profundidad de 862m presentó la menor similitud con el resto de las estaciones (45.3%) (fig. 28).

La comparación entre niveles mostró la similitud mayor en los niveles 2-3 y 3-5cm (70.86%) seguidos por los niveles 3-5 y 5-10cm (64.05%).

Los niveles con menor similitud, fueron los niveles de 0-1 y 3-5cm (9.46%) así como los niveles 0-1 y 5-10cm (4.57%) (fig. 29).

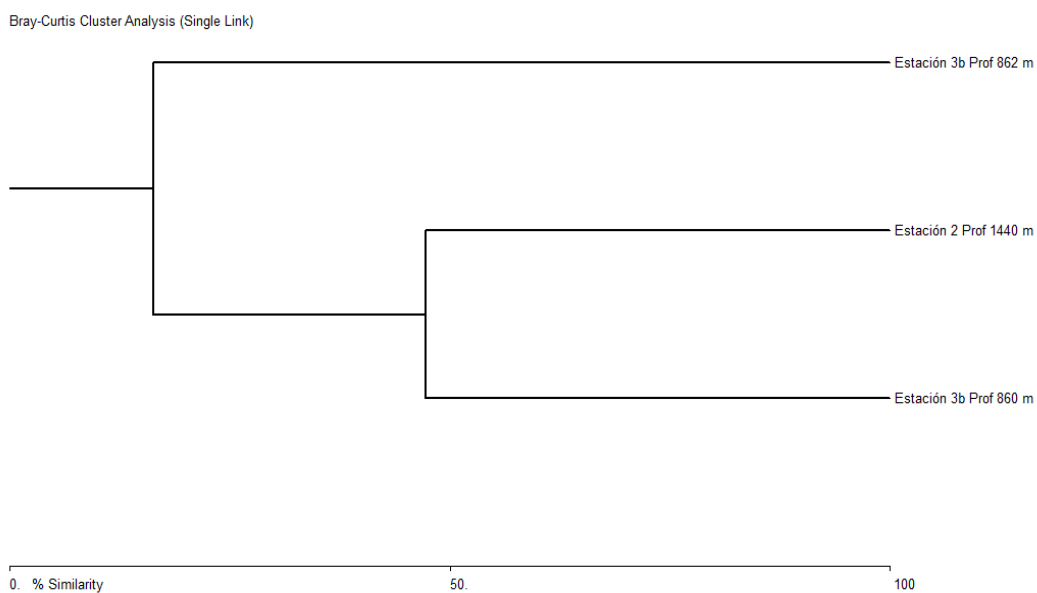


Figura 28. Análisis de Bray-Curtis para biomasa (mgCm^{-2}) para las estaciones de muestreo.

FACTORES QUE DEFINEN LA VARIABILIDAD DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA Y BIOMASA BÉNTICA EN UNA ZONA DE OXÍGENO MÍNIMO EN EL GOLFO DE CALIFORNIA

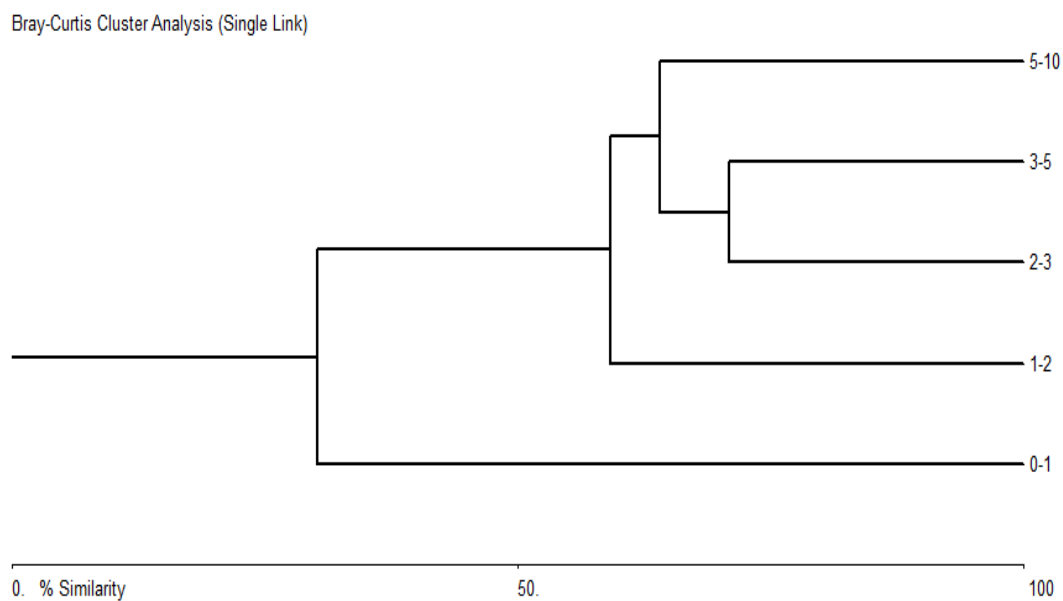


Figura 29. Análisis de Bray-Curtis para biomasa (mgC.m^{-2}) por niveles de cada estación de muestreo.

Análisis de redundancia (RDA)

Las diferencias encontradas en la abundancia muestran una variación por la concentración de C y N sedimentaria, las cuales resultaron correlacionadas significativamente. El C org en sedimento con un 10.66% (ANOVA $f=1.28$, $p=0.030$) y el N en sedimento con un 4.44% (ANDEVA $f= 1.28$, $p= 0.023$) (fig.30, tabla 4). Este análisis indica un mayor efecto de las variables C y N del sedimento sobre la densidad y abundancia de los siguientes grupos; nemátodos, poliquetos y copépodos para las estaciones E2 y E3.

