



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

Efecto del pH en la distribución espacial y
vertical de la meiofauna en las Cuencas
Wagner y Consag, Golfo de California, México

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

LUCÍA ÁLVAREZ CASTILLO



DIRECTORA DE TESIS:

DRA. ANA MARGARITA HERMOSO
SALAZAR

2014

México, D.F.



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

A la Universidad Nacional Autónoma de México

A Magui, por su apoyo, paciencia, guía y motivación, no sólo en la realización de este trabajo. Muchas gracias por todo.

A la Dra. Rosa María Prol Ledesma, que por su gran visión como investigadora este y muchos otros trabajos han podido realizarse. Gracias por permitirme ser una mejor científica, por confiar en mi, y por darme la oportunidad de encontrar mi vocación.

Al proyecto FONCICYT 94482 (Recursos Geotérmicos Submarinos del Norte del Golfo de California) y a sus participantes

Al CONACYT, Sistema Nacional de Investigadores

A la Facultad de Ciencias, Instituto de Geofísica e Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM

A la tripulación del “B/O EL PUMA” UNAM

Al Laboratorio de Ecología y Biodiversidad de Invertebrados Marinos y al Laboratorio de Bentos, ICMYL, por recibirme todos estos años

A los miembros del jurado: Dra. Rosaura Mayen, Dr. Gerardo Rivas, Dra. Margarita Hermoso, Dra. Rosa María Prol-Ledesma, y Dr. Alejandro Estradas

A la M. En C. Ma. Guadalupe Ponce Vélez por su apoyo para entender mejor el área de estudio de este trabajo

Al Biol. Carlos Illescas Monterroso, por su gran ayuda en la recolección de bibliografía necesaria para esta tesis.

Al Dr. Pablo Hernández Alcántara por compartir su conocimiento de estadística conmigo

DEDICATORIA

A mi familia y amigos

CONTENIDO

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
ANTECEDENTES.....	7
OBJETIVOS.....	9
Objetivo general.....	9
Objetivos particulares.....	9
JUSTIFICACIÓN.....	10
ÁREA DE ESTUDIO.....	11
Generalidades del Golfo de California.....	11
Cuencas Wagner y Consag.....	14
MÉTODO.....	16
Trabajo de campo.....	16
Trabajo de laboratorio y de gabinete.....	16
Análisis de Resultados.....	18
RESULTADOS.....	20
Factores ambientales.....	20
Caracterización biológica.....	27
Distribución vertical.....	34
DISCUSIÓN.....	36
CONCLUSIÓN.....	46
LITERATURA CITADA.....	47

RESUMEN

A pesar de que las grandes extensiones del fondo marino parecieran desiertas, la vida que habita entre los granos del sedimento es muy abundante, diversa y muy poco estudiada. La meiofauna es una categoría de tamaño de animales invertebrados que habitan en el bentos y que son más grandes que la microfauna pero más pequeños que la macrofauna. Los estudios de meiofauna realizados en el Golfo de California son muy escasos siendo principalmente taxonómicos. El interés de este estudio es evaluar el efecto del pH en la meiofauna de un sistema peculiar por la presencia de emanaciones de gas (CO₂). El estudio se llevó a cabo en las Cuecas Wagner y Consag localizadas al Norte del Golfo de California. Los muestreos se realizaron a finales del mes de julio y principios de agosto del 2010, a bordo del B/O "El Puma" de la UNAM durante la campaña oceanográfica WAGNER 02. Se tomaron muestras de sedimentos en 40 estaciones de muestreo, cuyas profundidades variaron de entre 59 y 217 m. En cada estación se tomaron submuestras biológicas y para granulometría, además de registrar los parámetros físico-químicos (S ups, T°C y pH). Los resultados comprendieron el análisis de 9,475 organismos pertenecientes a 12 grupos taxonómicos: Nematoda, Kinorhyncha, Gastrotricha, Bivalvia, Gastropoda, Polychaeta, Oligochaeta, Copepoda Harpacticoida, Ostracoda, Peracarida, Acari y Echinodermata. La comunidad de meiofauna estuvo dominada por los nemátodos, los cuales representaron el 73.10%, seguidos por los copépodos harpacticoides (11.28%), los poliquetos (8.41%) y los kinorinchos (4.71%). Los nemátodos, copépodos harpacticoides y poliquetos fueron los taxones comunes en todas las estaciones, siendo los nemátodos los más abundantes en toda la zona de estudio y en los niveles de profundidad en el sedimento. En cuanto a la distribución vertical, las mayores densidades de meiofauna y el mayor número de taxones superiores (NTS) se encontraron en los primeros cuatro centímetros de profundidad en el sedimento. Por último, los factores bióticos y abióticos que determinaron las densidades de meiofauna (19.12 ind/10 cm² - 742.20 ind/10 cm²) fueron la densidad de macrofauna (presencia de depredadores), el tamaño de grano, el carbono orgánico total (TOC) (fuente de alimento) y el pH. Este trabajo puede considerarse el primer estudio de la meiofauna en un ambiente natural con infiltraciones de CO₂.

Palabras clave: Meiofauna, Golfo de California, emanaciones CO₂

INTRODUCCIÓN

El 70% del fondo marino está representado por sedimento suave (limos – arena) (Wilson, 1991; Nascimento, 2010), donde los granos están en contacto unos con otros y, entre sus superficies, se forman unos pequeños huecos o espacios conocidos como intersticios, que están ocupados por agua y aire. Estos intersticios constituyen el hábitat de diversos taxones de invertebrados denominados como fauna intersticial (Nicholls, 1935) o mesopsammon (Remane, 1940).

Tradicionalmente, los invertebrados bentónicos se han agrupado por su talla: en macro, meio y microfauna (Warwick, 1984). El término meiofauna proviene del griego *meios* que significa intermedio (Gray y Elliot, 2009) y pequeño (Giere, 2009), el fue acuñado por Mare (1942). Actualmente, el término meiofauna es sinónimo de meibentos y ambos son usados para definir una categoría de tamaño de animales invertebrados que habitan en el bentos y que son más grandes que la microfauna pero más pequeños que la macrofauna (Giere, 2009). Estos animales son móviles y en algunos casos hpto-sésiles (organismos que están unidos a un sustrato, pero que pueden desprenderse de éste y cambiar lentamente su posición) (Giere, 2009).

Monninot (1962) elaboró una definición de fauna intersticial, muy precisa desde el punto de vista biológico: “un animal lleva un modo de vida intersticial cuando su tamaño le permite alojarse en un intersticio, cuando se alimenta de partículas en suspensión en el agua o fijas a la superficie de los granos, cuando se reproduce en la arena y cuando su desplazamiento entre los granos no ocasiona modificaciones en la disposición del sedimento”. Sin embargo, fauna intersticial y meiofauna no son exactamente lo mismo. La primera se refiere a los animales que cumplen las condiciones precisadas por Monninot (*opus cit.*), y la segunda se refiere a los organismos que cumplen con las dimensiones meiofáunicas y no necesariamente viven en los intersticios.

Los límites de tamaño de la meiofauna están basados entre la luz de malla entre 500 y 1000 μm como límite superior y, 42 y 63 μm como límite inferior (Carey y Montagna, 1982; Dye, 1983; Shirayama y Ohta, 1990; Gómez y Hendrickx, 1997; Danovaro *et al.*, 2002; Gollner *et al.*, 2010). Toda la fauna que atraviesa la malla más abierta (500-1000 μm) pero es retenida por la malla menos abierta (42-63 μm) durante el tamizado es considerada meiofauna. Los límites no están estandarizados y han cambiado a lo largo del tiempo. En los últimos años,

los meiobentólogos de mar profundo han propuesto usar como límite inferior 31 μm e incluso valores más pequeños (Zepilli y Danovaro, 2009; Zepilli *et al.*, 2011a, b), para poder retener principalmente especies de nemátodos de tallas menores a los de otros ambientes (Giere, 2009).

Algunos autores (McIntyre, 1969; Higgins y Thiel, 1988; Coull, 1988) diferencian entre meiofauna permanente y meiofauna temporal. La primera se refiere a los organismos que todo su ciclo de vida entran dentro de los intervalos de tamaño definidos para la meiofauna y, la segunda, a todos aquellos organismos que sólo las primeras fases de sus ciclos vitales, en particular larvas y juveniles, entran en el intervalo de tamaño definido para la meiofauna y la fase adulta generalmente pertenece a la macrofauna.

La meiofauna es cosmopolita, está presente en ambientes marinos, desde la zona supralitoral hasta la zona batial, en sedimentos de ríos, lagos, sistemas salobres y aguas subterráneas, incluso en cuerpos de agua artificiales y desde latitudes polares hasta latitudes tropicales (Giere, 2009). La meiofauna se encuentra en una amplia variedad de hábitats poblando sedimentos de todo tipo, desde los lodos más finos hasta las gravas más gruesas, oxigenados o anóxicos, en ambientes expuestos o crípticos. También está presente la meiofauna en el hielo polar, en macroalgas, en estructuras creadas por otros organismos y en algunos casos pueden ser simbioses (Coull, 1988; Vincx, 1996; Giere, 2009).

Prácticamente todos los grupos de invertebrados están representados en la meiofauna, sin embargo, existen cinco phyla exclusivos: Gastrotricha, Gnathostomulida, Kinorhyncha, Loricifera y Tardigrada (Coull, 1988; Vincx, 1996; Giere, 2009). Además de lo anterior, la meiofauna permanente también incluye especies representantes de Rotifera, Nematoda, Arthropoda, Annelida, Turbellaria, y algunas especies de Cnidaria, Nemertea, Entoprocta, Priapula, Sipuncula, Mollusca, Echinodermata, Bryozoa, Brachiopoda, Hemichordata y Chordata (Coull, 1988).

La abundancia, distribución y estructura de la meiofauna varían y dependen de diferentes factores abióticos (fisiografía del sedimento) (Giere *et al.*, 1988; Vincx, 1996; Giere, 2009) y factores bióticos (abundancia de bacterias, fitobentos y macrofauna) (Greiser y Faubel, 1988; Giere, 2009). El factor abiótico determinante para la meiofauna es la fisiografía del sedimento, es decir el tamaño del grano y forma del grano, redondez de la partícula, porosidad y permeabilidad (Giere *et al.*, 1988; Greiser y Faubel, 1988; Giere, 2009). El tamaño de grano es el factor más importante de la estructura faunística del meiobentos

porque determina las condiciones estructurales, espaciales, físicas (porosidad, permeabilidad) y químicas (gradiente de salinidad, oxigenación) del medio (Giere *et al.*, 1988; Giere, 2009). Por otro lado, el factor biótico con mayor relevancia en la meiofauna es la presencia de bacterias y fitobentos como diatomeas, esto se debe a que probablemente es la fuente principal de alimento (Danovaro *et al.*, 2000). En ambientes profundos (>200 m), el fitobentos disminuye considerablemente provocando que las densidades de meiofauna sean menores que en ambientes someros (plataforma continental) (Danovaro *et al.*, 2000).

La distribución espacial de la meiofauna en el sedimento varía tanto vertical como horizontalmente. Los factores que crean esta zonación son las diferencias de tamaño de grano y los factores físico-químicos, particularmente la temperatura, el oxígeno y la salinidad. La zonación vertical está relacionada con la capa DPR (Discontinuidad del Potencial REDOX), ya que ésta establece el límite entre la zona aerobia (óxica) y anaerobia (anóxica). En general, son pocos los organismos que toleran condiciones anóxicas (Kotwickiet *al.*, 2005), aunque hay una asociación faunística especializada confinada a esta zona (Veiga, 2008). En los ambientes intermareales, como playas arenosas, playas rocosas y estuarios, las mareas, las olas, la temporalidad, la hora del día y las condiciones climáticas tienen una influencia en el sedimento y en la zonación vertical del meiobentos, ya que puede estar expuesta a factores como desecación, erosión, corrientes y cambios de temperatura (Tietjen, 1969). Horizontalmente, la meiofauna está distribuida en parches, la causa de dicha distribución no se conoce exactamente. Los factores que contribuyen a esa distribución pueden ser la fuente de alimento (Pinckey y Sandulli, 1990; Santos *et al.*, 1995) y la actividad de la macrofauna (Cross y Curran, 2000). En otros ambientes como playas expuestas, la dinámica hidrológica también juega un papel importante en la agregación de la meiofauna (Coull y Bell, 1979).

La densidad de la meiofauna en latitudes templadas varía en función del hábitat. Los valores más altos se encuentran en zonas litorales, especialmente en sedimentos finos y fangosos, mientras que en la zona sublitoral, la densidad desciende con el incremento de la profundidad (Giere, 2009). Sin embargo, la diversidad más alta se ha registrado en sedimentos submareales. Si se asume como valor medio de la densidad meiofaúnica 1,000-2,000 ind/10 cm² (Coull y Bell, 1979), la densidad de la meiofauna excede a la de la macrofauna entre dos y tres veces. Con respecto a la biomasa, el valor general de la meiofauna litoral es de 1- 2 g de peso seco/m² y como valor máximo 5 g de peso seco/m² (Coull y Bell, 1979). La biomasa de la meiofauna representa menos del 10% de lo correspondiente a los valores de macrofauna. Sin embargo, en regiones como playas,

estuarios y zonas profundas, la macrofauna es mucho más escasa por lo que la biomasa de la meiofauna es relativamente más importante (>10%) comparada con la biomasa de la macrofauna (Giere, 2009).

En cuanto a la alimentación, en la meiofauna se encuentran depredadores, herbívoros, detritívoros y suspensívoros, en algunos casos puede existir un grado considerable de especialización (canibalismo y carroñeros) (McIntyre, 1969). El principal papel ecológico de la meiofauna es la remineralización de los nutrientes (Heymans y Mclachlan, 1996) y su actividad como intermediarios en la transferencia de energía del microbentos al macrobentos (Fenchel, 1978).

La dinámica del ambiente bentónico ejerce una fuerte presión selectiva sobre la meiofauna quienes muestran una serie de adaptaciones morfológicas, funcionales y etológicas en orden de lograr permanecer en los espacios intergranulares. Los organismos han desarrollado glándulas de adhesión (loríciferos y tardígrados), cilios (gastrotricos), diferentes tipos de movimiento como: propulsión ondulatoria (poliquetos), arrastre, habilidad de enterramiento y escalamiento. También se han observado adaptaciones al ambiente afótico, como pigmentación reducida y carencia de ojos (Giere, 2009).

El éxito reproductivo se debe a que los individuos de la meiofauna tienen órganos copuladores, hermafroditismo, reproducción partenogénica, y que los organismos presentan tanto estrategias *r* (tiempos de generación cortos, ciclos de vida cortos), como estrategias *k* (ciclos de vida largos, tasa de generación baja, cuidado parental) (McIntyre, 1969; Gerlach, 1971; Giere, 2009). Estas adaptaciones, tanto las morfológicas como las reproductivas y etológicas, son importantes en la meiofauna para invadir ambientes disponibles (McIntyre, 1969; Giere, 2009).

Aunque la meiofauna se encuentra en otros ambientes, en ninguno presenta convergencias morfológicas y adaptaciones tan marcadas, como las observadas en la meiofauna intersticial. Así, a pesar de la heterogeneidad de los taxa del meiobentos, todos han sido objeto de “adaptaciones de conjunto” (McIntyre, 1969); por ello, la meiofauna intersticial presenta convergencias extraordinarias como: cuerpos vermiformes, aplanadas dorsoventralmente y flexibilidad del cuerpo que dan un aspecto homogéneo a todos los organismos (Mcintyre, 1969).

Las características que presenta el meio bentos hacen que sea un elemento excelente en la investigación básica, en estudios faunísticos y ecológicos, así como en la investigación aplicada, como indicador de la contaminación ambiental, ya que según el contaminante, los distintos grupos de la meiofauna responden de manera diferente, variando la densidad y diversidad (Gómez y Hendrickx, 1997).

La meiofauna tiene un papel importante en la dinámica del ecosistema bentónico, no solo en el ciclo de los nutrientes, sino también desde el punto de vista trófico. Por su tamaño, la meiofauna probablemente se alimenta de la microfauna y el fitobentos (diatomeas) siendo el puente de energía del microbentos al macrobentos. También según Gerlach (1971) y Fenchel (1978), tanto la microfauna como la meiofauna, son el alimento de la macrofauna especialmente de especies de peces y camarones, algunos de ellos de importancia económica.

En general, el estudio de la meiofauna en zonas tropicales y subtropicales es escaso (Hendrickx y Fiers, 2010). Debido a lo anterior, este trabajo pretende incrementar el conocimiento ecológico de la meiofauna en un ambiente tan peculiar como lo son las Cuencas Wagner y Consag, Golfo de California, México.

ANTECEDENTES

La meiofauna se conoce desde los primeros días de la microscopía, incluso antes de que el término fuera acuñado por Mare en 1942. Sin embargo, ésta es un componente relativamente nuevo en la investigación del bentos y no fue hasta los años cincuentas y sesentas cuando los estudios de la meiofauna comenzaron a tener mayor interés (Gómez y Morales-Serna, 2012). Hasta la fecha los estudios de meiofauna se han enfocado al descubrimiento y descripción de nuevas especies, géneros, familias e incluso phyla (Giere, 2009). De hecho, de los cuatro phyla de animales descubiertos en el siglo XX, dos han sido exclusivos de meiofauna: Gnathostomulida (Ax, 1956) y Loricifera (Kristensen, 1983). A la fecha, el aumento de nuevos grupos de meiofauna ha incrementado y al parecer estamos lejos de concluir.

La meiofauna ha sido bien estudiada en aguas templadas, en particular en los mares europeos y en el Atlántico Oeste. En regiones tropicales o subtropicales, la meiofauna es menos conocida, salvo en algunas localidades (Hendrickx y Fiers, 2010). Para las costas de México, hasta la fecha solamente se cuenta con 18 trabajos sobre este tema para el Golfo de California.

Los trabajos de meiofauna del Golfo de California son principalmente descriptivos enfocados a registros y/o descripción de nuevas especies, redescipción de taxones (esencialmente de copépodos harpacticoides, acelomorfos, nemátodos de vida libre y foraminíferos bentónicos) así como aspectos de distribución y abundancia.

La literatura disponible de meiofauna incluye la información de especies de aguas someras o costeras, excepto la aportación de Gómez y Morales-Serna (2012), quienes estudiaron la meiofauna de mar profundo enfocándose en la distribución y abundancia de copépodos del Golfo de California.

Para los copépodos harpacticoides, se cuenta con las contribuciones de Gómez (2000a,b,c, 2003), quien describió un género y seis especies, redescibió tres especies e hizo el primer registro de tres especies de la Laguna Ensenada del Pabellón, Sinaloa, México. Morales-Serna *et al.* (2006), analizaron la variación espacial y temporal de la composición taxonómica y riqueza específica de copépodos bentónicos en una sistema costero contaminado en el Noroeste de México. Morales-Serna y Gómez (2008) redescubrieron y registraron la especie de copépodo *Tisbella pulchella* (Wilson, 1932) en los sistemas costeros Urias y el Verde,

Sinaloa, México. [Hendrickx y Fiers \(2010\)](#) elaboraron un listado de 40 especies de copépodos harpacticoides, repartidos en 20 géneros y nueve familias asociados a crustáceos decápodos.

Para el Golfo de California se han descrito cuatro especies de acelomorfos, *Solenofilomorpha guaymensis* ([Crezée, 1975](#)), *Haplogonaria amarilla* ([Hooge y Eppinger, 2005](#)), *Isodiametra bajaensis* ([Hooge y Eppinger, 2005](#)) y *Praeaphanostoma gusana* ([Hooge y Eppinger, 2005](#)).