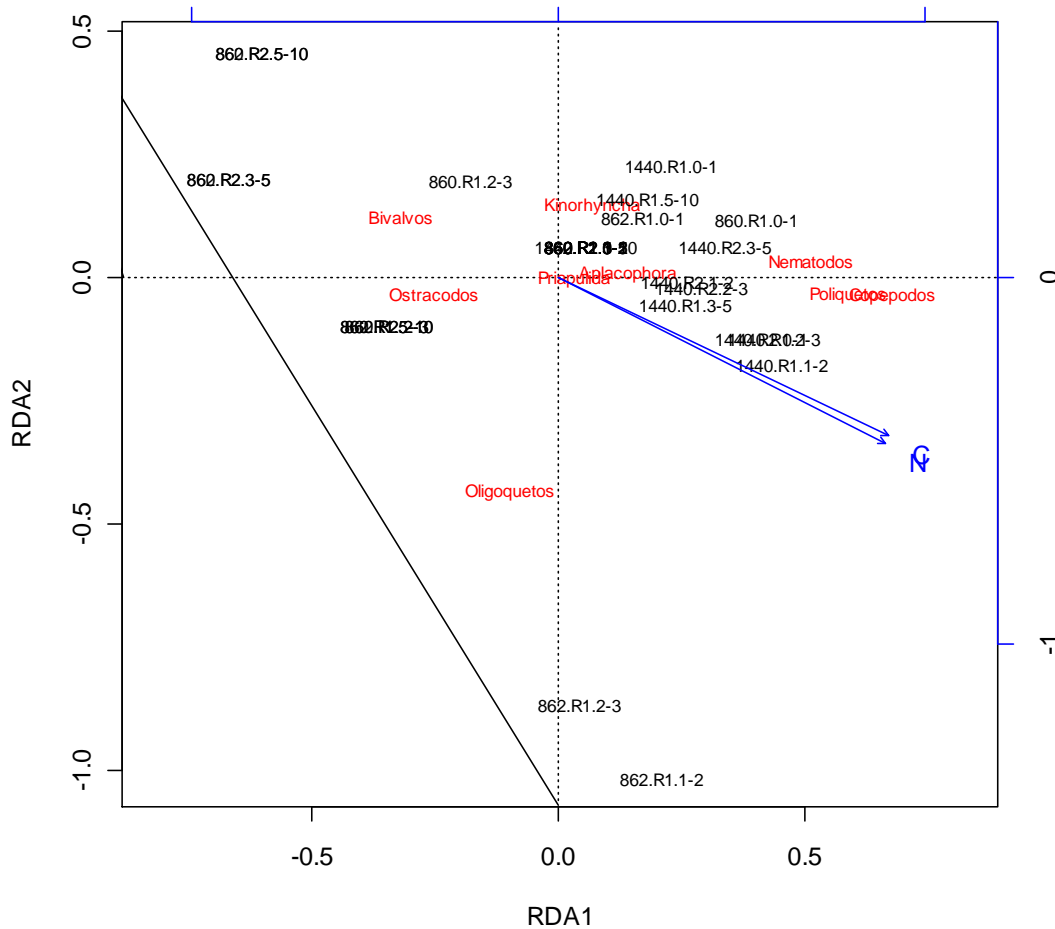


Figura 30. Análisis de redundancia para los taxa más representativos presentes en la zona de oxígeno mínimo con base en los factores ambientales C y N.

Tabla 6. Valores de F y p de los factores ambientales para el análisis de redundancia. Con negritas, los valores de p que fueron significativos ($p < 0.05$). Abreviaturas: C=carbono, N=nitrógeno, S=azufre, Chl *a*=clorofila.

Factor	Proporción	p	f(x,y)	F
Total	13.44%	0.06296	2,27	2.0956
C	10.66%	0.030	1,28	3.3409
N	4.44%	0.023	1,28	3.2565
S	8.22%	0.064	1,28	2.5062
Chl	4.82%	0.160	1,28	1.4176
Limo	2.78%	0.530	1,28	0.8004
Arena	3.88%	0.370	1,28	1.1305

Discusión

Concentración de oxígeno

La concentración de oxígeno para las estaciones E1 y E2 a profundidades de 860 y 862m respectivamente fue mayor en comparación con la estación E3 a 1440m de profundidad. Estas concentraciones pueden catalogarse dentro del término disoxia definida por Rhoads y Morse (1971), las cuales son concentraciones con valores entre 0.1 a 1 ml L⁻¹.

Por otra parte, de acuerdo con Naqvi *et al.* (2010), estas concentraciones de oxígeno pueden catalogarse como suboxia, donde la concentración de oxígeno es menor o igual a 0.1 ml L⁻¹.

Estación	Profundidad (m)	OD (μM)	OD (ml L ⁻¹)
1	860	54	0.86
2	862	54	0.86
3	1440	45	0.72

Composición elemental

La composición taxonómica y distribución de los taxa encontrados en este estudio, estuvieron determinadas por la concentración de carbono y nitrógeno presentes en el sedimento para las estaciones E2 y E3.

Levin Y Gage (1998) establecieron que las concentraciones de materia orgánica se encuentran, en la mayoría de las ZOM, inversamente asociadas con la concentración de oxígeno, lo anterior concuerda con lo obtenido en este estudio en donde los valores más elevados de carbono orgánico (C) (6.63%) se obtuvieron a una profundidad de 1440m, el cual considera una baja concentración de oxígeno, mientras que los valores más bajos de C (2.07%) se observan en el límite superior, a una profundidad de 860m, en donde la concentración de oxígeno es mayor que en los demás niveles de la ZOM. Lo anterior puede deberse muy probablemente a que la limitada luz combinada con el agotamiento de oxígeno, disminuye la descomposición microbiana de la materia orgánica depositada en el sedimento, lo cual da por resultado su acumulación. Esto conlleva a encontrar sedimentos que contienen valores >4% hasta 20.5% de carbono orgánico (Gooday *et al.*, 2009).

Voss *et al.* (2000) reportaron los patrones del isótopo del nitrógeno en las aguas del Pacífico Oriental Tropical Norte, en donde mencionan que en el centro de esta ZOM se presentaron los déficits mayores de nitrógeno, lo cual difiere de este estudio en donde la concentración de nitrógeno aumenta conforme aumenta la profundidad, obteniéndose el valor más bajo en el límite superior de la ZOM (860 m).

La diversidad de las comunidades presentes en las ZOM se ve influenciada por el aporte de MO así como por el oxígeno disuelto. Levin y Gage (1998) enfatizaron la influencia del oxígeno disuelto en la riqueza de especies y la de MO en la dominancia de especies. Sugieren que el oxígeno disuelto controla el número de especies en un área determinada, mientras que la materia orgánica disponible controla la abundancia de las especies tolerantes a hipoxia.

Levin *et al.* (2002) analizaron muestras por separado en épocas de monzón y post-monzón en el margen de Perú, para incrementar la validez de la prueba, encontrando así una correlación positiva ($p < 0.001$) entre oxígeno disuelto, diversidad y riqueza.

También obtuvieron correlaciones significativas entre estos parámetros y varias mediciones de la calidad de materia orgánica, granulometría del sedimento, concluyendo que la MO, oxígeno disuelto y en menor proporción la granulometría del sedimento, influyen en la diversidad de la meio y macrofauna presentes en estas regiones.

Estudios previos en Perú (Suess, 1981; DeVries y Percy, 1982; Reimers, 1982; Froelich *et al.*, 1988) han indicado que los sedimentos asociados con surgencias son en su mayoría ricos en materia orgánica (hasta 20% C org.). Estos mencionan que el aporte de comida y su calidad se encuentran correlacionados positivamente con la densidad de nemátodos.

Cook *et al.* (2000) reportaron una alta correlación entre la densidad de nemátodos y la calidad del alimento disponible a lo largo de un transecto en la ZOM del margen de Oman, donde la relación C:N varió desde 8.82 hasta 17.84, indicando que la parte de materia orgánica acumulada en el margen de Perú ha sido objeto de una descomposición preferencial de compuestos orgánicos nitrogenados.

Análisis de clorofila *a* en sedimento

En estudios realizados por Neira *et al.* (2001) en el margen de Perú, los sedimentos pertenecientes a los sitios más profundos, presentaron concentraciones de clorofila (Chl) por debajo de 1 mg g^{-1} en todas las fracciones verticales de la columna de sedimento.

En este estudio, los resultados obtenidos son similares en cuanto a la concentración máxima de Chla, la cual mostró una relación inversa con la profundidad. El valor más alto de clorofila ($2.67 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$) se encontró en la E1 a 860m de profundidad, seguido por la estación E2 a 862 m ($1.75 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$), mientras que el valor más bajo ($1.66 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$) se encontró en la E3 a 1440m.

La presencia de Chla a en el sedimento refleja el flujo de materia orgánica al fondo que se representa como la disponibilidad de alimento para la fauna bentónica (Levin *et al.*, 2000). En el margen de Oman, los pigmentos mostraron una correlación significativa

con la profundidad, debido principalmente a que es un sitio de depósito alto de materia orgánica que genera condiciones bajas en oxígeno (Levin *et al.*, 2000).

Tamaño de grano

Para las regiones pertenecientes al límite superior en las ZOM, Gooday *et al.* (2009) mencionan que éstas se caracterizan por presentar sedimentos gruesos, mientras que los sedimentos en las regiones centrales o núcleo de la ZOM, los sedimentos se encuentran consolidados con un alto contenido de agua, fácilmente resuspendido y generalmente ricos en MO (Pfannkuche *et al.* 2000; Neira *et al.* 2001). En este estudio, las fracciones con mayor cantidad en sedimento fueron los limos y limos gruesos con 1.94% en la E2 (862m) a 18.01% en la E1 (860m) y 11.36% a 17.32% en la E3 (1440m).

Abundancia

La parte más profunda de la ZOM es frecuentemente una región de intensa actividad biológica caracterizada por riqueza taxonómica baja pero de elevada abundancia, lo cual se cree es un reflejo de una producción limitada de oxígeno combinado con una abundancia de materia orgánica (Wishner *et al.* 1990; Levin *et al.* 1991; Levin 2003). De acuerdo a la hipótesis presentada por Neira *et al.* (2001) para el sureste del Pacífico, las densidades aumentan por un efecto indirecto del decremento en la concentración de oxígeno, involucrando: una reducción en los depredadores y competidores así como la preservación de materia orgánica que conlleva a una gran disponibilidad de alimento de alta calidad. Contrariamente a lo anterior, en este estudio la mayor abundancia se encontró en la E1 (860 m). seguido por la E3 (1440 m). La razón por la cual la mayor abundancia se encontró en la E1, puede deberse a que hay un mayor aporte de oxígeno.

En un estudio realizado por Sellanes *et al.* en el 2003 frente a las costas del centro de Chile, el meiobentos resultó ser poco diverso a nivel de grandes grupos, pero con abundancias y biomasa de moderadas a altas, siendo dominantes los nemátodos, aportando más del 95% de la densidad total, seguidos por los copépodos y los poliquetos, los cuales no superaron el 2% de las abundancias totales. Lo anterior concuerda con lo obtenido en el presente estudio en que la mayor abundancia fue para los nemátodos con un 82.17% en total para las 3 estaciones. En el caso de los poliquetos

y los copépodos los porcentajes fueron mayores con 4.83% y 9.02% de la abundancia total, respectivamente.