Los estudios de nemátodos de vida libre son pocos, [Mundo-Ocampo et al. \(2007\)](#) analizaron la biodiversidad de nemátodos de dos zonas litorales someras (Punta Estrella y Santa Clara) en el Golfo de California y la compararon con otra fauna de la costa Oeste de la Península de Baja California y Golfo de México (Veracruz). [Pereira et al. \(2010\)](#) evaluaron la diversidad de nemátodos de vida libre en cuatro zonas costeras del Golfo de California y tres zonas costeras de la costa Oeste de La Península de Baja California, utilizando herramientas tanto moleculares como morfológicas. Por último, [Gingold et al. \(2010\)](#) estudiaron el efecto del gradiente ambiental y la heterogeneidad de los hábitats en las comunidades de nemátodos intersticiales de la playa el Tornillal en el Alto Golfo de California.

Con respecto a los foraminíferos, [Bandy \(1961\)](#) estudió su distribución con respecto a la abundancia de los radiolarios y diatomeas en diferentes zonas del Golfo de California. [Phleger \(1964\)](#) realizó un estudio de los patrones de distribución de los foraminíferos bentónicos en el Golfo de California, e identificó aproximadamente 220 especies de foraminíferos bentónicos. [Streeter \(1972\)](#) realizó un análisis de los datos del autor anterior, donde concluyó que los foraminíferos bentónicos en el Golfo de California se pueden agrupar en nueve asociaciones faunísticas. Por último, [Pettit et al. \(2013\)](#) realizaron un trabajo donde mostraron la respuesta de los foraminíferos a las condiciones de pH bajo registradas en las Cuencas Wagner y Consag, Golfo de California.

En cuanto a trabajos de distribución y abundancia de meiofauna se puede citar sólo el estudio de [Gómez y Hendrickx \(1997\)](#), en el cual se evaluó la composición y densidad de la meiofauna en la laguna Ensenada del Pabellón, Sinaloa, México.

OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar la influencia de los factores ambientales con énfasis en el pH en la distribución espacial y vertical de la meiofauna de las Cuencas Wagner y Consag.

Objetivos particulares

- Reconocer la composición de la comunidad meiofáunica a nivel de grandes grupos taxonómicos.
- Analizar la distribución espacial de la comunidad meiofáunica a nivel de grandes grupos taxonómicos y su relación con los parámetros ambientales principalmente el pH.
- Analizar la distribución vertical de la comunidad meiofáunica a nivel de grandes grupos taxonómicos.

JUSTIFICACIÓN

A pesar de que la meiofauna es conocida desde los primeros días de la microscopía, esta es aún un componente relativamente nuevo en la investigación del bentos. Hasta la fecha, en México los estudios de la meiofauna se han enfocado a ciertos grupos taxonómicos y a la descripción de nuevas especies. Por tal motivo, es importante incrementar el interés en las investigaciones de esta fauna en el territorio mexicano. En principio, lo anterior puede conducir desde la descripción de especies nuevas de diferentes phyla poco conocidos, no sólo para México sino para regiones tropicales, hasta conocer el efecto de los parámetros ambientales en la ecología de la meiofauna, ya que existen muy pocos trabajos con este enfoque. Mas aún en regiones con condiciones ambientales tan particulares como lo son las Cuencas Wagner y Consag. La particularidad de estas cuencas está relacionada con las emanaciones de CO₂ que han sido observadas en el fondo marino ([Prol-Ledesma et al., 2013](#)), estas cuencas pueden ser consideradas como un laboratorio natural, que permiten efectuar observaciones indirectas del efecto del pH sobre la fauna, en el cual se puede determinar la tolerancia de los grupos a un pH tan bajo como el que se estima tendrán los océanos al final de este siglo ([Caldeira y Wickett, 2003](#)). Esto es importante como parámetro para futuras comparaciones en el efecto de la acidificación del océano, como producto del cambio global provocado por el CO₂ producido por la utilización de combustibles fósiles.

ÁREA DE ESTUDIO

Generalidades del Golfo de California

El Golfo de California (GC) o Mar de Cortés ([Lonsdale, 1989](#); [Álvarez-Borrogo, 2008](#)) es un brazo del Océano Pacífico mexicano, entre los 23 y 32° N y los 107 y 117° W ([Molina-Cruz, 1994](#)). El GC se ubica entre la Península de Baja California y las costas de los estados de Sonora y Sinaloa ([Lonsdale, 1989](#)) ([Fig. 1](#)), tiene una longitud de 1,200 km. Cerca de la boca tiene ~193 km de ancho, al norte ~160 km y ~96 km al sur de las Islas Tiburón y Ángel de la Guarda. En esta última región la disminución limita la comunicación entre la parte norte y sur del golfo ([Shepard, 1950](#)). Por ser un mar semi-cerrado el GC es considerado la única cuenca de evaporación del Pacífico Este ([De la Lanza, 1991](#)).

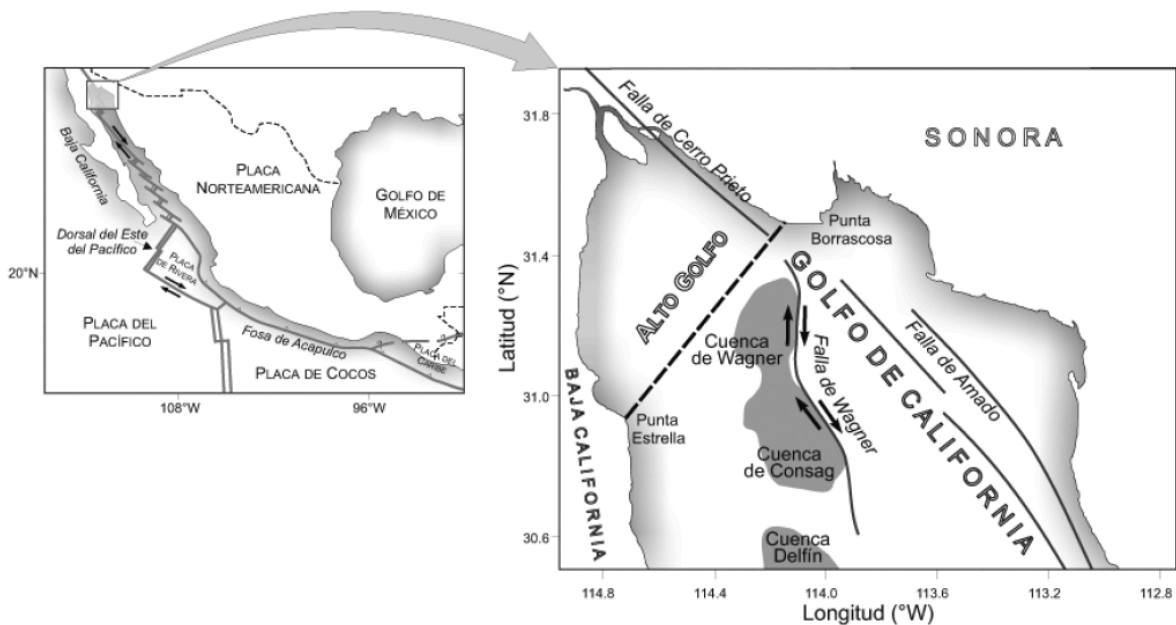


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

El GC se formó por la separación de la Península de Baja California del continente americano, la cual fue moviéndose gradualmente en dirección noroeste. [Atwater \(1970\)](#) menciona que el GC empezó a separarse hace aproximadamente 4.5 millones de años, sin embargo, [Delgado-Argote \(2000\)](#) encontró evidencias más antiguas de incursiones marinas

en la región que pueden indicar las primeras etapas de formación del protogolfo de California. En la tabla 1 se muestra la historia geológica simplificada del Golfo de California.

Tabla 1. Historia geológica del Golfo de California (Modificada a partir de Nix, 2004).

Período/Era	Millones de años	Eventos geológicos
Pleistoceno	4	Hundimiento de la península convirtiéndose en un archipiélago y acelerando su desplazamiento hacia el noroeste. Golfo de California ya con sus características actuales.
Plioceno	12	Extensión de los mares hacía el norte de la isla Angel de la Guarda. Mayor separación de la península. Asentamiento y desarrollo del Golfo. Formación de bloques fallados.
Mioceno Superior	25	Época con mayor actividad tectónica, se produjo un levantamiento regional acompañado de actividad volcánica que culminó con la separación parcial de la península, formándose así el proto-golfo
Mesozoico Superior	130	Intensa actividad sísmica, la península empezó a separarse del continente en dirección noroeste, siguiendo la orientación del sistema de fallas de San Andrés.
Mesozoico	160	La península de Baja California se encontraba unida al continente americano, en contacto con los actuales estados de Sonora, Sinaloa y Nayarit.

Topográficamente, el GC está compuesto por una serie de cuencas cuya profundidad aumenta hacia el sur y varían desde un promedio de 200 m en el norte del golfo hasta 3,600 m en la boca. Las cuencas están separadas entre sí por cordilleras transversales (Álvarez-Borrego, 2008; Jiménez *et al.*, 2005). El Golfo de California presenta once cuencas extensionales de tipo *pull-apart* (Lonsdale, 1989).

El GC se divide en tres regiones (Sur, central, Norte o Alto Golfo) (Roden y Groves, 1959). En estas tres regiones ocurren diferentes procesos físicos como el arrastre y mezcla por vientos, la mezcla por mareas, los intercambios de calor y la evaporación, que controlan la circulación, las corrientes, la estructura termohalina, la salinidad, las masas de agua y la distribución de mareas (Lavín *et al.*, 1998).

La región Norte del golfo (NGC) es relativamente somera (entre 50 m y 200 m), producto de una alta sedimentación, y plana (Carriquiry y Sánchez, 1999), y presenta tres cuencas pequeñas siendo la Cuenca Wagner la más profunda (210 m), también se encuentra la Cuenca Consag con una profundidad de 200 m, y la parte norte de la Cuenca Delfín (Birosta *et al.*, 2008). En esta zona se presentan temperaturas extremas, elevada evaporación, baja precipitación, altas salinidades, gran amplitud de mareas y fuertes corrientes (Maluf, 1983).

En la mayor parte del área del NGC el clima es subtropical árido, presenta dos temporadas bien diferenciadas, una temporada de lluvias (normalmente en invierno) y una temporada de secas (en verano), la transición entre ambas temporadas es corta (Álvarez-Borrego, 2010).

La circulación de los vientos del NGC ocurre principalmente a lo largo del mismo, debido a la alta topografía que se encuentra a sus lados (montañas de 3 km de altura en la Península de Baja California y la Sierra Madre Occidental con montañas de más de 1,500 m de altura) lo que lo convierte en una cuenca semicerrada (Pegau *et al.*, 2002). Los vientos fluyen del NW durante la temporada de lluvias (invierno) y de SE en la temporada de secas (verano) (Álvarez-Borrego, 2010), provocando zonas de surgencias en las costas del oeste en verano y del este en invierno. Las áreas de surgencias del golfo tienen las más altas concentraciones de algunos nutrientes de los océanos del mundo, por lo que presenta tasas de productividad primaria altas (Alvarez Borrego *et al.*, 1978). También en el NGC, la circulación de las masas de agua está dominada por los giros estacionales ciclónicos de junio a septiembre y anticiclónico de noviembre a abril. Estos giros cubren por entero la columna de agua, lo cual provoca valores altos de nutrientes, así como valores altos de clorofila-a, de diatomeas y una alta productividad primaria (Lavín *et al.*, 1997; Pegau *et al.*, 2002).

La salinidad y la temperatura en la columna de agua del Golfo de California varía de 34.9 a 35.8 ups y de 15°C a 22.7°C, respectivamente (Álvarez-Borrego *et al.*, 1975; Vázquez-Figueroa *et al.*, 2009).

En el NGC las mareas son semi-diurnas y llegan a tener amplitudes de 10 m. Las corrientes de marea son también un componente importante. Estas corrientes alcanzan velocidades de 1.5 a 3 m/s provocando una buena mezcla en la columna de agua (Luch-Belda *et al.*, 2003).

El Río Colorado desemboca en el NGC, como consecuencia se encuentra una gruesa capa de sedimentos. Una cantidad mucho menor de sedimentos proviene de la Península de Baja California (Lonsdale, 1989). Durante el último siglo los flujos de agua y sedimento del Río Colorado fueron interrumpidos por represamiento del agua del río en Estados Unidos. Se estima que se ha producido una reducción del 99.5% de la descarga original hacia el Delta del Río Colorado (Carrquiry *et al.*, 2001).

Los principales mecanismos de transporte sedimentario son: el giro estacional al centro de la región norte del Golfo de California, una corriente de gravedad que fluye hacia el sur del

Delta del Río Colorado (alcanzando hasta el sur de la cuenca de Wagner) y probablemente corrientes de fondo intensas en la Cuenca Tiburón (Lavín *et al.*, 1998).

Cuencas de Wagner y Consag

Las Cuencas Wagner y Consag, son cuencas sedimentarias de tipo *pull-apart* (Fenby y Gastil, 1991). Estas son las cuencas tectónicamente activas menos profundas localizadas en la parte norte del Golfo de California (Fig. 1) (Aragón-Arreola y Martín-Barajas, 2007), y presentan una actividad gaso-hidrotermal submarina intensa, el gas que se descarga de las manifestaciones es principalmente CO₂ (Prol-Ledesma *et al.*, 2013). Las cuencas se encuentran limitadas por dos sistemas de fallas transformantes de dirección NNW-SSE. En el margen oriental de las cuencas se encuentra la Falla de Wagner que se conecta hacia el NW con el sistema de fallas de San Andrés (Aragón-Arreola y Martín-Barajas, 2007).

Cuenca Wagner

La Cuenca de Wagner se encuentra entre las coordenadas geográficas 30.08° - 31.2°N y 114.4° - 113. 9°W, es la depresión más septentrional del GC, tiene forma alargada y se orienta NE-SW (Birosta *et al.*, 2008); tiene un área de 700 m², cuyo eje mayor es de 30 km y su eje menor de 20 km, y presenta una profundidad máxima aproximada de 210 m. En el fondo de la cuenca se presentan ligeras pendientes, con algunos relieves abruptos y sucesiones de montículos de 4 a 18 m de altura (Hurtado-Artunduaga, 2002; Birosta *et al.*, 2008; Vázquez-Figueroa *et al.*, 2009). El espesor de los sedimentos depositados en esta excede los 7 km hasta el basamento y presenta una tasa de sedimentación de 3.3 mm por año debido al aporte de sedimento del continente (González-Escobar *et al.*, 2010).

La Cuenca de Wagner no presenta indicios de actividad volcánica reciente, pero sí la presencia de baja actividad sísmica y alto flujo de calor (Aguilar *et al.*, 2008; Prol Ledesma *et al.*, 2013). La mineralogía en la cuenca de Wagner fue estudiada por Birosta *et al.* (2008) quienes encontraron que en la parte este de la cuenca hay altos porcentajes de azufre nativo, barita, en menor cantidad calcita, dolomita, pirita, y granos de cuarzo y feldespatos.

Cuenca Consag

La Cuenca Consag se localiza entre la Cuenca de Wagner y la Cuenca Delfín, es una depresión alargada y se orienta en dirección NNW-SSE y está separada de la cuenca de Wagner por un collado submarino situado a una profundidad de 154 m (Birosta *et al.*, 2008) (Fig. 1). Tiene una área aproximada de 750 km² con su eje mayor de 40 km al noroeste y el menor de 15 km al noreste y una máxima profundidad de 204 m en su parte central (Vázquez-Figueroa *et al.*, 2009). Los márgenes, occidental y oriental, son casi simétricos con pendientes más pronunciadas en el límite norte de la cuenca. Hacia el sur, el fondo marino presenta una morfología escalonada, que se distingue por la sucesión de taludes (Vázquez-Figueroa *et al.*, 2009). El espesor de sedimentos depositados en esta cuenca y la tasa de sedimentación son similares a los de la Cuenca de Wagner (aproximadamente 7 km de espesor con una tasa de 3.3 mm/año) (González-Escobar *et al.*, 2010). Al sureste de esta cuenca también se han observado estructuras como *pockmarks* (Canet *et al.*, 2011). En cuanto a la mineralogía en esta cuenca, hay presencia de calcita, dolomita, pirita e illita. En algunos casos se encuentran granos de cuarzo y feldespatos (Birosta *et al.*, 2008).

MÉTODO

Trabajo de campo

Durante la campaña oceanográfica WAGNER 02 realizada a bordo del B/O “El Puma” de la UNAM a finales del mes julio y principios de agosto del año 2010, se tomaron muestras de sedimentos en 40 estaciones de muestreo, con una draga Smith-McIntyre, cuyas profundidades variaron de entre 59 y 217 m (Fig. 3). En cada estación se midió el pH inmediatamente después de que se extrajo el agua de poro utilizando un electrodo de vidrio 238. El electrodo fue calibrado con soluciones buffer estándar con valores de pH de 4.01 ± 0.02 , 7.00 ± 0.02 y 10.01 ± 0.02 . Se calculó la pendiente a partir de una gráfica de potencial redox 240 vs. pH. El valor de la pendiente fue de -57.7 mV, siendo este un valor óptimo para determinaciones de pH. Las mediciones de temperatura y salinidad en el fondo marino fueron registradas con un sensor CTD Niels Brown. Para cada estación se tomó una muestra adicional para realizar un análisis granulométrico. El material recolectado se almacenó en bolsas de plástico cerradas hasta su análisis posterior en el laboratorio.

Para las muestras biológicas, del contenido de la draga se tomaron tres submuestras de sedimentos de cada estación con un nucleador de 7.06cm^2 (Fig. 2). Dos submuestras se fijaron completas con formol al 4%, se tiñeron con rosa de bengala para resaltar la fauna presente en la muestra y facilitar la separación de los organismos. Las muestras fueron guardadas en frascos de vidrio hasta su posterior análisis en el laboratorio. La tercera submuestra fue dividida en cinco horizontes de profundidad (0-2 cm, 2-4 cm, 4-6 cm, 6-8 cm, 8-10 cm), cada horizonte se fijó con formol al 4%, se tiñó con rosa de bengala y se guardaron en bolsas de plástico cerradas hasta su análisis posterior en el laboratorio.

Trabajo de laboratorio y de gabinete

Análisis granulométrico: Las muestras de sedimento fueron secadas a 60°C en una estufa y almacenadas en bolsas de plástico. El análisis de tamaño de grano se realizó utilizando un analizador de partículas de difracción láser Beckman Coulter 13320 del Laboratorio de Oceanología Geológica del Centro Interdisciplinario de Ciencias de Mar (CICIMAR) del

Instituto Politécnico Nacional en la Paz B. C. S. Para realizar el análisis, se pesaron entre 0.2 y 0.25 g de muestra y se colocaron en vasos de precipitado. Posteriormente se adicionaron 50 ml de hexametáfosfato de sodio 5 % y 50 ml de acetona 50 % (el hexametáfosfato actúa como dispersante separando las partículas unidas por fuerzas electrostáticas y la acetona disuelve la materia orgánica). Finalmente, se agitó y preparó 1 ml para su inyección en el analizador.

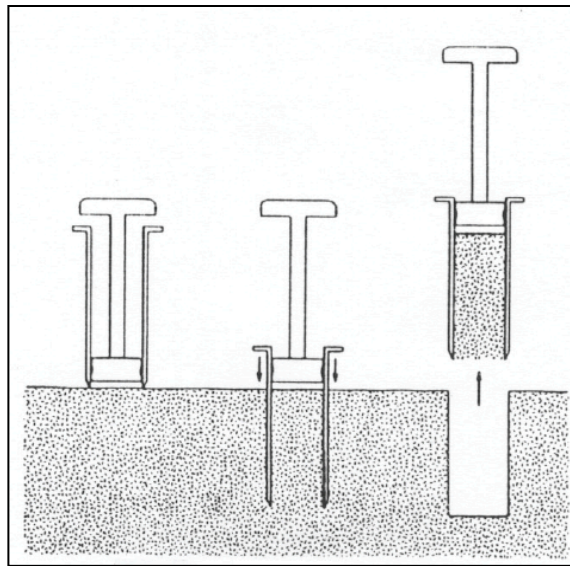


Figura 2. Toma de muestras con nucleador (modificado de Veiga, 2008).

Al inyectarse la muestra en el equipo, las partículas pasan a través del orificio produciendo un cambio de impedancia (resistencia), el cual está determinado por el tamaño de la partícula. El sistema cuenta las partículas individuales y provee una distribución de tamaños de partículas. Los parámetros texturales de los sedimentos (tamaño de grano, clasificación, asimetría) se calcularon utilizando el programa GRADISAT 12.

Muestras biológicas: Las muestras obtenidas fueron lavadas y tamizadas con agua corriente para eliminar el formol y el sedimento más fino. Para el tamizaje se utilizó un tamiz de abertura de malla de 0.5 mm para separar la macrofauna y un tamiz de 0.06 mm de abertura de malla para separar la meiofauna. El sedimento lavado y tamizado se conservó en alcohol al 70 % en frascos de vidrio rotulados. Los organismos se separaron manualmente bajo un microscopio estereoscópico a un objetivo de 3.5x; en algunos taxa muy pequeños se utilizó un microscopio óptico a un objetivo de 10x.

Los organismos se identificaron a nivel de grandes grupos taxonómicos (phylum, subphylum, clase y subclase), se separaron, contaron y colocaron en frascos de vidrio rotulados con los datos de las estaciones correspondientes. Los datos para el cálculo de la abundancia se capturaron en tablas hechas en Excel. La identificación se realizó con base en la clasificación de [Schmidt-Rhaesa \(2013\)](#).

Análisis de resultados

Abundancia, densidad y número de taxones superiores

Abundancia: es el número total de individuos separados.

Número de taxones superiores (NTS): el número de taxones diferentes presentes en las muestras.

Densidad: es el número de individuos por unidad de superficie, en el caso de la meiofauna la unidad de superficie más utilizada es en 10 cm², por lo cual las densidades de meiofauna se extrapolaron a esta unidad.

Análisis de Regresión por Árboles (ARA)

Este análisis se aplicó para determinar la magnitud en que los factores ambientales considerados para este estudio (pH, profundidad, temperatura, salinidad, tamaño de grano, carbono orgánico total, densidad de macrofauna y densidad de diatomeas) influyen en la distribución de la meiofauna total y particularmente en los taxones más abundantes, los nemátodos, los copépodos, los poliquetos y los kinorricos en ambas cuencas. Los datos de carbono orgánico total (TOC), densidad de macrofauna y densidad de diatomeas fueron tomados de varios trabajos aún no publicados. El análisis de regresión por árboles consiste en la construcción de dendrogramas a partir de predictores o variables independientes (parámetros ambientales) de modo que se maximice la asociación de alguna variable de predicción con la variable de respuesta o dependiente (densidad de meiofauna). El método va dividiendo los datos de la variable dependiente para dar lugar a una partición en dos grupos, avanzando así en pasos sucesivos a lo largo del árbol jerárquico hasta llegar así a la clasificación final. El árbol o dendrograma formado es una expresión gráfica que facilita la

interpretación de la asociación; en los árboles de clasificación un mismo predictor puede arrojar varias ramas para mejorar así su capacidad predictiva. El software utilizado para este análisis fue S-Plus 2000.

Índice de similitud de Bray-Curtis (Bray y Curtis, 1957)

Este índice considera las diferencias en la abundancia relativa entre los taxones involucrados con el propósito de identificar los grupos de estaciones que comparten una afinidad faunística. Este índice está definido por la siguiente ecuación:

$$D_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^n |X_{ij} - X_{ik}|}{\sum_{i=1}^n |X_{ij} + X_{ik}|}$$

D_{jk} = valor de similitud en la muestras j y k

X_{ij} = valor de la especie i en la muestra j

X_{ik} = valor de la especie i en la muestra k

n = número total de taxones

Los datos estandarizados fueron transformados a $\log(x+1)$. Ya con los datos transformados se aplicó el índice de similitud de Bray-Curtis. Con la matriz que se obtuvo se construyó un dendrograma de afinidad de estaciones de muestreo. El programa que se utilizó para la aplicación del índice fue PRIMER.

Análisis de similitud (ANOSIM)

Con el ANOSIM de una vía, se analizó si las densidades de meiofauna en los diferentes estratos de profundidad en el sedimento (distribución vertical) presentaban diferencias significativas entre sí. Cuando los valores de R resultantes son iguales o cercanos a 1, sugiere que los grupos comparados presentan diferencias, por el contrario si se acercan a -1 los grupos son similares entre sí (Clarke y Warwick, 1994). El programa que se utilizó para la aplicación de este análisis fue PRIMER versión 5.

RESULTADOS

Factores ambientales

Profundidad: Las profundidades de las estaciones estuvo entre 59 m la estación menos profunda (E17), en el noreste de la Cuenca Wagner, hasta 217 m la estación más profunda (E19), en la parte central de la misma cuenca (Fig. 3).

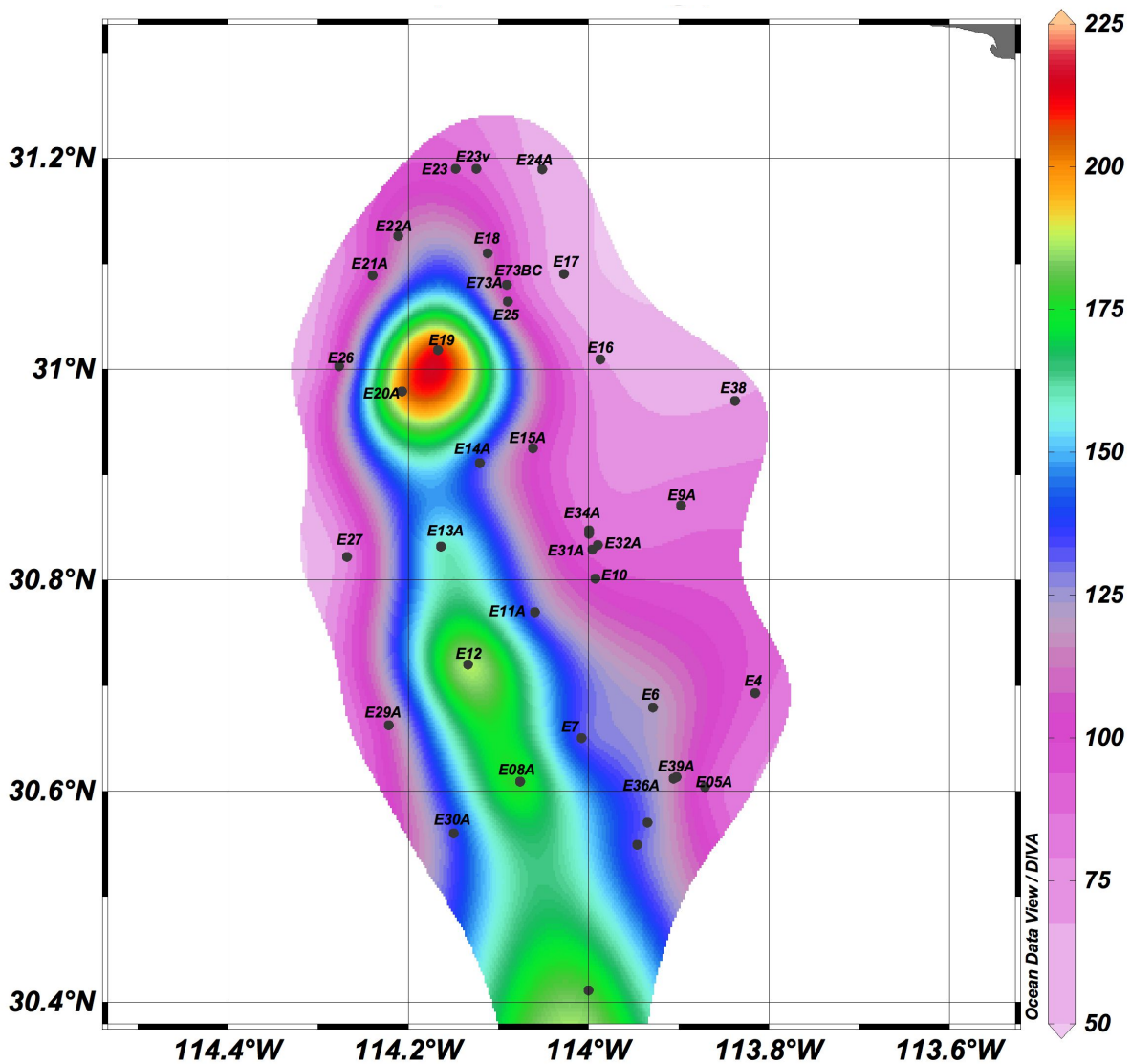


Figura 3. Profundidad de las estaciones de las Cuencas Wagner y Consag

pH de agua de poro: El intervalo de pH registrado en las cuencas fue de 6.06 – 7.37. Los valores de pH menores a siete para las cuencas se localizaron en la parte centro y norte de la Cuenca Wagner (E23v, E73A, E73bc) y en el norte de la Cuenca Consag (E32A, E33). Los valores más altos de pH se distribuyeron a lo largo de ambas cuencas (E08, E9, E13, E21, E22, E30, E36) (Fig. 4).

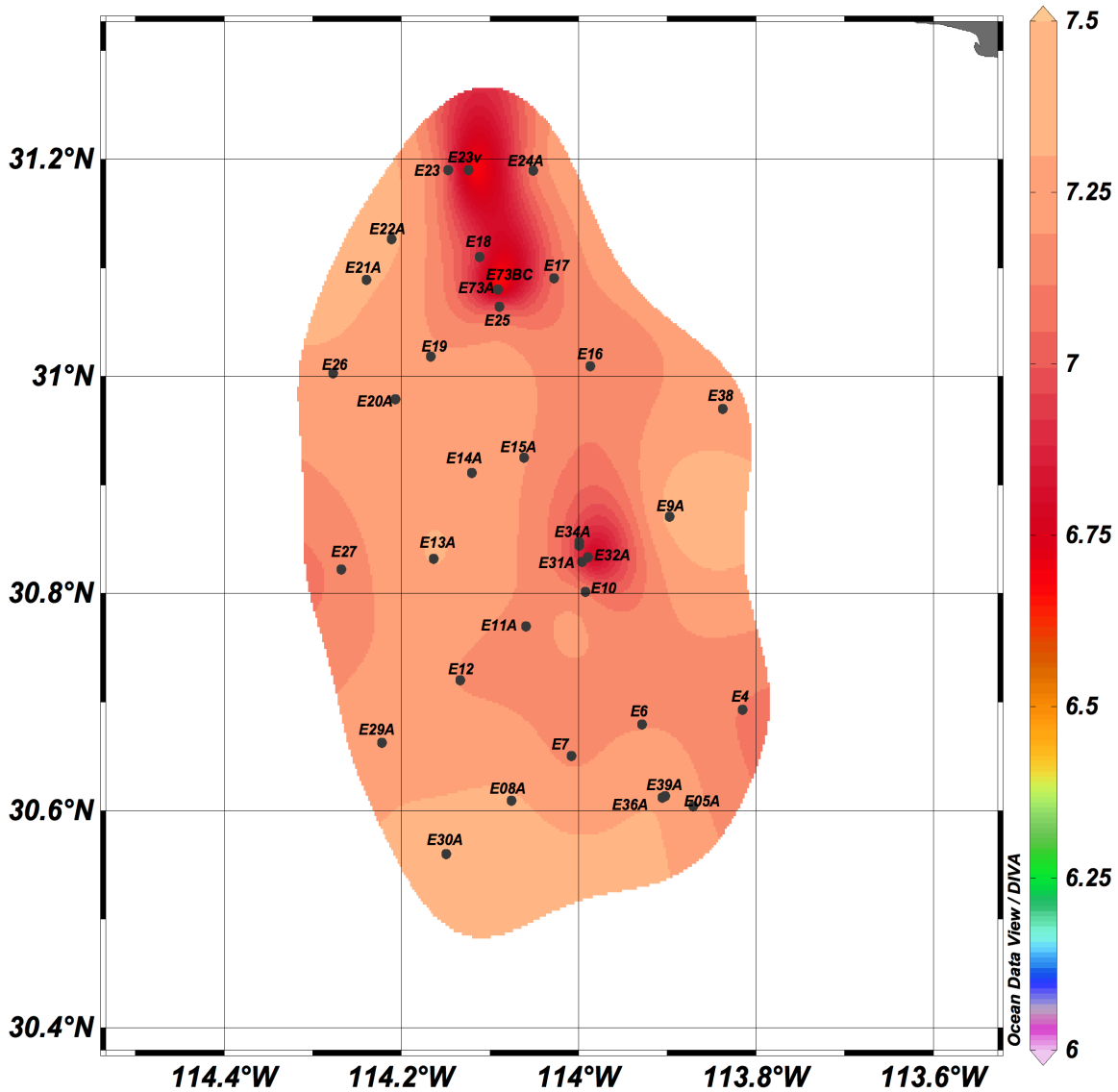


Figura 4. Distribución del pH en las estaciones de las Cuencas Wagner y Consag.

Temperatura del sedimento: La temperatura varió de 14.5° C en las estaciones al sur de la Cuenca Consag (E2, E3) hasta 26.8° C en la estación E38 al este de la Cuenca Wagner (Fig. 5).

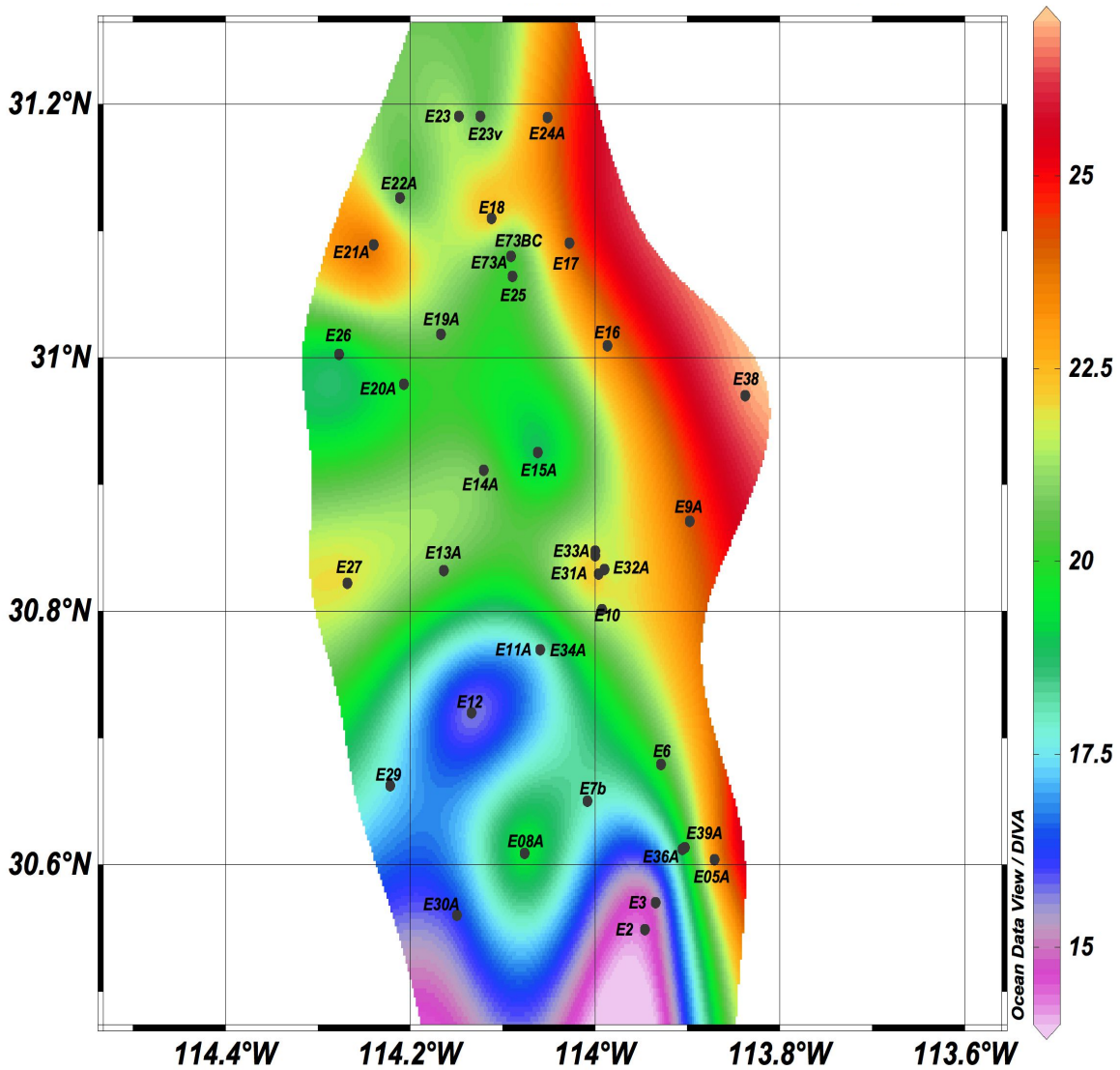


Figura 5 Temperatura de sedimento de las estaciones de las Cuencas Wagner y Consag.

Salinidad: La salinidad de la región presentó valores que se encontraron entre 34 ups en el noroeste de la Cuenca Wagner y 37 ups al norte de la Cuenca Consag.

Textura de sedimento: En las Cuencas Wagner y Consag se encontraron cinco tipos de sedimento: arena arcillosa (en 48.5% de las estaciones muestreadas), barro arenoso (39.4%), barro limoso (6%), arcilla arenosa (3.03%) y arenas (3.03%) (Fig. 6).

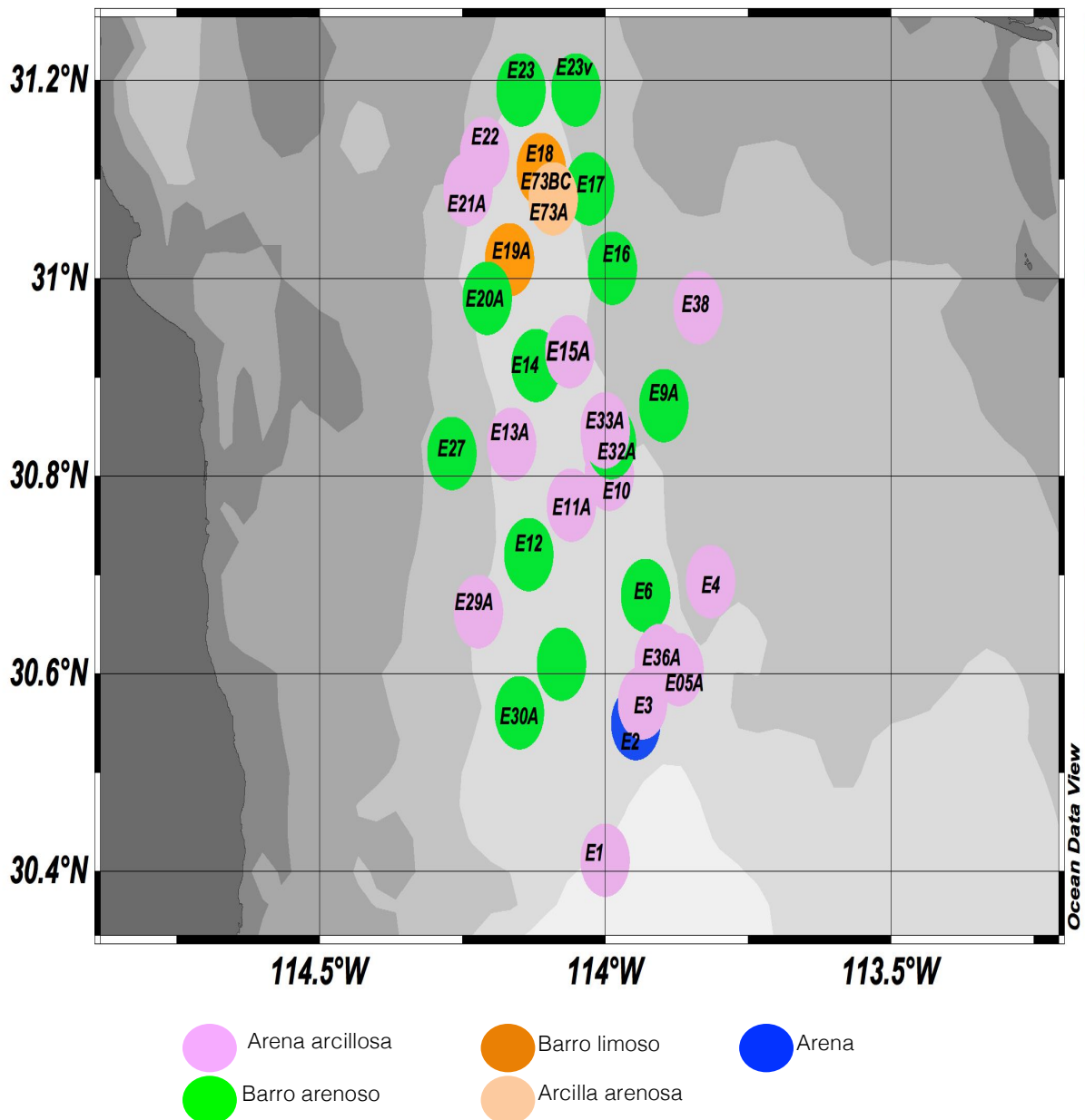


Figura 6. Distribución de tipos de sedimento en las Cuencas Wagner y Consag.