Densidad

En el estudio realizado por Neira et al. (2001) en el margen de Perú, a profundidades similares a las de este estudio, obtuvieron las densidades mayores, desde 1517 ind.10 cm⁻² en límite superior de la ZOM, hasta 440-548 ind. 10 cm⁻² en el nivel inferior, por debajo de la ZOM. Sellanes *et al.* (2003) reportan que los nemátodos alcanzaron densidades máximas de 10.360±1.984 ind 10 cm⁻², mientras que el mínimo se ubicó en el sitio más profundo, 757±204 ind 10 cm⁻². Las densidades de los demás grupos fueron de magnitud inferiores, encontrándose también las mayores abundancias para grupos como copépodos y poliquetos. Los valores altos de densidades dentro de las ZOM y especialmente una alta dominancia de nemátodos, son considerados como una posible consecuencia de la habilidad de estos organismos a tolerar condiciones bajas en oxígeno, para tomar ventaja sobre la comida abundante, desarrollarse en ausencia de la mayoría de sus depredadores y tolerar sedimentos de constitución muy líquida (Neira *et al.*, 2001c; Levin *et al.*, 2002).

Para la ZOM de este estudio, los poliquetos fueron el segundo grupo con mayor densidad, precedido por los nemátodos. Para el caso de los crustáceos (Copepoda) obtenidos en este estudio, presentaron una mayor densidad en el límite inferior de la ZOM, difiriendo con lo establecido por Mullins *et al.* (1985). Gooday *et al.* (2008) reportaron los resultados obtenidos en el estudio del margen de Pakistán, donde obtuvieron densidades con valores bajos a 1100 y 1200 m de profundidad (0.52 y 70 indiv.m⁻¹) encontrando el valor más bajo a 1850m (0.01 ind. m⁻¹).

Riqueza taxonómica

Levin y Gage (1998) reportan que las comunidades bentónicas localizadas en el núcleo de las ZOM, exhiben una diversidad y riqueza de especies muy baja, así como niveles altos de dominancia por parte de pocas especies tolerantes. Lo anterior concuerda con lo obtenido en este estudio, pues se obtuvieron una diversidad y riqueza muy bajas y una dominancia por parte de los nemátodos para las 3 estaciones de estudio. Se presentaron tendencias notables en la composición taxonómica de los diferentes taxa a través de la ZOM.

Las estaciones que presentan mayor riqueza son las estaciones E1 con una profundidad de 860 m y la estación E3 con 1440 m de profundidad, cada una con un valor de 7 taxa presentes, mientras que la estación E2 con 862m de profundidad presenta una riqueza menor, siendo esta de 6 taxa. La depresión en la riqueza de los márgenes impactados por una ZOM, es frecuentemente atribuida al efecto de la hipoxia. Estudios realizados por Palma *et al.* (2005) respaldan esta idea con lo obtenido a través de muestreos en el margen continental de Chile (26-43 especies) hasta Concepción (14-31 especies) y Antofagasta (4-15 especies).

La combinación de baja riqueza de taxa y alta abundancia de la meiofauna metazoaria en zonas de mínimo oxígeno está bien documentada y puede ser explicada por: (i) un efecto indirecto positivo del oxígeno a través de la exclusión de predadores y competidores (Levin et al. 1991, Neira et al. 2001b) y (ii) en términos de maximización del aprovechamiento de la energía. Esto último lleva a una comunidad con una organización simple, constituida principalmente por organismos de pequeño tamaño corporal.

Biomasa

El taxón con mayor biomasa fue el de los copépodos (0.60 ± 1.231 mgC.m²) seguido por los nemátodos (0.06 ± 0.077 mgC.m²) y poliquetos (0.01 ± 0.017 mgC.m²). Lo anterior difiere con lo reportado por Sellanes *et al.* (2003) para las costas frente a Chile, en donde los nemátodos contribuyeron en más de un 90 % a los valores de la biomasa total en todos los sitios. Esta diferencia puede deberse a que los nemátodos en estas

estaciones presentan un tamaño menor pero mayor densidad que los reportados por Sellanes (2003), mientras que los copépodos de este estudio presentan un tamaño mayor contribuyendo de esta manera con una mayor biomasa.

Levin (2003) menciona que la macro y meiofauna presentes en estas ZOM muestran una biomasa reducida conforme la concentración de oxígeno disminuye. En este estudio se presentó lo contrario (la mayor biomasa se encontró en la estación con menor concentración de oxígeno), lo anterior puede deberse a que hay un mayor contenido de materia orgánica y es aprovechada por la fauna como fuente de alimento contribuyendo a su vez a una mayor talla.

Conclusiones

1. La clorofila “a” presente en el sedimento presenta una relación inversa con la profundidad.
2. El sedimento se encuentra dominado por limos y limos gruesos, seguidos por arenas muy finas y finas.
3. La concentración de C y N aumentó conforme se incrementó la profundidad. Lo anterior sugiere una correlación inversa con la concentración de oxígeno disuelto.
4. La composición taxonómica, riqueza y densidad de la meiofauna de la ZOM en el Golfo de California, muestran un patrón similar a lo reportado en otros estudios, en los cuales hay un aumento de estas características en el límite superior de la ZOM (7 taxa, 2534.7 ± 13123.174 ind/m²), seguido por un decremento en la parte media (6 taxa, 118.4 ± 233.7 ind/m²) para después presentar de nuevo un aumento considerable en el límite inferior de la misma (892.1 ± 1939.52 ind/m²).
5. La biomasa presenta un posible incremento con la profundidad, respondiendo a la cantidad de materia orgánica presente en el sedimento.
6. La cantidad de C y N son los factores ambientales que describen los patrones de distribución de la meiofauna presente en la ZOM del área de estudio.