Carbono orgánico total: Los valores de carbono orgánico total (TOC), obtenidos para las Cuencas Wagner y Consag, fueron de 0.23 – 2.70 μ MC. Los valores más bajos se localizaron en la parte norte de la Cuenca Wagner (E23v.) y en el sureste de la Cuenca Consag (E3, E31, E05A). En cambio, los valores más altos fueron medidos en la parte Oeste de la Cuenca Wagner (E19, E20) y noroeste y sur de la Cuenca Consag (E12, E08, E1) (Fig. 7).

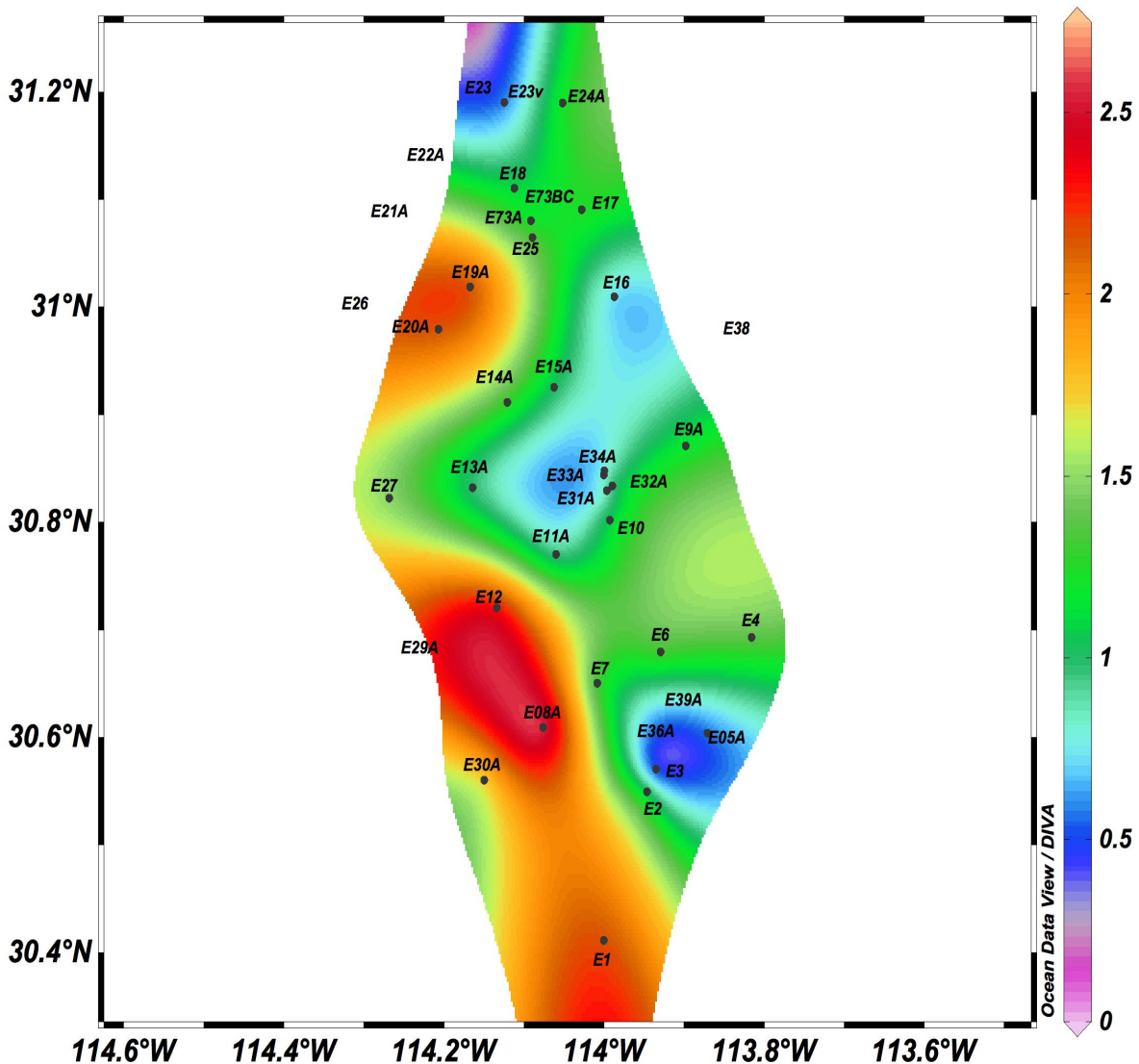


Figura 7. Distribución del carbono orgánico total (TOC) en las Cuencas Wagner y Consag.

Densidad de macrofauna: Las densidades de macrofauna en las Cuencas Wagner y Consag variaron de 70 – 1102 . La estación con la densidad de macrofauna más elevada (E17) estuvo localizada en la parte norte de la Cuenca Wagner y la estación con la densidad más baja (70 ind/0.1 m2) (E1) estuvo ubicada en la parte más al sur de la zona estudiada (Fig. 8).

Densidad de diatomeas: La densidad de diatomeas en el área de estudio varió de 41 – 378 . Se observó que la densidad de diatomeas se encontró distribuida heterogéneamente en las Cuencas Wagner y Consag (Fig. 9).

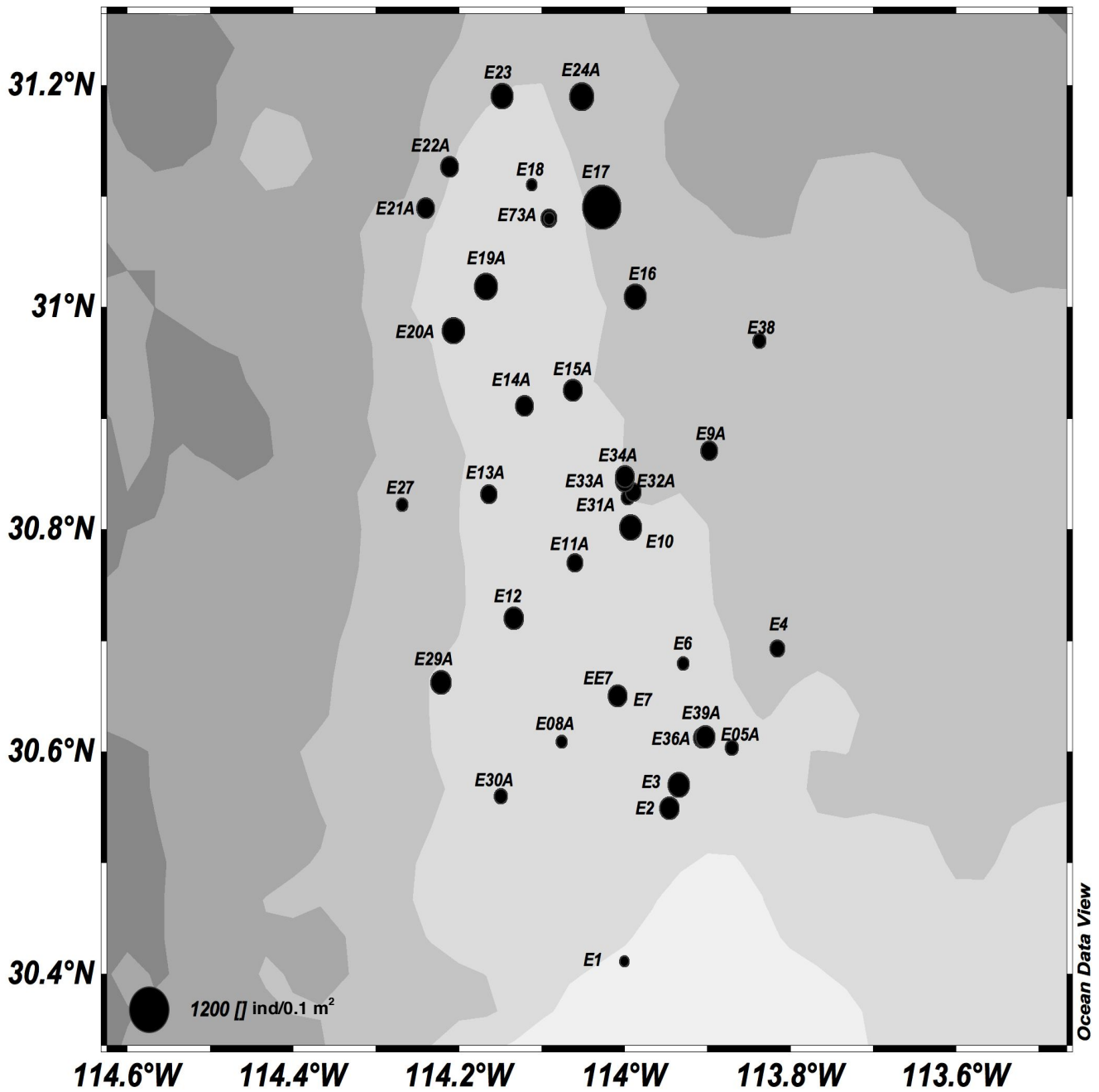


Figura 8. Distribución de las densidades de la macrofauna en las Cuencas Wagner y Consag.

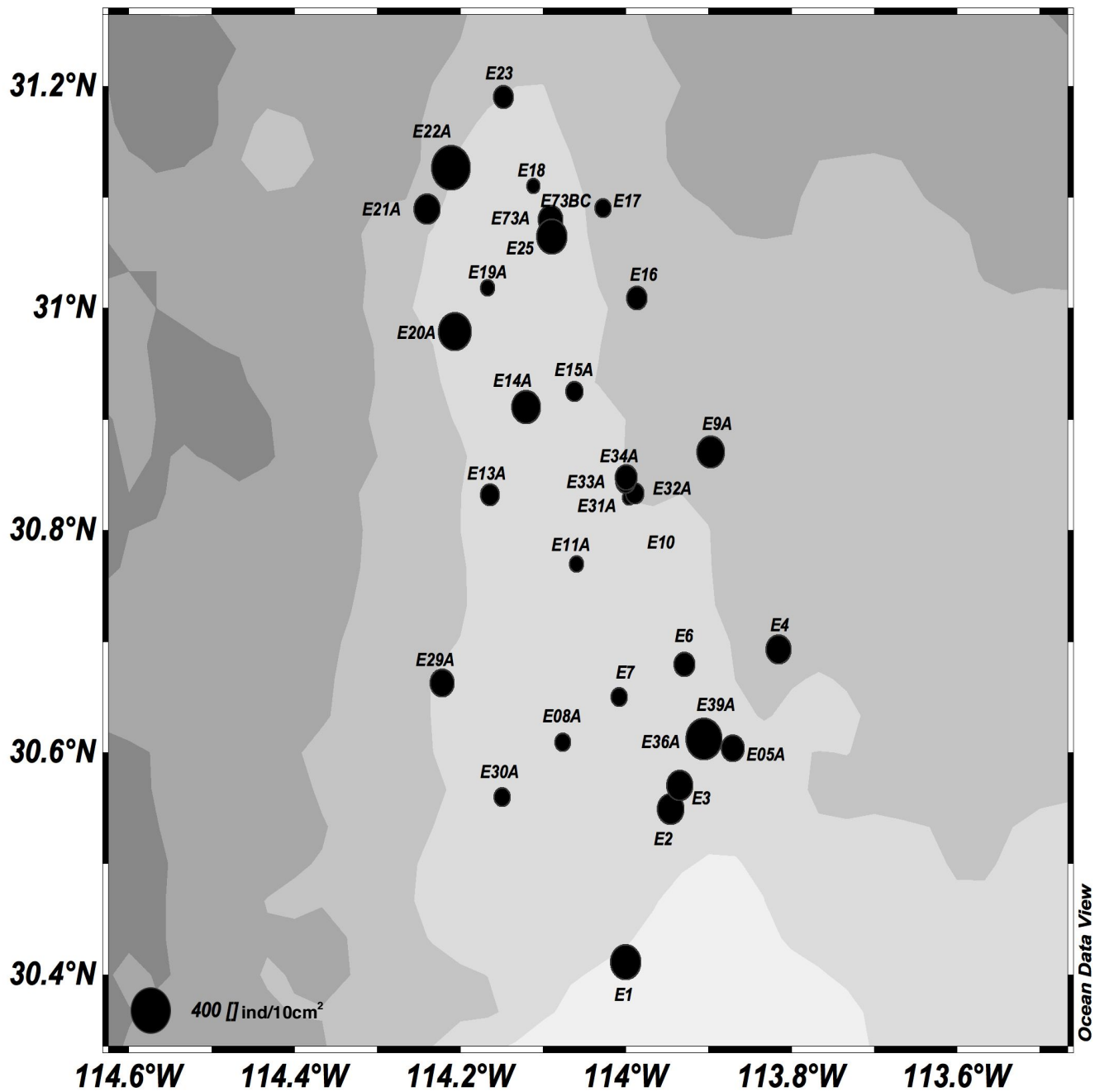


Figura 9. Distribución de las densidades de las diatomeas en las Cuencas Wagner y Consag.

Caracterización biológica

Abundancia

En total se separaron 9,475 individuos pertenecientes a la meiofauna, de los cuales se reconocieron 12 grupos taxonómicos: Nematoda, Kinorhyncha, Gastrotricha, Bivalvia, Gastropoda, Polychaeta, Oligochaeta, Copepoda Harpacticoida, Ostracoda, Peracarida, Acari y Echinodermata. La comunidad de meiofauna estuvo dominada por los nemátodos, los cuales representaron el 73.1%, seguidos por los copépodos harpacticoides (11.28%), los poliquetos (8.41%) y los kinorrrincos (4.71%). Los otros grupos taxonómicos representaron solo el 2.49% con el siguiente orden de abundancia: bivalvos, oligoquetos, otros crustáceos, ácaros y otros (ostrácodos, gastrotricos y gasterópodos) (Fig. 10).

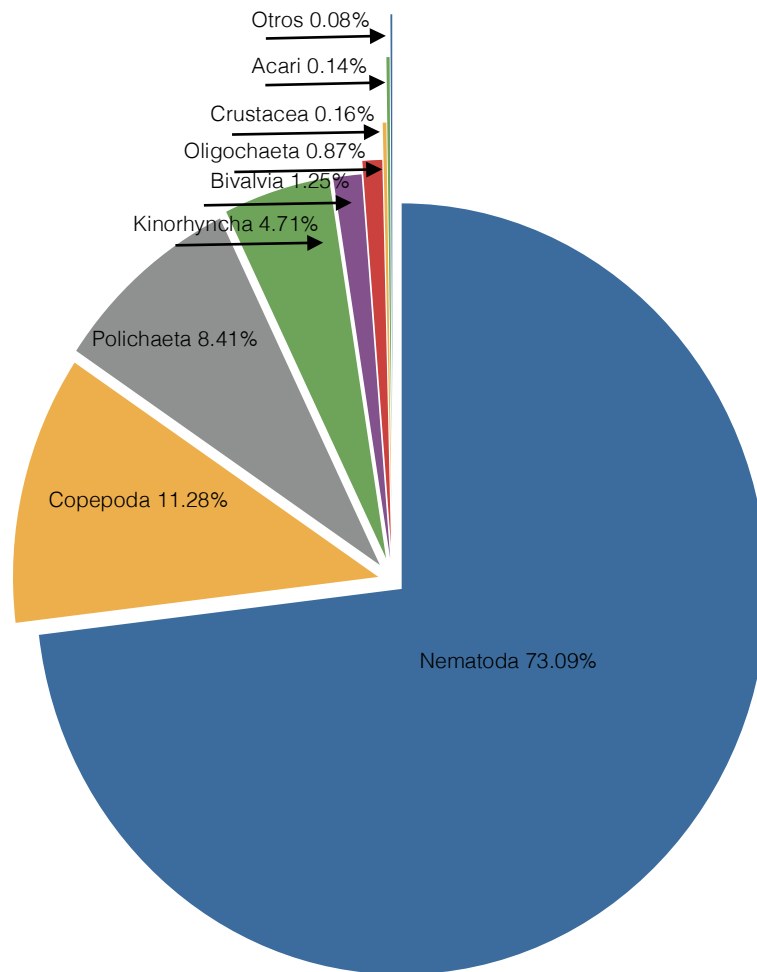


Figura 10. Abundancia de la meiofauna por taxón.

Riqueza de grupos taxonómicos por estación

El número de taxones por estación varió de tres a ocho grupos taxonómicos (Fig. 11). El 7.5% de las estaciones presentaron ocho grupos taxonómicos mientras que el 10% presentó tres grupos taxonómicos. El mayor porcentaje de estaciones (36.5%) estuvo representado por seis grupos taxonómicos.

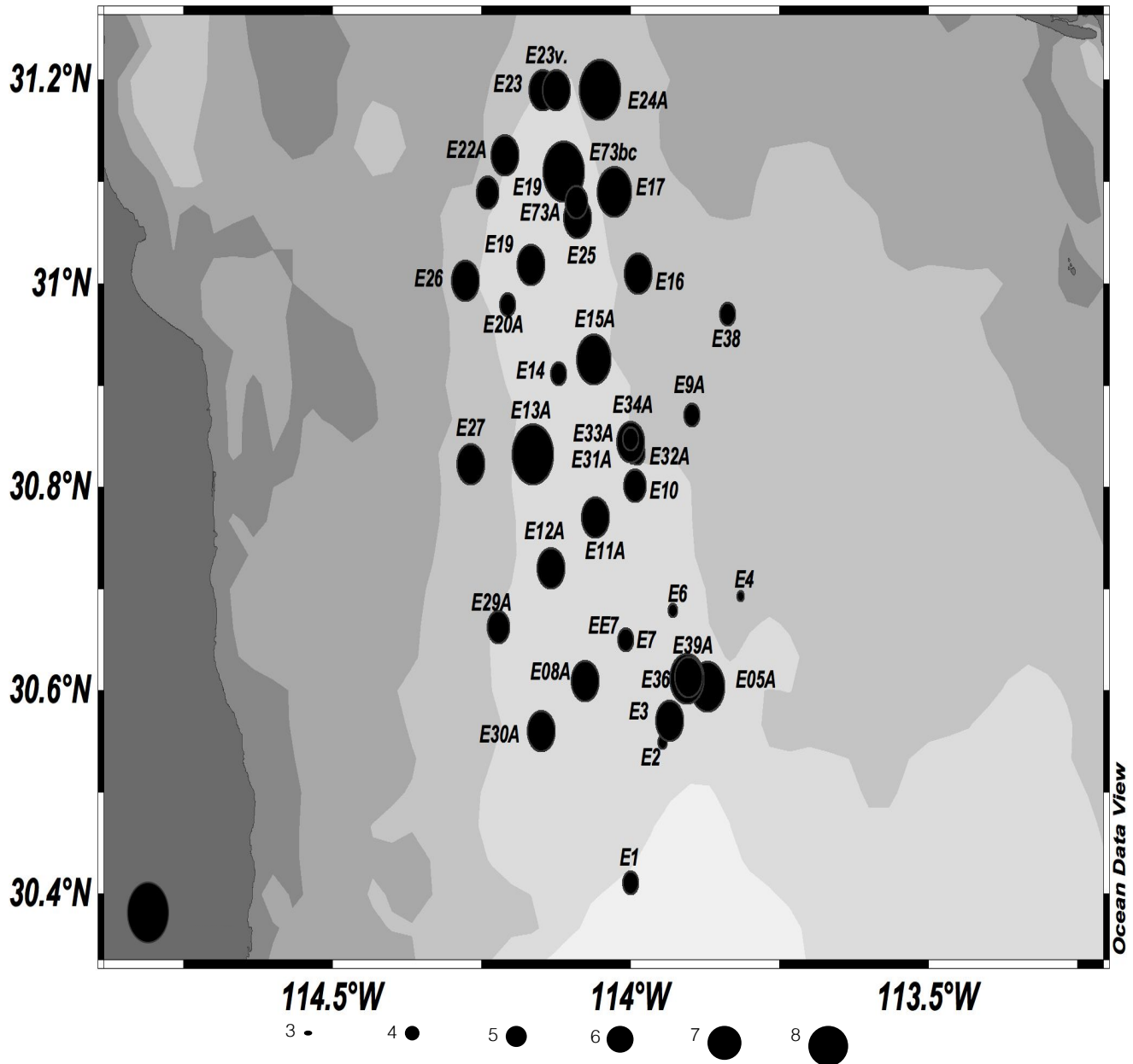


Figura 11. Distribución del número de taxones superiores por estación en las Cuencas Wagner y Consag.

Los nemátodos y poliquetos estuvieron presentes en todas las estaciones, los copépodos harpacticoides también fue un taxón común en la comunidad, sólo en la estación E34 no fueron registrados. Los bivalvos se recolectaron en el 75% de las estaciones muestreadas, los kinorincos en el 60%, los oligoquetos en el 52.2% y los crustáceos en 25%. Los ácaros, equinodermos y otros registraron un porcentaje menor al 20% cada uno.

Densidad espacial

Las densidades de meiofauna en las Cuencas Wagner y Consag variaron de 19.12 ind/10 cm² (E2 al sur de la Cuenca Consag) hasta 742.20 ind/10 cm² (E26 al noroeste de la Cuenca Wagner) (Fig. 12). Las densidades más altas se registraron (>200 ind/10 cm²) en el norte de la Cuenca Wagner (E26, E18, E23, E25), con densidades entre 251.41 - 712.46 ind/10 cm², en profundidades entre 92 y 116 m, pH entre 7 y 7.28, en sedimento lodoso (barro limoso y arcilla arenosa). Las estaciones con densidades menores de 50 ind/10 cm² (19.12 – 47.45 ind/10 cm²) fueron observadas en tres estaciones (E2, E32A, E31A), en profundidades entre 88 y 130 m y pH entre 6.48-7.05, con sedimento arenoso (arena, arena arcillosa y arcilla arenosa) (Fig. 12).

Densidad por taxón

El grupo dominante en todas de las estaciones fueron los nemátodos, con densidades incluso de 12.02 ind/10 cm² en la estación E2 (al sur de las cuencas) hasta densidades de 553.85 ind/10 cm² en la estación E26 (al noroeste de la Cuenca Wagner). Los copépodos harpacticoides y los poliquetos ocuparon el segundo lugar de importancia numérica.

Las densidades de los copépodos harpacticoides se cuantificaron entre 0 ind/10 cm² (E34) y 113.17 ind/10 cm² (E26). En cambio, las densidades de los poliquetos se encontraron en el intervalo de 1.41 ind/10 cm² (E32A) y 26.87 ind/10 cm² (E23).

La cuarta posición numérica con respecto a la densidad lo ocupó el grupo de los kinorincos. Las densidades de estos invertebrados estuvieron en el intervalo de 0 ind/10 cm² en 10 estaciones (E1, E2, E4, E05, E6, E14, E31, E32, E34, E38) hasta 24.08 ind/10 cm² en la estación E26.

El resto de los grupos taxonómicos (bivalvos, otros crustáceos, ácaros, equinodermos, oligoquetos, ostrácodos, gastrotricos y gasterópodos) registraron densidades <math><10\text{ ind}/10\text{ cm}^2</math>, excepto en la estación E30A, en donde la densidad de bivalvos fue de $14.16\text{ ind}/10\text{ cm}^2</math>.$

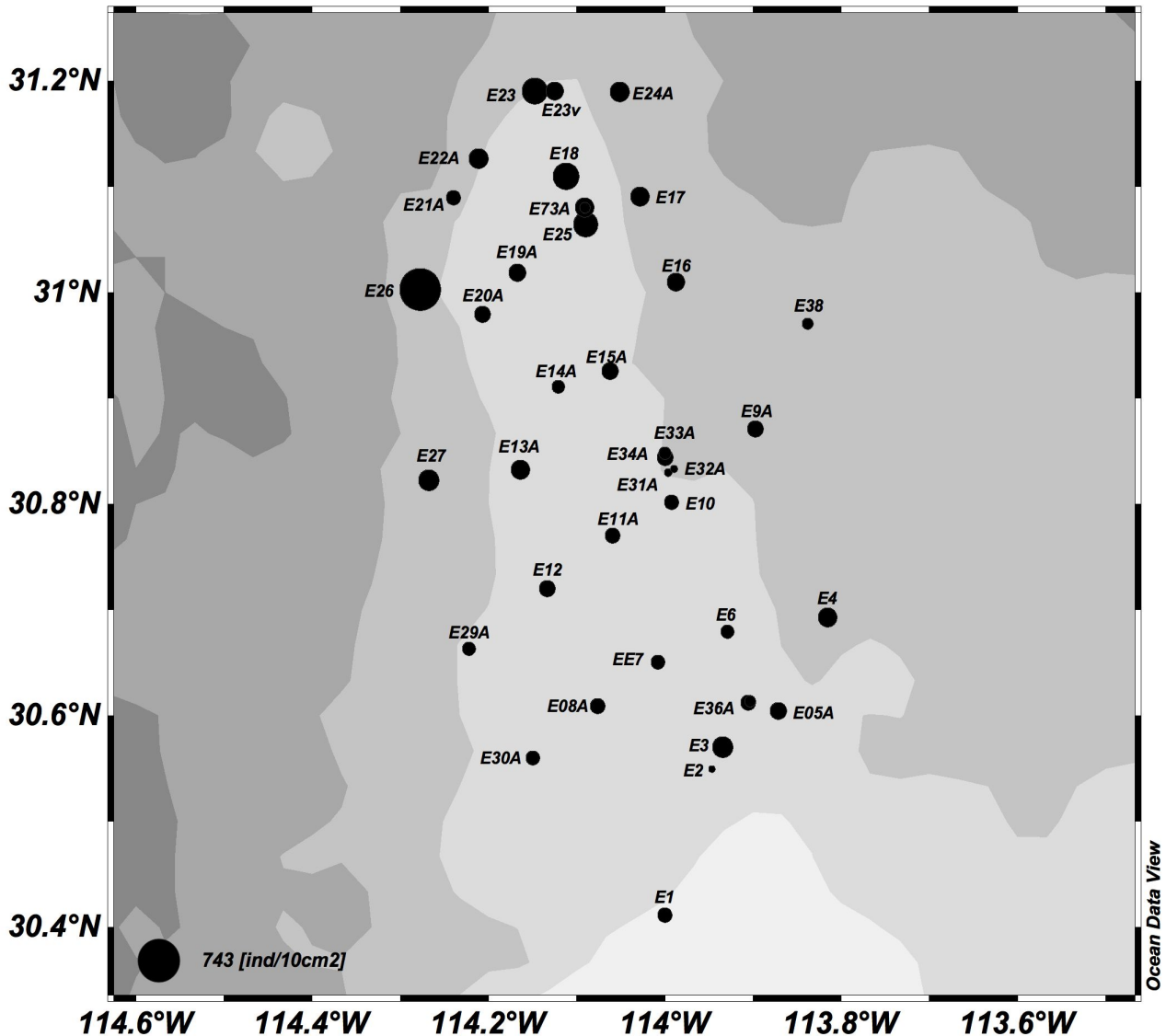


Figura 12. Densidad de la meiofauna por estación en las Cuencas Wagner y Consag.

Densidad y factores ambientales

En el área de estudio, el intervalo de pH fue de 6.06-7.37. En seis estaciones, en general ubicadas en la zona noreste de la Cuenca Wagner (E73A, E32A, EE7, E73bc, E23v, E33A), se registraron valores de pH menores a siete. En esta zona, las densidades de meiofauna variaron de $24.07\text{ ind}/10\text{ cm}^2</math> a $154.39\text{ ind}/10\text{ cm}^2</math> y se registraron ocho grupos taxonómicos:$$

nemátodos, copépodos, poliquetos, oligoquetos, kinorrincos (E73bc), bivalvos (E73bc), ácaros (E73A) y equinodermos (EE7) (Fig. 13). En estas cinco estaciones, los nemátodos fueron el grupo taxonómico con densidades mayores, principalmente en la estación E73bc (pH de 6.52, densidades de meiofauna de 154.39 ind/10cm², barro arenoso). Los copépodos harpacticoides fueron el segundo grupo dominante presente en las estaciones con valores bajos de pH. La densidad mayor de estos crustáceos fue de 25.49 ind/10cm² registrada en la estación E23v, donde el pH fue de 6.55. El tercer grupo en orden de importancia fueron los poliquetos con densidad de 18.41 ind/10cm², seguido por los kinorrincos y bivalvos (2.83 ind/10cm² cada uno), estación E23v. El resto de los grupos taxonómicos (ácaros, equinodermos, oligoquetos) registraron densidades <5 ind/10 cm² (Fig. 13).

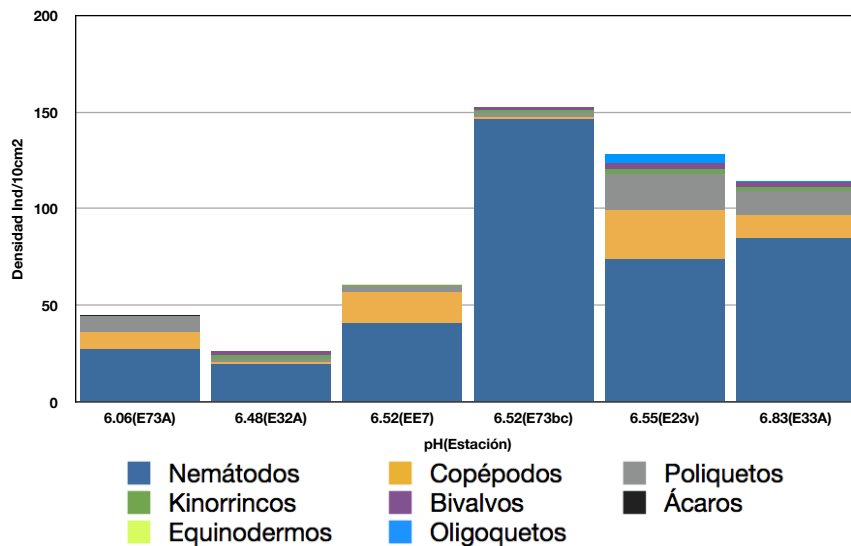


Figura13. Densidad por grupo taxonómico en estaciones con pH<7.

Se registraron valores de pH iguales o mayores a siete en 32 estaciones muestreadas (80%). El intervalo de densidades de la meiofauna en estas estaciones fue de 26.20 ind/10 cm² a 712.46 ind/10 cm². Los grupos taxonómicos encontrados fueron once: nemátodos, copépodos, poliquetos, oligoquetos, kinorrincos, bivalvos, otros crustáceos, ácaros, equinodermos, gastrotricos y gasterópodos. Tres grupos taxonómicos más que en las estaciones con pH menores a siete (equinodermos, gastrotricos y gasterópodos).

Al igual que en las estaciones con pH menores a siete, los nemátodos fueron el grupo taxonómico con mayor densidad (554.53 ind/10 cm², E26). En general, el segundo grupo dominante en densidad total lo conformaron los copépodos harpacticoides. Este taxón fue el

segundo en dominancia, después de los nemátodos, en 17 estaciones. Los poliquetos fueron el tercer taxón en importancia numérica de densidad total, sin embargo en 15 estaciones ocuparon el segundo lugar de densidad después de los nemátodos.

Los kinorricos y los moluscos bivalvos ocuparon el cuarto y quinto lugar de densidad total, respectivamente. El resto de los grupos taxonómicos (ácaros, equinodermos, oligoquetos, otros crustáceos, gastrotricos y gasterópodos) registraron densidades <10 ind/10 cm² y fueron encontrados en menos del 50% de las estaciones muestreadas (Fig. 14).

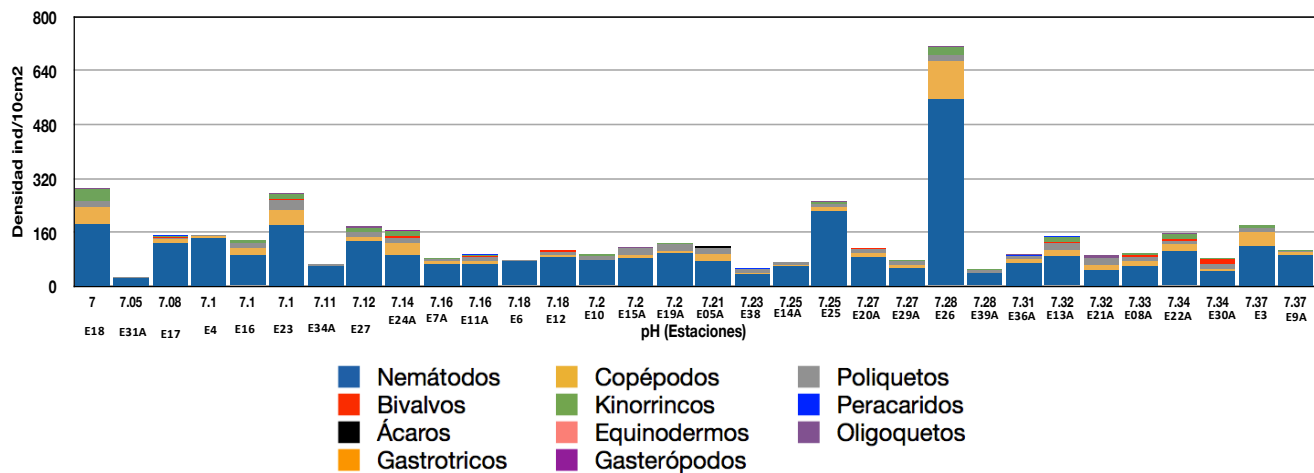


Figura 14. Densidad de grupos taxonómico en estaciones con pH > 7.

Para analizar la influencia de los parámetros ambientales (abióticos) y factores bióticos sobre la distribución y densidad de la meiofauna, se aplicó un Análisis de Regresión por Árboles. En este análisis se utilizó como variable de respuesta la densidad de la meiofauna, y como variables de predicción: la profundidad, la temperatura, la salinidad, el tamaño de grano, el pH, el carbono orgánico total (TOC), la densidad de macrofauna y la densidad de diatomeas (Fig. 15). El análisis señaló que la densidad de macrofauna (i.e. presencia de depredadores) fue el factor más importante que influyó en la distribución de la densidad de la meiofauna. En general, los valores más altos de densidad de macrofauna se relacionaron con valores bajos de densidades meiofaúnicas. El análisis señaló al tamaño de grano como segundo factor que determinó la densidad de la meiofauna. En general, en las estaciones con el tamaño de grano más grande ($>150\mu\text{m}$), las densidades de meiofauna fueron bajas (<100 ind/10 cm²). Según el ARA, el tercer y cuarto factor que influyó en las densidades de meiofauna fueron el carbono orgánico total y el pH, respectivamente.

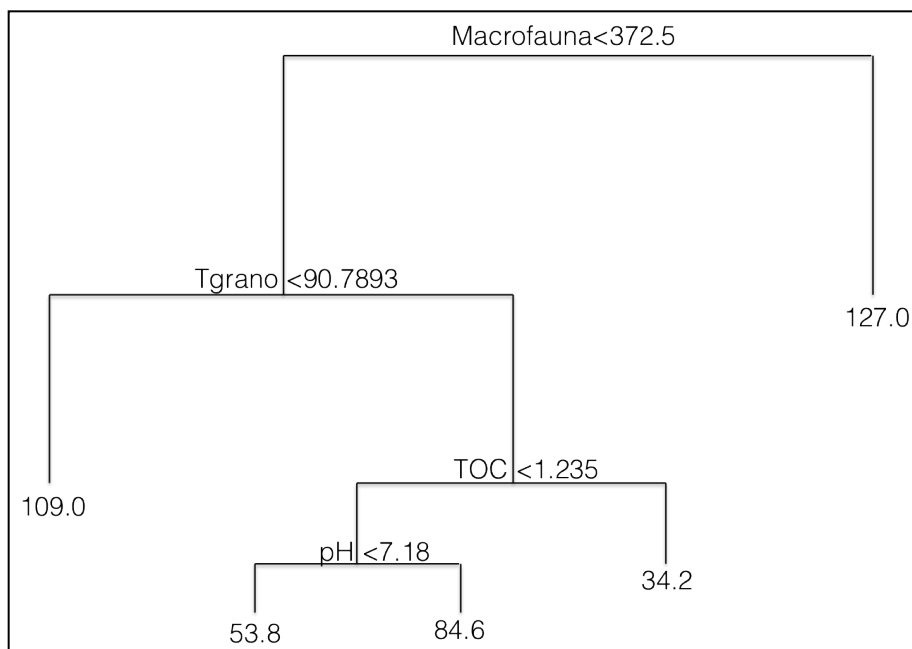


Figura 15. Análisis de regresión por árboles aplicado a la densidad de la meiofauna (ind/10 cm²), como variable respuesta y profundidad, temperatura, salinidad, tamaño de grano, pH, carbono orgánico total, densidad de macrofauna y densidad de diatomeas como variables de predicción.

Se aplicó este mismo análisis para evaluar el efecto de los factores bióticos y abióticos sobre la densidad de nemátodos, copépodos harpacticoides, poliquetos y kinorricos (Fig. 16). Para la densidad de nemátodos, el análisis arrojó que su distribución estuvo influenciada principalmente por la densidad de copépodos harpacticoides, siendo este factor el más importante, seguido por la densidad de macrofauna y la profundidad (Fig. 16 A). Por lo tanto, la densidad de copépodos harpacticoides estuvo relacionada con la densidad de nemátodos; por otro lado el segundo factor de importancia fue la densidad de macrofauna, seguido por la densidad de diatomeas (Fig. 16 B). En el dendrograma (Fig. 16 C), se observó que la densidad de poliquetos estuvo afectada especialmente por la densidad de la macrofauna, seguido por el pH y la temperatura. Por último, los factores que determinaron la densidad de los kinorricos fueron la densidad de diatomeas y el pH (Fig. 16 D).

Con base en el análisis de similitud de Bray-Curtis no se identificaron asociaciones evidentes de estaciones con respecto a la densidad de la meiofauna.