REFERENCIAS

Formato Deep-Sea Research

- Álvarez-Borrego S. 1983. Gulf of California. En Ketchum, B.H. (Ed.) Estuaries and Enclosed Seas. Elsevier Amsterdam . 427-449.
- Álvarez-Borrego S., Rivera J.A., Gaxiola Castro G., Acosta Ruiz M, Schwartzlose R.A. 1978. Nutrientes en el golfo de California. Ciencias Marinas, 5(2): 53-71.
- Alvarez-Borrego S. 2008. Oceanografía de la región de las grandes islas. En: Gustavo D. Danemann y Exequiel Ezcurra, Editores. "Bahía de los Ángeles: recursos naturales y comunidad. Línea base 2007". Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. ISBN: 978-968-817-891-1, (1) Publicado (PA: 84604)
- Alvarez-Borrego S., Lara Lara J.R. 1991. The physical environment and primary productivity of the Gulf of California. En: Dauphin and Simoneit, Editores. "The Gulf and Peninsula, Province of the Californias. America Asoc. of Petroleum Geologist, Memoria 47". Publicado (PA: CEECH9101)
- Arar, J.E., Collins, B.G., 1997. *In Vitro* Determination of Chlorophyll *a* and Pheophytin *a* in marine and Freshwater Algae by Fluorescence. National Exposure Research Laboratory. Cincinnati, Ohio. pp. 22.
- Bernhard, J. & Sen Gupta, B. K. 1999. Foraminifera of oxygen depleted environments. In Modern Foraminifera, B. K. Sen Gupta (ed.). Dordrecht: Kluwer, 201–216.

- Bray N.A. 1988. Thermohaline circulation in the Gulf of California. *J. Geophys. Res.* 93: 4993-5020.
- Bray, J.R., Curtis, J.T., 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin *Ecological Monographs* 27, 325-349.
- Byrne & Emery. 1960. Sediments of the Gulf of California. *Geol. Soc. Am. Bull.* 71:983-1010.
- Benson N. Richard. 2005. Holocene Radiolaria from Sediments of the Gulf of California. Recurso electrónico descargado de la página www.radiolaria.org.
- Cannariato, K. G. & Kennett, J. P. 1999. Climatically related millennial-scale fluctuations in strength of California margin oxygen minimum zone during the past 60 k.y. *Geology* 27, 975–978.
- Cannariato, K. G., Kennett, J. P. & Behl, R. J. 1999. Biotic response to late Quaternary rapid climate switches in Santa Barbara Basin: ecological and evolutionary implications. *Geology* 27, 63–66.
- Childress J.J., Seibel B.A. 1998. Life at stable low oxygen levels: adaptations of animals to oceanic oxygen minimum layers. *The Journal of Experimental Biology* 201, 1223-1232.
- Coull, B.C. 1988. Ecology of the marine meiofauna. *En Higgins, R. H. & Thiel, H. (Editores). Introduction to the Study of Meiofauna. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C., 18-38.*

- De la Rosa J., González-Farías F. (Eds.). 2008. Temas de oceanografía biológica en México, Vol. 2. Universidad Autónoma de Baja California.
- DeVries, T.J., Percy, W.G., 1982. Fish debris in sediments of the upwelling zone off central Peru: a late Quaternary record. *Deep-Sea Research* 29, 87–109.
- Diaz RJ & Rosenberg R. 1995. Marine benthic hypoxia: a review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna. *Oceanogr. Marine Biology: an Annual Review* 33:245-303.
- Estrada-Santillán, E.L. 2004. Macroinfauna béntica del cañón de Campeche, SW del Golfo de México. Tesis de Licenciatura, FES-Iztacala, UNAM, México.
- Fernández-Álamo M. A., Färber-Lorda J. 2006. Zooplankton and the oceanography of the Eastern Tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography* (69) 318-359.
- Fernández-Barajas, M.E., Monreal-Gómez, M.A. y Molina-Cruz A. 1994. Estructura termohalina y flujo geostrófico en el Golfo de California, durante 1992. *Ciencias Marinas*. 20(2):267-286.
- Fiedler, P.C., Lavín, M., 2006. Introduction: a review of eastern tropical Pacific oceanography. *Progress in Oceanography* 69 (2–4), 94–100
- Froelich, P.N., Arthur, M.A., Burnett, W.C., Deakin, M., Hensley, V., Jahnke, R., Kaul, L., Kim, K.-H., Roe, K., Soutar, A., Vathakanon, C., 1988. Early diagenesis of organic matter in Peru continental margin sediments: phosphorite precipitation. *Marine Geology* 80, 309–343.

- Gómez-Noguera, S. E., M. E. Hendrickx. 1997. Distribution and abundance of meiofauna in a subtropical coastal lagoon in the south-eastern Gulf of California, Mexico. *Marine Pollution Bulletin* 34(7):582-587.
- Gonzalez, R. R. & Quiñones, R. A. 2000. Pyruvate oxidoreductases involved in glycolytic anaerobic metabolism of polychaetes from the continental shelf off central-south Chile. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 51, 507–519.
- Gooday A.J., Levin L.A., Aranda da Silva A., Bett B.J., Cowie G.L., Dissard D., Gage J.D., Hughes D.J., R. Jeffreys, Lamont P.A., Larkin K.E., Murty S.J., Schumacher S., Whitcraft C., Woulds C. 2009. Faunal responses to oxygen gradients on the Pakistan margin: A comparison of foraminiferans, macrofauna and megafauna. *Deep-Sea Research II* 56 488-502.
- Gooday A.J., Bett B.J, Escobar El., Ingole B., Levin L.A., Neira C., Raman V. A., Sellanes J. Habitat heterogeneity and its influence on benthic biodiversity in oxygen minimum zones. 2009. *Marine Ecology*. 1-23 pp.
- Gray John S. The ecology of marine sediments: An introduction to the structure and function of benthic communities. 1981. Cambridge University Press. 179 pp.
- Hendrickx M.E. 2001. Occurrence of a continental slope decapod crustacean community along the edge of the minimum oxygen zone in the south eastern Gulf of California, México. *Belg. Journal of Zoology*, 131(2):95-109.
- Hernández Ayón, J.M, M.S. Galindo Bect, B. P. Flores Báez, S. Álvarez Borrego. 1992. Nutrient concentrations are high in the turbid waters of the Colorado River Delta. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*