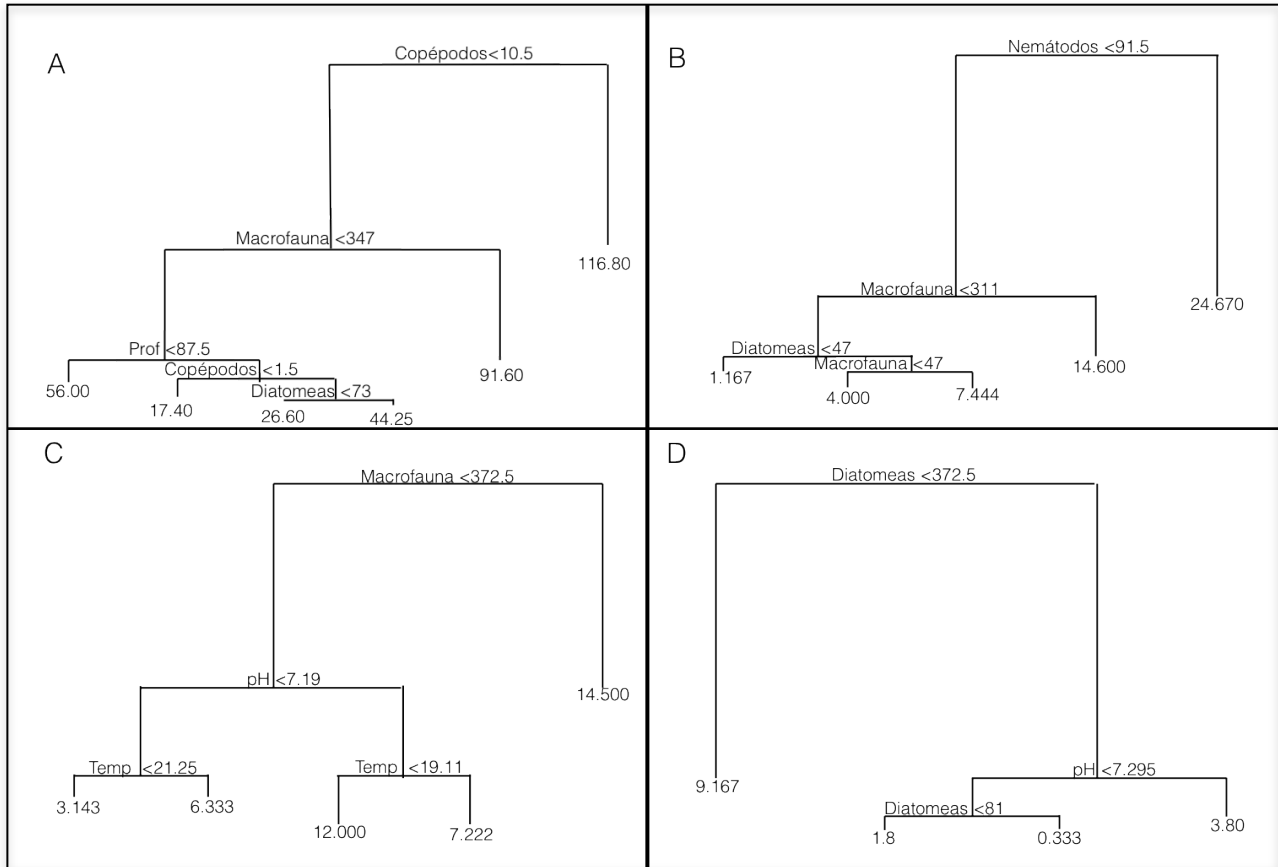


Figura 16. Análisis de regresión por árboles aplicado a la densidad nemátodos (A), densidad de copépodos harpacticoides (B), densidad de poliquetos (C) y densidad de kinorricos (D) (ind/10 cm²), como variable respuesta y profundidad, temperatura, salinidad, tamaño de grano, pH, carbono orgánico total, densidad de macrofauna, densidad de diatomeas densidad de copépodos harpacticoides (A) y densidad de nemátodos (B) como variables de predicción.

Distribución vertical

Los resultados obtenidos de las muestras estratificadas recolectadas en la Cuencas Wagner y Consag, mostraron una abundancia absoluta de 2,100 individuos repartidos en nueve grupos taxonómicos: nemátodos, kinorricos, moluscos, poliquetos, oligoquetos, copépodos harpacticoides, crustáceos, ácaros y equinodermos.

En este estudio, la meiofauna estuvo concentrada en los primeros cuatro centímetros de la columna de sedimento (78.6%) (Fig. 17). Los nemátodos estuvieron distribuidos en toda la columna de sedimento (desde cero hasta los 10 cm), el 78.62% estuvo presentes en los primeros cuatro centímetros. Los copépodos harpacticoides, poliquetos y kinorricos

estuvieron también presentes en todos los horizontes de profundidad del sedimento, con el 75.91, 73.96, y 85.10% en los primeros cuatro centímetros, respectivamente. Por otro lado, los oligoquetos, bivalvos y crustáceos estuvieron presentes sólo en dos horizontes de profundidad: oligoquetos y bivalvos en las primeras dos capas de sedimento (0-2 cm y 2-4 cm), con 36.3% y 80%, respectivamente, en cambio, los crustáceos estuvieron presentes en las capas de 0-2 cm y de 4-6 cm, con el 50% en los primeros dos centímetros, por último, los ácaros y equinodermos se ubicaron solo en la primera capa de sedimento (0-2 cm) (Fig. 17).

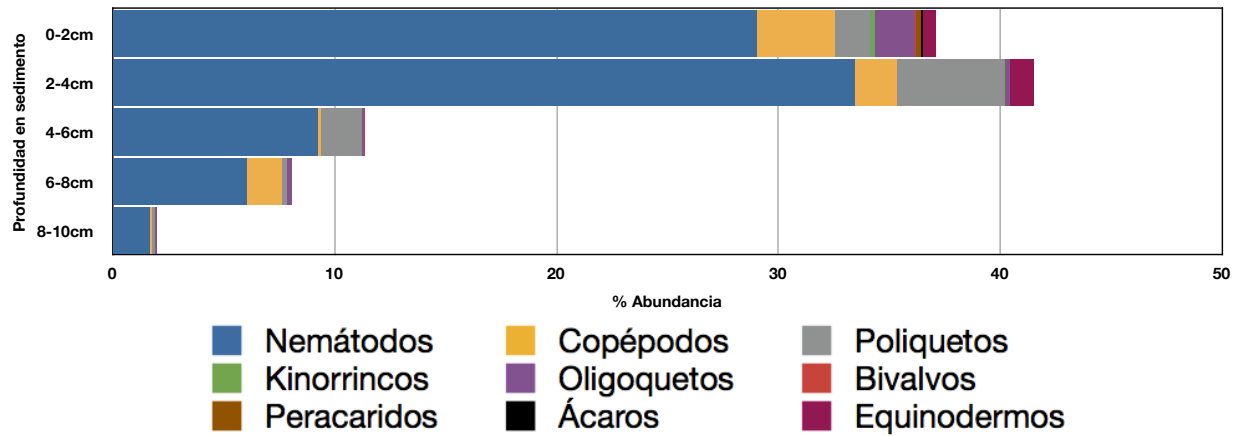


Figura 17. Distribución Vertical de la meiofauna por grupo taxonómico.

Como resultado del análisis de similitud ANOSIM se determinó que hubo diferencias significativas entre los estratos superiores (0 – 6 cm) y los estratos inferiores (6 – 10 cm). Con un R global de 0.164 a un nivel de significancia de 0.1%.

DISCUSIÓN

Caracterización biológica

En este estudio se identificaron 12 grupos taxonómicos pertenecientes a la meiofauna (Nematoda, Kinorhyncha, Gastrotricha, Bivalvia, Gastropoda, Polychaeta, Oligochaeta, Copepoda Harpacticoida, Ostracoda, Crustacea (otros), Acari y Echinodermata). El grupo dominante en todas las estaciones muestreadas fueron los nemátodos, seguidos por los copépodos harpacticoides, poliquetos, kinorincos y otros. El número de taxones superiores (NTS), el orden de abundancia de éstos y los grupos taxonómicos encontrados en este trabajo (Tabla 2), fueron similares con los registrados en otras investigaciones en zonas de emanaciones hidrotermales (*hydrothermal vents*) o emanaciones frías (*cold seeps*). En una zona de emanaciones de hidrocarburos en California, [Montagna et al. \(1989\)](#) estudiaron la meiofauna y registraron 13 taxones excluyendo foraminíferos. En esta área de ventilas, al igual que en las cuencas Wagner y Consag, los nemátodos también fueron el taxón dominante, seguido por los copépodos harpacticoides, no obstante, los poliquetos y kinorincos ocuparon el séptimo y decimocuarto taxón, en cambio en esta investigación ocuparon el tercer y cuarto lugar, respectivamente.

La meiofauna en zonas de emanaciones de gas está dominada por los nemátodos ([Tabla 2](#)). La dominancia puede deberse a la tolerancia de estos organismos a ambientes extremos como lo son los sistemas de infiltraciones de gas ([Kamenev et al., 1993](#); [Van Gaever et al., 2006](#); [Zepilli et al., 2011a](#)). Incluso, existen estudios que catalogan a este tipo de ambientes como benéficos para la biodiversidad de los nemátodos, ya que incluyen un número elevado de especies endémicas ([Zeppilli et al., 2011b](#)).

Casos especiales son los trabajos de [Powell et al. \(1983\)](#) y [Gollner et al. \(2010\)](#), en donde en una emanación sulfurosa en el Golfo de México registraron como grupo dominante a los gnatostomúlidos y en una ventila hidrotermal en el Pacífico a los copépodos harpacticoides, respectivamente. [Powell et al. \(1983\)](#) argumentaron que esto pudo deberse a que los gnatostomúlidos junto con los turbelarios son grupos de la meiofauna que normalmente están restringidos a ambientes con concentraciones altas de sulfuro. En el segundo estudio, la presencia de sedimento grueso favoreció la dominancia de los copépodos harpacticoides.

Por lo regular, el tercer grupo de importancia numérica en la meiofauna lo ocupan los poliquetos, como se registró en este estudio y en los trabajos de [Van Gaever et al. \(2009a,b\)](#). Sin embargo, cuando se cuantifican los foraminíferos, estos organismos han ocupado el segundo o tercer lugar desplazando a los poliquetos ([Tabla 2](#)), como lo encontraron [Shirayama y Ohta \(1990\)](#) y [Sergeeva y Gulin \(2007\)](#) en emanaciones frías.

Los nemátodos, además de ser el taxón más abundante junto con los copépodos y los poliquetos, también fueron el taxón más frecuente en las cuencas Wagner y Consag, es decir se les encontró en todas las estaciones muestreadas. Algo similar se ha registrado en otros estudios de meiofauna en ambientes con emanaciones de gas ([Robinson et al., 2004](#); [Van Gaever et al., 2006](#); [Zeppilli et al., 2011b](#)). Al igual que en este trabajo, otros taxones meio bentónicos como kinorincos, gastrotricos y turbelarios (excepto copépodos y poliquetos), por lo regular han sido catalogados como taxones poco frecuentes, considerados como taxones “raros” ([Montagna et al., 1989](#); [Shirayama y Ohta, 1990](#); [Kamenev et al., 1993](#); [Soltwedel et al., 2005](#); [Van Gaever et al., 2006](#); [Sergeeva y Gulin, 2007](#); [VanGaever et al., 2009a, b](#); [Zeppilli et al., 2011a, b](#)).

Es importante aclarar que el pH no es un parámetro ambiental frecuentemente medido y analizado en las investigaciones del meio bentos, incluyendo aquellos estudios en ambientes extremos, como: ventilas hidrotermales, volcanes de lodo, emanaciones frías (gas metano), de hidrocarburos y de vapor salino ([Tabla 2](#)).

El número de taxones superiores por estación (NTS) varió de tres a ocho independientemente de los valores de pH ([Figs. 13 y 14](#)). En la mayoría de los estudios de infiltraciones, la variable crucial para explicar la estructura de las comunidades meiofaúnicas fue la infiltración de gas ([Montagna et al., 1989](#); [Shirayama y Ohta, 1990](#); [Soltwedel et al., 2005](#); [Gaever et al., 2006](#); [Van Gaever et al., 2009b](#); [Van Zeppilli et al., 2011a, b](#)) y comúnmente se observa un empobrecimiento del número de taxones superiores ([Zeppilli et al., 2011b](#)). [Zeppilli et al. \(2011a\)](#) compararon una zona de volcanes de lodo en el Mar Mediterráneo con sitios control (ausencia de gas) y encontraron que el NTS en volcanes activos fue de tres a ocho y en las zonas no activas fue de 10 a 14. [Zeppilli et al. \(2011a, b\)](#) concluyeron que esto puede deberse a que las condiciones ambientales en zonas con presencia de gas podrían ser hostiles para la gran mayoría de los grupos taxonómicos de la meiofauna, ya que al parecer son pocos los taxones superiores que toleran este tipo de ambientes.

Tabla 2. Dominancia de grupos taxonómicos en diferentes estudios con infiltraciones.

Autor (año)	Localidad	Ambiente	Abundancia		
			1er Taxón	2do Taxón	3er Taxón
Powell <i>et al.</i> (1983)	East Flower Garden, Golfo de México	Emanación salina ("brine seep")	Gnathostomúlidos	Platelmintos	Asquelmintos
Montagna <i>et al.</i> (1989)	Santa Bárbara, California USA	Emanación de hidrocarburos	Nemátodos	Copépodos harpacticoides	Ciliados
Shirayama y Ohta (1990)	Emanación Hatsushina, Japón	Emanaciones frías (metano)	Nemátodos	Foraminíferos	Copépodos harpacticoides
Kamenev <i>et al.</i> (1993)	Bahía Plenty, Nueva Zelanda	Ventilas hidrotermales	Nemátodos	-	-
Danovaro <i>et al.</i> (2000)	Mediterráneo (Mar de Creta)	Mar Profundo	Nemátodos	Copépodos harpacticoides	Poliquetos
Barry <i>et al.</i> (2004)	Moss Landing, California	Mar Profundo (Inyección CO ₂)	Nemátodos	-	-
Robinson <i>et al.</i> (2004)	Cresta Blake, Océano Atlántico y Cañón Alaminos Golfo de México	Emanaciones de hidrocarburos y Emanaciones frías (metano)	Nemátodos	Copépodos harpacticoides	Foraminíferos
Soltwedel <i>et al.</i> (2005)	Glacial Bjornoya, Noruega	Volcán de Lodo (metano)	Nemátodos	Foraminíferos	Copépodos harpacticoides
Van Gaever <i>et al.</i> (2006)	Glacial Bjornoya, Noruega	Volcán de Lodo (metano)	Nemátodos	Copépodos harpacticoides	Poliquetos
Sergeeva y Gulin (2007)	Mar Negro	Emanaciones frías (metano)	Nemátodos	Copépodos harpacticoides	Foraminíferos
Zeppilli y Danovaro (2009)	Archipiélago Indonesio (Océano Pacífico)	Ventila hidrotermal somera	Nemátodos	Copépodos harpacticoides	Poliquetos
Van Gaever <i>et al.</i> (2009a)	Golfo de Guinea	Mar profundo (metano)	Nemátodos	Copépodos harpacticoides	Poliquetos
Van Gaever <i>et al.</i> (2009b)	Noruega	Volcanes de lodo (metano)	Nemátodos	Copépodos harpacticoides	Poliquetos
Sellanes <i>et al.</i> (2010)	Chile	Emanaciones frías (metano)	Nemátodos	Poliquetos	Copépodos
Gollner <i>et al.</i> (2010)	Cresta del Pacífico Este	Ventilas hidrotermales	Copépodos harpacticoides	Nemátodos	Foraminíferos
Zeppilli <i>et al.</i> (2011a)	Mar Mediterráneo	Cráteres (Metano)	Nemátodos	Copépodos harpacticoides	Poliquetos
Zeppilli <i>et al.</i> (2011b)	Mar Mediterráneo	Emanaciones Frías (metano)	Nemátodos	Copépodos harpacticoides	Poliquetos

Dado el NTS obtenido en este estudio, puede considerarse que las emanaciones de CO₂ en las Cuencas Wagner y Consag probablemente tienen gran influencia en el ambiente y en la estructura de las comunidades bentónicas. El pH registrado en este trabajo (6.06 – 7.37) fue relativamente bajo, comparado con el pH de agua de poro en zonas marinas en condiciones normales, en donde prácticamente es constante y raramente excede los valores entre 7 y 8.2 (Ben-Yaakov, 1973). Esto tal vez se deba al gran número de emanaciones descubiertas en esta zona del Golfo de California. Canet *et al.* (2010) y Prol-Ledesma *et al.* (2013) mapearon más de 300 sitios de burbujeo a una profundidad de 65 a 150 m. Además, se ha observado

que el flujo de gas es intermitente y se extiende a un área extensa en las cuencas (Prol-Ledesma *et al.*, 2013).

Distribución espacial de la densidad total

La mayoría de los estudios de meiofauna en sitios con emanaciones se han realizado principalmente en zonas con infiltración de gas metano e hidrocarburos, en contraste con en el área de estudio donde las emanaciones fueron de CO₂. Por tal motivo es recomendable tomar con cautela cualquier comparación. En este trabajo, la densidad espacial de la meiofauna en las Cuencas Wagner y Consag fue contrastante, varió de 19.12 a 742.20 ind/10 cm². Estas densidades comparadas con otros estudios pueden ser consideradas bajas. En una emanación de hidrocarburos en el Golfo de México y en una emanación de metano en el océano Atlántico, Robinson *et al.* (2004) obtuvieron densidades de meiofauna elevadas pero igualmente contrastantes (1,670 – 14,000 ind/10 cm²). Resultados similares que fueron obtenidos en emanaciones frías, volcanes de lodo y cráteres los reportaron Soltwedel *et al.* (2005), Van Gaever *et al.* (2006), Van Gaever *et al.* (2009b), Zeppilli *et al.* (2011a, b). Las densidades espaciales elevadas no sólo se han detectado en ambientes con algún tipo de emanación, Danovaro *et al.* (2000), en un estudio de meiofauna de la plataforma continental del Mar Mediterráneo a profundidades similares a las de este trabajo, se registraron densidades entre 940.2 – 2,558.6 ind/10 cm². Solo en el trabajo de Shirayama y Ohta (1990) se describen resultados similares a los encontrados en las Cuencas Wagner y Consag. Los autores analizaron la meiofauna de emanaciones frías en Japón y obtuvieron densidades relativamente bajas (258 – 414 ind/10 cm²), del orden de las observadas en este trabajo.

En esta investigación, la densidad por estación osciló entre 24.07 y 177.76 ind/10 cm², excepto en cuatro estaciones localizadas al norte de la Cuenca Wagner en donde se obtuvieron las mayores densidades (251 – 712 ind/10 cm²) en pH de 7 – 7.28 (Fig. 14). Considerando la influencia amplia del burbujeo de CO₂ en el área de estudio (pH bajos) y la carencia de sitios control, no fue posible determinar de manera clara el efecto de las emanaciones. Van Gaever *et al.* (2009b) mencionaron que en un volcán de lodo, en términos de la densidad de meiofauna, la influencia de las infiltraciones sobre la densidad de la meiofauna no fue consistente, puede tener tanto efectos negativos como positivos. Un efecto positivo se observó en ventilas de hidrocarburos someras en donde las densidades de meiofauna se incrementaron comparado con sitios sin infiltraciones (Montagna *et al.*, 1989). Lo mismo se detectó en emanaciones de metano, en volcanes de lodo y en tapetes

bacterianos (Robinson *et al.*, 2004; Van Gaever *et al.*, 2006). No obstante, en otros estudios en sitios con influencia de gas, las densidades de meiofauna mostraron un efecto negativo comparada con ambientes sin emanación (Dando y Hovland, 1992; Jensen *et al.*, 1992; Zeppilli *et al.*, 2011a).

En este estudio no se encontró ningún tipo de asociación en la distribución espacial de la densidad de la meiofauna (análisis de Bray-Curtis). En general, no es fácil encontrar este tipo de patrones tanto en condiciones ambientales similares como contrastantes, ya que la meiofauna varía dentro de una misma condición. Esto puede deberse a la heterogeneidad del fondo marino en escales pequeñas, dando como resultado la presencia de diferentes hábitats incluso microhábitats, como tal vez sucedió en las Cuencas Wagner y Consag (Fig. 12) (Van Gaever *et al.*, 2010). Por tanto, la heterogeneidad del hábitat (*pockmarks*, emanaciones, etc.) es una variable clave en la distribución y densidad de las especies bentónicas (Bergquist *et al.*, 2003). Esto provoca una distribución espacial en parches, siendo un patrón común en la distribución horizontal de la meiofauna (Robinson *et al.*, 2004).

Los trabajos del efecto de CO₂ sobre la meiofauna han sido básicamente de tipo experimental con repuestas negativas o neutras, como los de Barry *et al.* (2004), Carman *et al.* (2004) y Kurihara *et al.* (2007). En el trabajo de Barry *et al.* (2004), los nemátodos y los foraminíferos no alcanzaron una adaptación progresiva a los cambios bruscos de CO₂ en una zona marina, lo que provocó una mortandad alta. En cambio, en otros casos de inyección de CO₂ en ambientes marinos profundos, la meiofauna no tuvo respuesta (Carman *et al.*, 2004; Kurihara *et al.*, 2007). Los autores puntualizaron que los resultados de las densidades de meiofauna obtenidos no son análogos a condiciones naturales con infiltraciones de CO₂. Por tanto, los resultados de la meiofauna de este trabajo se pueden considerar como los primeros en ambientes naturales con emanaciones de CO₂ y pH bajos.

Densidad por taxón

A pesar de que los de nemátodos resultaron ser el grupo dominante como en otros estudios, las densidades cuantificadas (12.02 - 553.85 ind/10 cm²) fueron menores a las registradas en otras zonas de emanaciones. Robinson *et al.* (2004) y Van Gaever *et al.* (2009b) encontraron densidades entre 3.44 - 10,360.65 ind/10 cm² y 39.1 - 6,590.6 ind/10 cm² en emanaciones de hidrocarburos (Golfo de México) y de metano (Atlántico), y en emanaciones frías, respectivamente. Sin embargo, las densidades de copépodos harpacticoides y de

poliquetos (0-113.17 ind/10 cm² y 1.41 - 26.87 ind/10 cm², respectivamente) fueron semejantes a las registradas en otros trabajos (Soltwedel *et al.*, 2005; Van Gaever *et al.*, 2009b).

En las Cuencas Wagner y Consag, el cuarto grupo de importancia numérica fueron los kinorrincos (4.71%) (Fig. 10). De acuerdo con la literatura, esto fue inusual, ya que normalmente en ambientes con emanaciones de gas, estos invertebrados han sido considerados como un taxón “raro” (abundancia y frecuencia bajas) y estuvieron representados por menos del 1% de la densidad total de la meiofauna (Shirayama y Ohta, 1990; Kamenev *et al.*, 1993; Soltwedel *et al.*, 2005; Van Gaever *et al.*, 2006, 2009b; Sergeeva y Gulin, 2007; Zeppilli *et al.*, 2011a, b).

Las densidades del resto de los grupos taxonómicos (<10 ind/10 cm²) fueron similares a lo registrado en la mayoría de los estudios de meiofauna, donde estos grupos representaron densidades menores al 1% del total de la meiofauna (Giere, 2009).

Densidad y factores ambientales

La distribución espacial de la densidad de la meiofauna en condiciones tan particulares presentes en las Cuencas Wagner y Consag estuvo relacionada a las densidades de la macrofauna (Fig. 8). Trabajos previos en zonas con emanaciones de gas (Van Gaever *et al.*, 2009b) y sin emanaciones (Bell, 1980), han que existe una relación de abundancias elevadas de macrofauna (con especial atención a poliquetos) con densidades bajas de meiofauna. Tita *et al.* (2000) mencionaron que los poliquetos de la macrofauna son un factor clave en la estructura del meiobentos, debido a la depredación y a la bioturbación que causan en el sedimento.

El segundo factor con influencia en las densidades de la meiofauna fue el tamaño de grano. En general, el tamaño de grano es considerado como un factor determinante en la distribución y densidad del bentos, ya que condiciona la estructura espacial, física y química del sedimento (Giere *et al.*, 1988; Greiser y Faubel., 1988; Giere, 2009). Tal vez, las densidades bajas de la meiofauna encontradas en las Cuencas Wagner y Consag están relacionadas a las condiciones ambientales particulares del área, a pesar de esto los sedimentos finos de la zona probablemente favorecieron la presencia de la meiofauna. Varios trabajos (Tietjen, 1971; Coull, 1988; Ansari *et al.*, 1990) han mencionado que

típicamente, los valores más elevados de meiofauna son registrados en ambientes con sedimentos finos (lodos), mientras que los valores más bajos están relacionados a ambientes con sedimentos gruesos (arenas).

El carbono orgánico total, fue otro de los factores que condicionó la distribución de la meiofauna en el área de estudio. El análisis relacionó las concentraciones mayores de carbono orgánico total con las densidades mayores de meiofauna. Está documentado que probablemente las fuentes principales de alimento de la meiofauna son el fitobentos (diatomeas) y las bacterias (Ansari *et al.*, 1990; Danovaro *et al.*, 2000; Nomaki *et al.*, 2005). Nomaki *et al.* (2005) encontraron una relación directamente proporcional entre la densidad y la biomasa de la meiofauna con las fuentes de alimento; en condiciones oligotróficas en el ambiente la meiofauna disminuye considerablemente.

El pH fue otro de los factores que influyeron en la distribución de la densidad de la meiofauna a pesar de que el intervalo de variación fue de 6.06 – 7.37. En este trabajo, los valores altos de pH se relacionaron con las densidades altas de meiofauna y las densidades bajas de meiofauna se relacionaron con pH bajos. Como ya se mencionó anteriormente, no existen trabajos de meiofauna en sitios con emanaciones naturales de CO₂, y en los estudios de meiofauna en áreas con infiltraciones de metano e hidrocarburos, el pH no fue considerado como un factor ambiental como en los trabajos de: Shirayama y Ohta, (1990); Kamenev *et al.* (1993); Soltwedel *et al.* (2005); Van Gaever *et al.* (2006, 2009b); Sergeeva y Gulin (2007); Zeppilli *et al.* (2011a, b).

Los factores bióticos y abióticos que afectaron a la densidad de los nemátodos estuvo relacionada con la densidad de los copépodos y viceversa (Fig. 16 A y B). Desde las primeras investigaciones de la meiofauna se identificó esta relación (McIntyre, 1969; Higgins y Thiel, 1988; Coull, 1988). En general, cuando las densidades de copépodos son altas las densidades de nemátodos son bajas. Esto está relacionado principalmente con el tamaño de grano, la morfología de los organismos y las adaptaciones de estos al medio. Normalmente en sedimentos finos, los nemátodos dominan porque su morfología (largos y delgados) está mejor adaptada a los intersticios dados por este tamaño de grano (Coull, 1988). En cambio, los copépodos harpacticoides dominan en ambientes rocosos, algas y sedimentos más gruesos (Gollner *et al.*, 2010). El segundo factor que determinó la densidad de ambos taxones fue la macrofauna, esta relación, como ya se mencionó anteriormente, puede deberse a la presencia de depredadores y a la bioturbación producida por los organismos

del macrobentos (Bell, 1980; Tita *et al.*, 2000; Van Gaever *et al.*, 2009b). El tercer factor que probablemente influyó en la densidad de los nemátodos fue la profundidad (Fig. 16 A) y en los copépodos harpacticoides la densidad de las diatomeas (Fig. 16 B). Danovaro *et al.* (2000) detectaron que de manera general la densidad de la meiofauna disminuye conforme se incrementa la profundidad. Tal vez, este sea el caso para los nemátodos, como también lo refirieron Heip *et al.* (1985). Por otro lado, varios estudios (Dencho y Fleeger, 1988; Pinto *et al.*, 2001) han mencionado que la dieta de algunos copépodos harpacticoides se basa en diatomeas, por tal motivo, se puede explicar la densidad de estos organismos en las Cuencas Wagner y Consag con base en la densidad de las diatomeas.

La densidad de los poliquetos estuvo influenciada principalmente por la presencia de depredadores (densidad de macrofauna) (Fig. 16C). Esta relación también fue encontrada por Coull y Bell (1979). En el caso de la densidad de los kinorrincos, las diatomeas determinaron la densidad de estos organismos. De acuerdo con Neuhaus (2013), la principal dieta de los kinorrincos son las diatomeas. Estos dos grupos también se relacionaron con el pH (Fig. 16 C y D). Como ya se mencionó anteriormente, el pH no es un factor normalmente medido en los estudios de meiofauna. Por este motivo, el intervalo de tolerancia del pH para los grupos de la meiofauna es aún desconocido.

En los últimos 200 años, los océanos han absorbido aproximadamente un tercio del CO₂ producido por la quema de combustibles fósiles (Sabine *et al.*, 2004). Esto ha provocado una serie de cambios químicos, incluyendo una disminución del pH, proceso conocido como acidificación de los océanos (Caldeira y Wickett, 2003). Se espera que los cambios químicos tengan consecuencias significativas en los organismos marinos. Las emanaciones naturales de CO₂, como es el caso de las Cuencas de Wagner y Consag, pueden ser usadas para conocer los efectos de la acidificación oceánica *in situ*, ya que el burbujeo de dióxido de carbono crea zonas con pH bajo (Pettit *et al.*, 2013). Estas zonas de ventilas son laboratorios naturales, tienen edades de cientos a miles de años lo que podría permitir conocer las adaptaciones de la fauna a estas condiciones. Hall-Spencer *et al.* (2008) sugirieron que el estudio de la fauna adaptada a estas zonas evitarían los problemas que presentan los experimentos a corto plazo.

Distribución vertical

Es conocido que tanto las densidades como el número de taxones superiores (NTS) de la meiofauna decrecen con la profundidad en la columna del sedimento en diferentes ambientes (Montagna *et al.*, 1989; Danovaro *et al.*, 2000; Van Gaever *et al.*, 2006; Seergeva y Gulin, 2007; Giere, 2009). Este patrón coincidió con lo encontrado en este estudio, en donde el 78.6% de la meiofauna estuvo concentrada en los primeros cuatro centímetros, con diferencias significativas con respecto a los estratos inferiores (ANOSIM, $R = 0.164$; $p = 0.1\%$) y el NTS disminuyó de nueve taxones (nemátodos, kinorricos, moluscos, poliquetos, oligoquetos, copépodos harpacticoides, otros crustáceos, ácaros y equinodermos) en la primera capa (0 - 2 cm) a cuatro taxones (nemátodos, kinorricos, poliquetos y copépodos harpacticoides) en la capa más profunda (8 - 10 cm). En ambientes marinos submareales, esta distribución vertical se debe principalmente a la oxigenación (Coull, 1988; Giere, 2009). Usualmente, las primeras capas del sedimento están más oxigenadas, favoreciendo la presencia de bacterias y fitobentos. Estos dos componentes son de gran importancia para la meiofauna porque representan una parte importante de su dieta (Giere, 2009).

En general, los nemátodos y copépodos harpacticoides son los grupos de la meiofauna con mayor atención con respecto a la distribución vertical (Steyaert *et al.*, 2003; Van Gaever *et al.*, 2004). En este estudio, los nemátodos y copépodos harpacticoides se distribuyeron a lo largo de toda la columna de sedimento (0 - 10 cm), a pesar de esta amplia distribución vertical, las abundancias mayores (>70%) se registraron en los primeros cuatro centímetros. La distribución vertical de los nemátodos en este trabajo fue similar a la encontrada por varios autores (Montagna *et al.*, 1989; Van Gaever *et al.*, 2006; Ritt *et al.*, 2011). Sin embargo, la distribución vertical de los copépodos harpacticoides contrastó con la observada en otros estudios en ambientes con emanaciones. Montagna *et al.* (1989), en emanaciones de hidrocarburos y Van Gaever *et al.* (2006), en infiltraciones de metano, registraron que los nemátodos se distribuyeron a los 8 y 10 cm de profundidad, respectivamente. En cambio, en ambos trabajos, los copépodos harpacticoides se limitaron a los primeros cinco centímetros de profundidad, con la mayor abundancia (>80%) en el primer centímetro y en este estudio se registraron hasta los 10 cm de profundidad.

En estudios del meiobentos, por lo general, la distribución vertical de los taxones menos abundantes de la meiofauna (*e.g.* poliquetos, oligoquetos, turbelarios, bivalvos, otros crustáceos y kinorricos) no es analizada detalladamente. Solo existe el trabajo de Montagna

et al. (1989), quienes analizaron la distribución vertical de taxones catalogados como “otros” (ciliados, foraminíferos, turbelarios, gastrotricos poliquetos, oligoquetos, bivalvos, ostrácodos, kinorrincos y otros crustáceos) en condiciones de emanaciones. Los autores encontraron a este grupo de taxones exclusivamente en la capa superficial (0 – 2 cm) del sedimento. A diferencia con este estudio, los poliquetos y kinorrincos presentaron una distribución vertical más amplia, alcanzando los 10 cm de profundidad, ambos siendo más abundantes en la superficie y disminuyendo con la profundidad.

De acuerdo a la distribución vertical observada en este estudio, se sugiere que las Cuencas Wagner y Consag tuvieron un sedimento bien oxigenado, con una distribución vertical amplia de bacterias y fitobentos, lo cual favorece la presencia de nemátodos, copépodos harpacticoides, poliquetos y kinorrincos hasta los diez centímetros de profundidad. Las emanaciones de gas al parecer no tienen ningún efecto en la distribución vertical de la meiofauna, ya que en estudios en ambientes con emanaciones (*Montagna et al.*, 1989; *Van Gaever et al.*, 2006; *Seergeva y Gulin*, 2007;) como en estudios en ambientes sin emanaciones (*Danovaro et al.*, 2000; *Giere*, 2009) se ha observado este mismo patrón.

Es posible que debido a la identificación de la meiofauna con grandes grupos taxonómicos en este trabajo, no se haya observado tan claramente el efecto de las emanaciones de CO₂ sobre la meiofauna. La identificación a niveles taxonómicos inferiores podría ser útil para observar mejor el efecto que tienen las condiciones ambientales tan peculiares de las Cuencas Wagner y Consag en los géneros o especies de la meiofauna e identificar relaciones más precisas de los factores ambientales con cada género o especie tanto en distribución espacial como vertical.

CONCLUSIONES

La meiofauna en las Cuencas Wagner y Consag en el Golfo de California estuvo representada por 12 grupos taxonómicos. El grupo dominante fueron los nemátodos (73.10%), seguido por los copépodos harpacticoides (11.28%), los poliquetos (8.41%) y los kinorricos (4.71%). A pesar de que los nemátodos resultaron ser el grupo dominante como en otros estudios, las densidades cuantificadas (12.02 - 553.85 ind/10 cm²) fueron menores a las registradas en otras zonas de emanaciones. La abundancia de los kinorricos en el presente trabajo fue inusual, ya que normalmente están representados por menos del 1% de la densidad total de la meiofauna.

En ambas cuencas, tanto el NTS por estación como las densidades de la meiofauna (19.12 - 742.20 ind/10 cm²) presentaron números bajos comparados con otros sitios estudiados, esto sugiere que de manera general toda la zona de muestreo está bajo la influencia de la infiltración de CO₂, provocando una disminución de pH en la zona. Bajo las condiciones particulares del área de estudio, la densidad de la meiofauna está determinada por la macrofauna (presencia de depredadores), tamaño de grano, carbono orgánico total (presencia de comida) y pH. Los principales grupos de la meiofauna (nemátodos, copépodos, poliquetos y kinorricos) estuvieron influenciados principalmente por la presencia de depredadores (macrofauna) y la fuente de alimento (diatomeas), siguiendo, de manera general el mismo patrón observado en otros trabajos para la meiofauna.

La profundidad en el sedimento, también fue un factor que influyó en las densidades de la meiofauna y en el NTS. Las mayores densidades y el NTS se registraron en el nivel superior, disminuyendo con la profundidad del sedimento. En las Cuencas Wagner y Consag, no se detectó de manera clara el efecto de las emanaciones de gas en la distribución vertical de la meiofauna.

Este trabajo puede considerarse el primer estudio de la meiofauna en un ambiente natural con infiltraciones de CO₂

LITERATURA CITADA

- Aguilar-Campos, C., González-Escobar, M. y Martín-Barajas, J. A. 2008. Geometría de la Cuenca Wagner, Golfo de California, a partir de sísmica de reflexión. *GEOS*, 28(3): 1-11.
- Álvarez-Borrego, S., Galindo-Bect, L. A. y Chee-Barragán, B. 1975. Características hidroquímicas de Bahía Magdalena, B.C.S., México. *Ciencias Marinas*, 2(2): 94-100.
- Álvarez-Borrego, S., Alberto-Rivera, J., Gaxiola-Castro, G. y Acosta-Ruíz, M. 1978. Nutrientes en el Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 5: 53-71.
- Álvarez-Borrego, S. 2008. Oceanografía de la región de las Grandes Islas. *En: Bahía de los Ángeles: recursos naturales y comunidad*. Danemann, G. D. y E. Ezcurra (Eds.). Secretaría del Medio ambiente y Recursos Naturales. México, 740.
- Álvarez-Borrego, S. 2010. Physical, chemical, and biological oceanography of the Gulf of California. *En: The Gulf of California: biodiversity and conservation*. Brusca R. (Ed.). University Arizona Press. Arizona, 400.
- Ansari, Z. A., Ramani, P., Rivonker, C. U. y Parulekar, A. H. 1990. Macro and meiofaunal abundance in six sandy beaches of Lakshadweep Islands. *Indian Journal of Marine Sciences*, 19: 159-164.
- Aragón-Arreola, M. y Martín-Barajas, A. 2007. Westward migration of extension in the Northern Gulf of California, Mexico. *Geology*, 35(6): 571-574.
- Atwater, T. 1970. Implications of plate tectonics for the Cenozoic tectonic evolution of western North America. *Geological Society of America Bulletin*, 81(12): 3513-3536.
- Ax, P. 1956. Die Gnathostomulida einer atselhafte Wurmgruppe aus dem Meeressand. *Akademie der Wissenschaften und der Literatur in Mainz*, 8: 1-32.
- Bandy, O. L. 1961. Distribution of foraminifera, radiolarian and diatoms in sediments of the Gulf of California. *Micropaleontology*, 1(7): 1-26.
- Barry, J.P., Buck, K. R., Lovera, C.F., Kuhnz, L., Whaling, P. J., Peltzer, E. T., Wlaz, P. y Brewer, P. G. 1994. Effects of direct ocean CO₂ injection on deep-sea meiofauna. *Journal of Oceanography*, 60: 759-766.
- Bell, S. 1980. Meiofauna-Macrofauna interaction in a high salt marsh habitat. *Ecological Monographs*, 4(50): 487-505.

- Ben-Yaakov, S. 1973. pH buffering of pore water of recent anoxic marine sediments. *Limnology and Oceanography*, 1(18): 86-94.
- Bergquist, D. C., Ward, T., Cordes, E. E., McNelis, T., Howlett, S., Koiso, R., Hourdez, S., Carney, R. y Fisher, C. R. 2003. Community structure of vestimentiferans-generated habitat islands from Gulf of Mexico cold seeps. *Journal of Experimental Biology and Ecology*, 289: 197-222.
- Birosta, E., Canet, C., Tauler, E., Alfonso, P., Prol-Ledesma, R. M., Camprubí, A. y Melgarejo, J. C. 2008. Estudio mineralógico de los sedimentos de las Cuencas de Wagner y Consag, Golfo de California (México). *Revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, 9: 55-56.
- Caldeira, K. y Wickett, M. E. 2003. Oceanography: anthropogenic carbon and ocean pH. *Nature*, 425(6956): 365-365.
- Camacho-Ibar, V. F., Aveytua-Alcázar, L. y Carriquiry, J. D. 2003. Fatty acids reactivities in sediment cores from the Northern Gulf of California. *Organic Geochemistry*, 34: 425-439.
- Canet, C., Prol-Ledesma, R. M., Dando, P. R., Vazquez-Figueroa, V., Shumilin, E., Birosta, E., Sánchez, A., Robinson, C. J., Camprubí, A. y Tauler, E. 2010. Discovery of massive seafloor gas seepage along the Wagner Fault, northern Gulf of California. *Sedimentary Geology*, 228: 292-303.
- Carriquiry, J. D. y Sánchez, A. 1999. Sedimentation in the Colorado River delta and Upper Gulf of California after nearly a century of discharge loss. *Marine Geology*, 158(1): 125-145.
- Carriquiry, J. D., Sanchez, A. y Camacho-Ibar, V. F. 2001. Sedimentation in the Northern Gulf of California after cessation of the Colorado River discharge. *Sedimentary Geology*, 144: 37-62.
- Carey, A. G. Jr. y Montagna, P.A. 1982. Arctic sea ice faunal assemblage: first approach to description and source of the underice meiofauna. *Marine Ecology-Progress Series*, 8: 1-8.
- Carman, K. R., Thistle, D., Flegger, J. W. y Barry, J. P. 2004. Influence of introducing CO₂ on deep-sea metazoan meiofauna. *Journal of Oceanography*, 60: 767-772.
- Clarke, C. y Warwick, R. 1994. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, UK.