- Hidalgo-González R.M., Álvarez-Borrego S., Zirino A. 1997. Mixing in the región of the Midriff Islands of the Gulf of California: Effect on surface pCO₂. *Cienc. Mar.* (23) 317-327.
- Kamykowski, D. & Zentara, S. J. 1990. Hypoxia in the world ocean as recorded in the historical data set. *Deep-Sea Research* 37, 1861–1874.
- Lamont, P. A. & Gage, J. D. 2000. Morphological responses of macrobenthic polychaetes to low oxygen on the Oman continental slope, NW Arabian Sea. *Deep-Sea Research, Part II* 47, 9–24.
- Legendre P, Anderson MJ. 1999. Distance-based redundancy analysis: testing multispecies responses in multifactorial ecological experiments. *Ecol Monogr.* 69: 1-24
- Levin L.A., Thomas C., Wishner K. 1991. Control of deep-sea benthic community structure by oxygen and organic-matter gradients in the eastern Pacific Ocean. *Journal of Marine Research*, 49, 763–800.
- Levin L.A., Gage J.D., Martin C., Lamont P.A. 2000. Macrobenthic community structure within and beneath the oxygen minimum zone, NW Arabian Sea. *Deep-Sea Research II*, 47,189–226.
- Levin, L.,Gutiérrez,D., Rathburn,A., Neira,C., Sellanes,J.,Munóz, P.,Gallardo,V., Salamanca, M.,2002.Benthic processes on the Peru margin:atranssect across the oxygen minimum zone during he1997–98 ElNiño. *Progressin Oceanography* 53,1–27.
- Levin L. 2003. Oxygen Minimum Zone Benthos: Adaptation and community response to hypoxia. *Marine Biology: an Annual Review* 2003, 41, 1-45.

- Levin L.A., Gage J.D. 1998. Relationships between oxygen, organic matter and the diversity of bathyal macrofauna. *Deep-Sea Research II*, 45, 129–163.
- Levitus S. 1982. Climatological atlas of the world ocean. U.S. Department of Commerce, NOAA Professional Paper 13, 173 pp.
- Lindsay G.E., 1983. History of scientific exploration in the sea of Cortéz. En: Case, T.J. y M.L. Cody (eds). *Island biogeography in the Sea of Cortéz*. Univ. Calif. Press, U.S.A., 3-12.
- Lluch-Belda, D., Lluch-Cota, D.B. y Lluch-Cota, S.E. 2003. Baja California's biological transition zones: Refuges for the California sardine. *Journal of Oceanography* (59) 503-513.
- Lluch-Cota S.E., Aragón-Noriega E.A., Arreguín-Sánchez F., Auriolles-Gamboa D., Bautosta 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., Luch-Cota D.B., López-Martínez J., G. Marione S., Nevárez-Martínez M.O., Ortega-García S., Palacios-Castro E., Parés-SierraA., Ponce-Díaz G., Ramírez-Rodríguez M., Salinas-Zavala C.A., Schwartzlose R.A., Sierra-Beltrán P. The Gulf of California: Review of ecosystems status and sustainability challenges. 2007. *Progress in Oceanography* (73) 1-26.
- Marinone S.G. 2003. A three-dimensional model of the mean and seasonal circulation of the Gulf of California. *J. Geophys. Res.* 108, No. C10, 3325, doi: 10.1029/2002JC001720.
- Molina-Cruz. 1986. Evolución oceanográfica de la boca del Golfo de California. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, UNAM, 13(2): 95-120.
- Molina-Cruz. 1988. Late quaternary oceanography of the mouth of the Gulf of California: The polycystine connection. *Paleoceanography*, 3(4): 447-459.

- Müller, M. C., Bernhard, J. M. & Jouin-Toulmond, C. 2001. A new member of Nerillidae (Annelida: Polychaeta), *Xenonerilla bacteriicola* gen. et sp. nov., collected off California, USA. *Cahiers de Biologie Marine* 42, 203–217.
- Mullins H., Mc Dougal K., Vercoutere L.T. 1985. Oxygen-minimum zone edge effects: Evidence from the central California coastal upwelling system. *Geology* 13, 491-494.
- Naqvi S.W.A., Bange H.W., Farías L., Monteiro P.M.S., Scranton M.I., Zhang J. 2010. Marine hypoxia/anoxia as a source of CH₄ and N₂O. *Biogeosciences* (7) 2159-2190.
- Neira, C., Sellanes, J., Levin, L. A. & Arntz, W. E. 2001b. Meiofaunal distributions on the Peru margin: relationship to oxygen and organic matter availability. *Deep-Sea Research* 48, 2453–2472.
- Neira, C., Sellanes, J., Levin, L.A., Arntz, W., 2001c. Meiofaunal distributions on the Peru margin: relationship to oxygen and organic matter availability. *Deep-Sea Research I* 48, 2453–2472.
- Owens, W.B., and R.C. Millard Jr., 1985: A new algorithm for CTD oxygen calibration. *J. Physical Oceanography*, 15, 621-631.
- Palma M., Quiroga E., Gallardo V.A., Arntz W., Gerdes W., Schneider W.O., Hebbeln D. (2005) Macrobenthic animal assemblages of the continental margin off Chile (22° to 42 ° S). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 85, 233–245.
- Perez-Cruz, L. L. & Machain-Castillo, M. L. 1990. Benthic foraminifera of the oxygen minimum zone, continental shelf of the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Journal of Foraminiferal Research* 20, 312–325.

- Pfannkuche O., Sommer S., Kähler A. 2000. Coupling between phytodetritus deposition and the small-sized benthic biota in the deep Arabian Sea: analyses of biogenic sediment compounds. *Deep-Sea Research II*, 47, 2805–2833.
- Reimers, C.E., 1982. Organic matter in anoxic sediments off central Peru: relations of porosity, microbialdecomposition and deformation properties. *Marine Geology* 46, 175–197.
- Rhoads, D. C. & Morse, J. W. 1971. Evolutionary and ecologic significance of oxygen-deficient marine basins. *Lethaia* 4, 413–428.
- Richards, F. A. 1957. Oxygen in the Ocean. *Geol. Soc. Amer. Mere.* 1, 185-238.
- Robinson, M.K., 1973. Atlas of Monthly Mean Sea Surface and Subsurface Temperatures in the Gulf of California, Mexico. San Diego Soc. Nat. Hist., *Memoir* 5; 1-97.
- Roden, G. 1964. Oceanographic aspects of the gulf of California. En Van Andel Tj. H y G. G. Shor Jr (Eds.). *Marine Geology of the Gulf of California: A symposium*, Am. Ass. Pet. Geol. *Memoir* 3: 30-58.
- Rogers, A. D. 2000. The role of oceanic oxygen minimum zones in generating biodiversity in the deep sea. *Deep-Sea Research* 47, 119–148.
- Rosas-Cota, A. 1977. Corrientes geostróficas en el golfo de California en la superficie y a 200 metros, durante las estaciones de invierno y verano. *CalCOFI Rep.*, 19:89-106.

- Ruznak, G.A. and Fisher, R.L. 1964. Structural history and evolution of the Gulf of California. En: Marine Geology of the Gulf of California, van Andel, T.H. and Shor, G.G., eds., A.A.P. G., Memoir 3, 144-156.
- Sarmiento, J. L., Herbert, T. D. & Toggweiler, J. R. 1988. Causes of anoxia in the world ocean. *Global Biogeochemical Cycles* 2, 115–128.
- Sellanes J., Neira C., Quiroga E. 2003. Composición, estructura y flujo energético del meiobentos frente a Chile central. *Revista Chilena de Historia Natural* (76) 401-415 pp.
- Sen Gupta, B. K. & Machain-Castillo, M. L. 1993. Benthic foraminifera in oxygen-poor habitats. *Marine Micropaleontology* 20, 183–201.
- Simpson J.H., Souza A.J., Lavín M.N. 1994. Tidal mixing in the Gulf of California. En: K.J Beven, P.C Chatwin, J.H Millbank (eds.). *Mixing and Transport in the Environment*. John Wiley & Sons Ltd, London. Pp. 169-182.
- Stramma L., Schmidtko S., Levin L.A., Johnson G.C. 2010. Ocean minima expansions and their biological impacts. *Deep Sea Research I* 57, 587-595.
- Suess, E., 1981. Phosphate regeneration from sediments of the Peru continental margin by dissolution of fish debris. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 45, 577–588.
- Svedrup, H.U. 1941. The Gulf of California: Preliminary discussion on the Cruise of the E.W. Scripps in February and March 1939. 6th Pac. Sci. Congr. Proc., 3 161-166.

- Todaro, M. A., Bernhard, J.M. & Hummon, W.D. 2000. A new species of Urodasys (Gastrotricha, Macrodasysida) from dysoxic sediments of the Santa Barbara Basin (California, USA). *Bulletin of Marine Science* 66, 467–476.
- Tyson, R. V. & Pearson, T. H. 1991. Modern and ancient continental shelf anoxia: an overview. In *Modern and ancient continental shelf anoxia*, R.V. Tyson & T.H. Pearson (eds). Geological Society Special Publication No. 58. London: Geological Society, 1–24.
- Veit-Köhler G., Gerdes D., Quiroga E., Hebbeln D., Sellanes J. (2009) Metazoan meiofauna within the oxygen-minimum zone off Chile: results of the 2001-PUCK expedition. *Deep-Sea Research II*, 56, 1105–1111.
- Von Rad, U., Schulz, H. & Sonne 90 Scientific Party. 1995. Sampling the oxygen minimum zone off Pakistan: glacial-interglacial variations of anoxia and productivity (Preliminary results, SONNE 90 cruise). *Marine Geology* 125, 7–19.
- Voss M., Dippner W.J., Montoya P.J. 2001. Nitrogen isotope patterns in the oxygen-deficient waters of the Eastern Tropical North Pacific Ocean. *Deep-Sea Research I* (48) 1905-1921.
- Wishner K., Levin L., Gowing M., Mullineaux L. 1990. Involvement of the oxygen minimum in benthic zonation on a deep seamount. *Nature*, 346, 57–59.
- Wyrski, K. 1962. The oxygen minima in relation to ocean circulation. *Deep-Sea Research*, 9, 11-23.

FACTORES QUE DEFINEN LA VARIABILIDAD DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA Y BIOMASA BÉNTICA EN UNA ZONA DE OXÍGENO MÍNIMO EN EL GOLFO DE CALIFORNIA

- Wyrski, K. 1966. Oceanography of the eastern Pacific Ocean. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review* 4, 33–6.
- Zeitchel, B. 1969. Primary productivity in the Gulf of California. *MAR. Biol.*, (3): 201-207.

ANEXOS

Matriz de similitud

	Factores sedimentarios			% comp. Elemental			
	Limo grueso	Arena muy fina	Arena fina	C	N	Chl a en sedimento (%)	Concentración de oxígeno (μM-ml/L)
E1 Prof. 860m	17.32	9.56	8.59	2.17	0.28	2.67	54-0.86
E2 Prof. 862m	11.36	9.97	14.32	4.18	0.54	1.75	54-0.86
E3 Prof. 1440m	14.11	10.49	8.13	6.56	0.83	1.66	45-0.72

Tabla. Valores de sumatoria para parámetros biológicos por niveles para cada estación de muestreo con su réplica.

Estación	Profundidad (m)	Niveles (cm)	Abundancia (ind*0.007 m ⁻²)	Densidad (ind*m ⁻²)	Riqueza	Biomasa (mgC.m ⁻²)
1	860	0-1	575	82142.9	5	2.03
		1-2	39	5571.4	4	0.53
		2-3	6	857.1	4	0.08
		3-5	1	142.9	1	0
		5-6	0	0	0	0

FACTORES QUE DEFINEN LA VARIABILIDAD DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA Y BIOMASA BÉNTICA EN UNA ZONA DE OXÍGENO MÍNIMO EN EL GOLFO DE CALIFORNIA

2	862	0-1	10	1428.6	4	0.71
		1-2	6	857.1	1	0.01
		2-3	7	1000.0	3	0.09
		3-5	4	571.4	3	0.09
		5-10	2	285.7	1	0
3	1440	0-1	122	17428.6	6	4.95
		1-2	50	7142.9	3	0.82
		2-3	45	6428.6	4	0.51
		3-5	37	5285.7	4	0.29
		5-10	27	3857.1	4	0.18

FACTORES QUE DEFINEN LA VARIABILIDAD DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA Y BIOMASA BÉNTICA EN UNA ZONA DE OXÍGENO MÍNIMO EN EL GOLFO DE CALIFORNIA

Matriz de similitud del índice de Bray-Curtis para factores ambientales C y N.

	E1 Prof. 860m	E2 Prof. 862m	E3 Prof. 1440m
E1 Prof. 860m	*	68.3403	77.9521
E2 Prof. 862m	*	*	49.7967
E3 Prof. 1440m	*	*	*

Matriz de similitud del índice de Bray-Curtis para tamaño de grano por estaciones.

	E1 Prof. 860m	E2 Prof. 862m	E3 Prof. 1440m
E1 Prof. 860m	*	86.9091	86.909
E2 Prof. 862m	*	*	100
E3 Prof. 1440m	*	*	*

Matriz de similitud del índice de Bray-Curtis para densidad por estaciones.

	E1 Prof.860m	E2 Prof.862m	E3 Prof.1440m
E1 Prof.860m	*	7.0756	33.536
E2 Prof.862m	*	*	23.4274
E3 Prof.1440m	*	*	*

Matriz de similitud del índice de Bray-Curtis para densidad por niveles.

	0-1	1-2	2-3	3-5	5-10
0-1	*	21.9666	13.1889	9.4654	6.5446
1-2	*	*	71.2662	57.4106	43.0366
2-3	*	*	*	82.6053	64.7895
3-5	*	*	*	*	81.0218
5-10	*	*	*	*	*

Matriz de similitud del índice de Bray-Curtis para abundancia por estaciones.

	E1 Prof. 860 m	E2 Prof. 862 m	E3 Prof. 1440 m
E1 Prof. 860 m	*	7.0859	33.5501

FACTORES QUE DEFINEN LA VARIABILIDAD DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA Y BIOMASA BÉNTICA EN UNA ZONA DE OXÍGENO MÍNIMO EN EL GOLFO DE CALIFORNIA

E2 Prof. 862 m	*	*		23.4596
E3 Prof. 1440 m	*	*	*	

Matriz de similitud del índice de Bray-Curtis para abundancia por niveles.

	0-1	1-2	2-3	3-5	5-10
0-1	*	21.9758	13.1936	9.4556	6.5525
1-2	*	*	71.2997	57.3468	43.0628
2-3	*	*	*	82.5342	64.8276
3-5	*	*	*	*	81.1344
5-10	*	*	*	*	*

Matriz de similitud del índice de Bray-Curtis para riqueza por estaciones.

	E1 Prof. 860m	E2 Prof. 862m	E3 Prof. 1440m
E1 Prof. 860m	*	69.2308	74.2857
E2 Prof. 862m	*	*	72.7273
E3 Prof. 1440m	*	*	*

Matriz de similitud del índice de Bray-Curtis para riqueza por niveles.

	0-1	1-2	2-3	3-5	5-10
0-1	*	69.5652	84.6154	69.5652	50
1-2	*	*	84.2105	62.5	61.5385
2-3	*	*	*	84.2105	62.5
3-5	*	*	*	*	76.9231
5-10	*	*	*	*	*

Matriz de similitud del índice de Bray-Curtis para biomasa por estaciones.

	E1 Prof. 860m	E2 Prof. 862m	E3 Prof. 1440 m
E1 Prof. 860m	*	45.9971	56.1763
E2 Prof. 862m	*	*	23.3142
E3 Prof. 1440 m	*	*	*

FACTORES QUE DEFINEN LA VARIABILIDAD DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA Y BIOMASA BÉNTICA EN UNA ZONA DE OXÍGENO MÍNIMO EN EL GOLFO DE CALIFORNIA

Matriz de similitud del índice de Bray-Curtis para biomasa por niveles.

	0-1	1-2	2-3	3-5	5-10
0-1	*	30.2113	16.1905	8.9204	4.0609
1-2	*	*	59.7621	33.9151	20.8652
2-3	*	*	*	69.2811	38.0952
3-5	*	*	*	*	61.4912
5-10	*	*	*	*	*

Tabla. Taxa presentes (*) en las estaciones y sus niveles

Taxa	Estaciones														
	E1					E2					E3				
	0-1	1-2	2-3	3-5	5-10	0-1	1-2	2-3	3-5	5-10	0-1	1-2	2-3	3-5	5-10
Poliquetos	*	*				*					*	*	*	*	*
Nemátodos	*	*	*	*		*	*	*	*		*	*	*	*	*
Ostrácodos			*					*	*						
Copépodos	*	*	*			*					*	*	*	*	*
Bivalvos	*							*	*	*					*
Oligoquetos		*	*												
Kinorhyncha	*					*					*			*	
Priapulida											*				
Aplacophora											*		*		

FACTORES QUE DEFINEN LA VARIABILIDAD DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA Y BIOMASA BÉNTICA EN UNA ZONA DE OXÍGENO MÍNIMO EN EL GOLFO DE CALIFORNIA