- Coull, B.C. y Bell, S. S. 1979. Perspectives of Marine Meiofaunal Ecology. *En: Ecological processes in coastal and marine ecosystems*. Livingstone, R. J. (Ed.). Plenum Publishing Company, Nueva York, 189–216.
- Coull, B. C. 1988. The ecology of the marine meiofauna. *En: Introduction to the study of meiofauna*. Higgins R. P. y Thiel, H. (Eds.). Smithsonian Institute Press, Washington, D.C. 485.
- Crezée, M. 1975. Monograph of the Solenofilomorphidae (Turbellaria: Acoela). *International Review*, 60: 769–845.
- Cross, R. E. y Curran, M. C. 2000. Effects of feeding pit formation by rays on an intertidal meiobenthic community. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 51: 293-298.
- Dando, P.R. y Hovland, M. 1992. Environmental effects of submarine seeping natural gas. *Continental Shelf Research*, 10(12): 1197-1207.
- Danovaro, R., Tselepides, A., Otegui, A. y Della-Croce, N. 2000. Dynamics of meiofaunal assemblages on the continental shelf and deep-sea sediments of the Cretan Sea (NE Mediterranean): relationships with seasonal changes in food supply. *Progress in Oceanography*, 46: 367- 400.
- De la Lanza, G. E. 1991. *Oceanografía de Mares Mexicanos*. AGT Editores. México, 569.
- Delgado-Argote, L. A. 2000. Evolución tectónica y magmatismo Neógeno de la margen oriental de Baja California central. *Tesis doctoral*. Universidad Nacional Autónoma de México, 175 pp.
- Dencho, A. W. y Fleeger, J. W. 1988. Microscale dispersion of meiobenthic copepods in response to food-resource patchiness. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 118: 229-243.
- Dye, A. H. 1983. Vertical and horizontal distribution of meiofauna in mangrove sediments in Transkei, Southern Africa. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 16: 591-598.
- Fenby, S. S. y Gastil, G. 1991. Geologic-tectonic map of the Gulf of California and surrounding areas. *The Gulf and Peninsular Province of the Californias: American Association of Petroleum Geologists*, 47: 79-83.
- Fenchel, T. M. 1978. The ecology of micro- and meiobenthos. *Annual Reviews of Ecology Systems*, 9: 99-121.
- Gerlach, S. A. 1971. On the importance of marine meiofauna for benthos communities. *Oecologia*, 6: 176-190.

- Giere, O., Eleftheriou, A. y Murison, D. J. 1988. Abiotic Factors. *En: Introduction to the Study of Meiofauna*. Higgins, R. P. y Thiel, H. (Eds.). Smithsonian Institute Press, Washington, D.C. 485.
- Giere, O. 2009. *Meiobenthology: The microscopic motile fauna of aquatic sediments*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 527.
- Gingold, R., Mundo Ocampo, M., Holovachov, O. y Rocha-Olivares, A. 2010. The role of habitat heterogeneity in structuring the community of intertidal free-living nematodes. *Marine Biology*, 157: 1741-1753.
- Gollner, S., Riemer, B., Martínez-Arbizu, P., Le Bris, N. y Bright, M. 2010. Diversity of meiofauna from the 9°50'N East Pacific Rise across a gradient of hydrothermal fluid emissions. *PLoS ONE*, 8(5): e12321.
- Gómez, S. 2000a. Redescription of *Pseudostenhella wellsicoull & fleeger*, 1977 (copepoda harpacticoida) from a tropical coastal lagoon in the southeastern Gulf of California (México). *Crustaceana*, 73(1): 69-82.
- Gómez, S. 2000b. *Cletodes confusum* sp. nov., *C. Pseudodissimilisoris* sp. nov., and *Stylicletodes longicaudatus* (Copepoda: Harpacticoida: Cletodidae) from a coastal lagoon in south-eastern Gulf of California (México). *Cahiers de Biologie Marine*, 41: 265-280.
- Gómez, S. 2000c. A new genus, a new species, and a new record of the family Darcythompsonsiidae Lang, 1936 (Copepoda Harpacticoida) from the Gulf of California, México. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 129: 515-536.
- Gómez, S. 2003. Three new species of *Enhydrosoma* and a new record of *Enhydrosoma lacunae* (Copepoda: Harpacticoida: Cletodidae) from the Eastern Tropical Pacific. *Journal of Crustacean Biology*, 23(1): 94-118.
- Gómez, S. E. y Hendrickx, M. E. 1997. Distribution and Abundance of meiofauna in a subtropical coastal lagoon in the South Eastern Gulf of California, México. *Marine Pollution Bulletin*, 7(34): 582-587.
- Gómez, S. y Morales-Serna, F. N. 2012. Meiofauna de mar profundo del Golfo de California: algunos aspectos acerca de la distribución y abundancia de Copepoda. *En: Biodiversidad y comunidades del talud continental del Pacífico mexicano*. Zamorano P., Hendrickx M. E. y Caso, M. (Eds.). Instituto Nacional de Ecología, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), 123-144.

- González-Escobar, M., Suárez-Vidal, F., Hernández-Pérez, J. A. y Martín-Barajas, A. 2010. Seismic reflection-based evidence of a transfer zone between the Wagner and Consag basins: implications for defining the structural geometry of the northern Gulf of California. *Geo-Marine Letters*, 30(6): 575-584.
- Gray, J. S. y Elliot, M. 2009. Ecology of marine sediments from science to management. Oxford University Press, Oxford, 226.
- Greiser, N. y Faubel, A. 1988. Biotic Factors. *En: Introduction to the Study of Meiofauna*. Higgins R. P. y Thiel, H. (Eds.). Smithsonian Institute Press, Washington, D. C. 485 pp.
- Hall-Spencer, J. M., Rodolfo-Metalpa, R., Martin, S., Ransome, E., Fine, M., Turner, S. M., Rowley, S. J., Tedesco, D. y Buia, M. C. 2008. Volcanic carbon dioxide vents show ecosystem effects of ocean acidification. *Nature*, 454(7200): 96-99.
- Heip, C., Vinx, M. y Guido, V. 1985. The ecology of marine nematodes. *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, 23: 399-489.
- Hendrickx, M. E. y Fiers, F. 2010. Copépodos Harpacticoida asociados con crustáceos decápodos. *Artículos y Notas. Ciencia y Mar*, 14(41): 3-30.
- Heymans, J. J. y McLachlan, A. 1996. Carbon budget and network analysis of a high energy beach/surf-zone ecosystem. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 43: 485-505.
- Higgins, R. P. y Thiel, H. 1988. Prospectus. *En: Introduction to the study of meiofauna*. Higgins R. P. y Thiel, H (Eds.). Smithsonian Institute Press, Washington, D.C. 485.
- Hooge, M. D. y Eppinger, N. 2005. New species of Acoela (Acoelomorpha) from the Gulf of California. *Zootaxa*, 1009: 1-14.
- Hurtado-Artunduaga, A. D. 2002. Modelo estructural de la Cuenca de Wagner en el Golfo de California basado en sísmica de reflexión multicanal. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. 95 pp.
- Jensen, P., Aagaard, I., Burke, R. A., Dando, P., Jorgensen, P., Kuijpers, N., Laier, T., O'Hara, S. y Schmaljohann, R. 1992. "Bubbling reefs" on the Kattegat: submarine landscapes of carbonate-cemented rocks support a diverse ecosystem at methane seeps. *Marine Ecology Progress Series*, 83: 103-102.
- Jiménez, A., Marinone, S. G. y Parés-Sierra, A. 2005. Efecto de la variabilidad espacial y temporal del viento sobre la circulación en el Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 31(2): 357-368.

- Kamenev, G. M., Fadeev, V. I., Selin, N. I., Tarasov, V. G. y Malakhov, V. V. 1993. Composition and distribution of macro and meiobenthos around sublittoral hydrothermal vents in the Bay of Plenty, New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 4 (27): 407-418.
- Kotwicki, L., De Troch, M., Urban-Malinga, B., Gheskiere, T. y Weslawski, J. M. 2005. Horizontal and Vertical Distribution of meiofauna on sandy beaches of the North Sea (The Netherlands, Belgium, France). *Helgoland Marine Research*, 59: 255-264.
- Kristensen, R. M. 1983. A new phylum with aschelminthes characters from the meiobenthos. *Zeitschrift fur Zoologische systematik und Evolutionsforschung*, 21: 163-180.
- Kurihara, H., Ishimatsu, A. y Shiriyama, Y. 2007. Effects of elevated sea water CO₂ concentration on the meiofauna. *Journal of Marine Science Technology Special Issue*, 12-22.
- Lavín, M. F., Beier, E. y Badan, A. 1997. Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: Escalas estacional e interanual. *Contribuciones a la Oceanografía Física en México*, 3: 141-171.
- Lavín, M.F., Godínez, V. M. y Álvarez, L. G. 1998. Inverse-estuarine features of the Upper Gulf of California. *Estuarine, Coastal Shelf Science*, 47(6): 769-795.
- 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.
- Lonsdale, P. 1989. Geology and tectonic history of the Gulf of California. *En: The eastern Pacific Ocean and Hawaii*. Winterer L. E., Hussong D. M. y R. W. (Eds.). Geological Society of America, The geology of North America. Boulder, CO, 521.
- Maluf, L. Y. 1983. The physical oceanography. *En: Island Biogeography in the Sea of Cortez. Case T. J. y Cody, M. L. (Eds.)*. University of California Press, Berkeley, 508.
- Mare, M. F. 1942. A study of marine benthic community with special reference to the micro-organisms. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 25: 517-554.
- McIntyre, A. D. 1969. Ecology of Marine Meiobenthos. *Biological Reviews*, 44(2): 245-288.
- Molina-Cruz, A. 1994. Biostratigraphy and paleoceanographic significance of the radiolarians from the protomouth of the Gulf of California. *Ciencias Marinas*, 20(4): 441-465.

- Monninot, F. 1962. Recherches sur les graviers a amphioxus de la région de Banyuls-sur-Mer. *Vie et Milieu*, 13: 231-332.
- Montagna, P. A., Bauer, J. E., Hardin, D. y Robert, B. S. 1989. Vertical Distribution of microbial and meiofaunal populations in sediments of a natural coastal hydrocarbon seep. *Journal of Marine Research*, 47: 657-680.
- Morales-Serna, F. N. y Gómez, S. 2008. First record and redescription of *Tisbella pulchella* (Copepoda: Harpacticoida) from the eastern tropical Pacific. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 79: 103-116.
- Morales-Serna, F. N., Gómez, S. y Bustos-Hernández, I. M. 2006. Spatial and temporal variation of taxonomic composition and species richness of benthic copepods (Cyclopoida and Harpacticoida) along a polluted coastal system from North-Western Mexico during two contrasting months. *En: Contributions to the study of East Pacific Crustaceans*. Hendrickx, M. E. (Ed.). Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México, 41-59 pp.
- Mundo-Ocampo, M., Lamshead, P. J. D., Debenham, N., King, I. W., De Ley, P., Baldwin, J. G., De Ley, I. T., Rocha-Olivares, A., Waumann, D., Thomas, W. K., Packer, M. y Boucher, G. 2007. Biodiversity of littoral nematodes from two sites in the Gulf of California. *Hidrobiologia*, 586: 179 – 189.
- Nascimento, F. J. A. 2010. Trophic ecology of meiofauna response to sedimentation of phytoplankton blooms in the Baltic Sea. *Tesis doctoral*. Universidad de Estocolmo. 30 pp.
- Neuhaus, B. 2013. Kinorhyncha (= Echinodera). *En: Handbook of Zoology: A Natural History of the Phyla of the Animal*. Schmidt-Rhaesa, A. (Ed.). Germany, 181-348.
- Nicholls, A. G. 1935. Copepods from the interstitial fauna of a sandy beach. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 20: 379–405.
- Nix, R. K. 2004. The Gulf of California. A physical, geological and biological study. Teaching units for science educators. University of Dallas, Texas. Disponible en línea: https://www.utdallas.edu/~rnix/MAT-SE_Units/gulf_cal.pdf.
- Nomaki, H. 2005. Species-specific ingestion of organic carbon by deep sea benthic foraminifera and meiobenthos: *in situ* tracer experiments. *Limnology and Oceanography*, 50(1): 134-146.
- Pegau, W. S., Boss, E. y Martínez, A. 2002. Ocean color observations of eddies during the summer in the Gulf of California. *Geophysical Research Letters*, 29(9): 1-6.

- Pereira, T.J., Fonseca, G., Mundo-Ocampo, M., Guilherme, B. C. y Rocha-Olivares, A. 2010. Diversity of free-living marine nematodes (Enoplida) from Baja California assessed by integrative taxonomy. *Marine Biology*, 157: 1665-1678.
- Pettit, L. R., Hart, M. B., Medina-Sánchez, A. N., Smart, C. W., Rodolfo-Metalpa, R., Hall-Spencer, J. M. y Prol-Ledesma, R. M. 2013. Benthic foraminifera show some resilience to ocean acidification in the northern Gulf of California, Mexico. *Marine pollution bulletin*, 73(2): 452-462.
- Phleger, F. B. 1964. Foraminifera ecology and marine geology. *Marine Geology*, 1(1): 16-43.
- Pinckney, J. y Sandulli, R. 1990. Spatial autocorrelation analysis of meiofaunal and microalgal populations on an intertidal sandflat: scale linkage between consumers and resources. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 30: 341-353.
- Pinto, C. S., Souza-Santos, L. P. y Santos, P. J. P. 2001. Development and population dynamics of *Tisbe biminiensis* (Copepoda: Harpacticoida) reared on different diets. *Aquaculture*, 198(3): 253-267.
- Powell, E. N., Bright, T. J., Woods, A. y Gittings, S. 1983. Meiofauna and the thalassiosira in the East Flower Garden brine seep. *Marine Biology*, 73: 269-283.
- Prol-Ledesma, R. M., Torres-Vera, M. A., Rodolfo_Metalpa, R., Ángeles, C., Lechuga Devez, C. H., Villanueva-Estrada, R. E., Shumilin, E. y Robinson, C. 2013. High heat flow and ocean acidification at a nascent rift in the northern Gulf of California. *Nature communications*, 1-7.
- Remane, A. 1940. Einführung in die zoologische Ökologie der Nord-und Ostsee. *En: Die Tierwelt der Nord- und Ostsee* (Eds. Grimpe G. y E. Wagler); Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig, Leipzig, 238 pp.
- Ritt, B., Pierre, C., Gauthier, O., Wenzhöfer, F., Boetius, A. y Sarrazin, J. 2011. Diversity and distribution of cold-seep fauna associated with different geological and environmental settings at mud volcanoes and pockmarks of the Nile Deep-Sea Fan. *Marine Biology*, 158(6): 1187-1210.
- Robinson, C. A., Bernhard, J. M., Levin, L. A., Mendoza, G. F. y Blanks, J. K. 2004. Surficial hydrocarbon seep infauna from the Black Ridge (Atlantic Ocean 2150 m) and the Gulf of México (690-2240). *Marine Ecology*, 25(4): 313-336.
- Roden, G. I y Groves, G. W. 1959. Recent oceanographic investigations in the Gulf of California. *Journal of Marine Research*, 18(1): 10-35.

- Sabine, C. L., Feely, R. A., Gruber, N., Key, R. M., Lee, K., Bullister, J. L., Wanninkhof, R., Wong, C. S., Wallace, D. W. R., Tilbrook, B., Peng, F. L., Kozyr, A., Ono, A. y Rios, A. F. 2004. The oceanic sink for anthropogenic CO₂. *Science*, 305(5682): 367-371.
- Santos, P. J. P., Castel, J. y Souza-Santos, L. P. 1995. Microphytobenthic patches and their influence on meiofaunal distribution. *Cahiers de Biologie Marine*, 36: 133-139.
- Schmidt-Rhaesa, A. 2013. *Handbook of Zoology: A Natural History of the Phyla of the Animal*. De Gruyter, Berlin, 381 pp.
- Sellanes, J., Neira, C., Quiroga, E. y Teixido, N. 2010. Diversity patterns along and across the Chilean margin: a continental slope encompassing oxygen gradients and methane seep benthic habitats. *Marine Ecology*, 31: 111-124.
- Sergeeva, N. G. y Gulin, M. B. 2007. Meiobenthos from an active methane seepage area in the NW Black Sea. *Marine Ecology*, 28: 152-159.
- Shepard, F. P. 1950. *Longshore-bars and longshore-troughs*. Corps of Engineers Washington D.C. Beach Erosion Board, 1-38.
- Shirayama, Y. y Ohta, S. 1990. Meiofauna in a cold-seep community off Hatsushima, Central Japan. *Journal of the Oceanographical Society of Japan*, 46: 118-124.
- Soltwedel, T., Portnova, D., Kolar, I., Mokievsky, V. y Schewe, I. 2005. The small-sized benthic biota of the Hakon Mosby Mud Volcano (SW Barents Sea Slope). *Journal of marine systems*, 55: 271-290.
- Steyaert, M., Vanaverbeke, J., Vanreusel, A., Barranguet, C., Lucas, C. y Vincx, M. 2003. The importance of fine-scale, vertical profiles in characterizing nematode community structure. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 58: 353-366.
- Streeter, S. S. 1972. Living benthonic foraminifera of the Gulf of California, a factor analysis of Phelger's (1964) data. *Micropaleontology*, 1(18): 64-73.
- Tietjen, J. H. 1969. The Ecology of shallow water meiofauna in two New England Estuaries. *Oecologia*, 2: 251-291.
- Tietjen, J. H. 1971. Ecology and Distribution of deep-sea meiobenthos of North Carolina. *Deep-Sea Research*. 18: 941-957.
- Tita, G., Desrosiers, G., Vincx, M. y Nozais, C. 2000. Predation and sediment disturbance effects of the intertidal polychaete *Neris virens* (Sars) on associated meiofaunal assemblages. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 243: 261-282.

- Van Gaever, S., Vanreusel, A., Hughes, J. A., Bett, B. J. y Kiriakoulakis, K. 2004. The macro- and micro-scale patchiness of meiobenthos associated with the Darwin Mounds (north-east Atlantic). *Journal of Marine Biology Association of the United Kingdom*, 84: 547-556.
- Van Gaever, S., Moodley, L., de Beer, D. y Vanreusel, A. 2006. Meiobenthos at the Artic Hakon Mosby Mud Volcano, with a parental-caring nematode thriving in sulphide-rich sediments. *Marine Ecology Progress Series*, 321: 143-155.
- Van Gaever, S., Olu, K., Derycke, S. y Vanreusel, A. 2009a. Metazoan meiofaunal communities at cold seeps along the Norwegian margin: influence of habitat heterogeneity and evidence for connection with shallow-water habitats. *Deep-Sea Research*, 56(1): 772-785.
- Van Gaever, S., Galéron, J., Sibuet, M. y Vanreusel, A. 2009b. Deep-sea habitat heterogeneity influence on meiofaunal communities in the Gulf of Guinea. *Deep-Sea Research*, 56(2): 2259-2269.
- Van Gaever, S., Raes M., Pasotti F. y Vanreusel, A. 2010. Spatial scale and habitat-dependent diversity patterns in nematode communities in three seepage related sites along the Norwegian margin. *Marine Ecology*, 1(31): 66-77.
- Vázquez-Figueroa, V., Canet, C., Prol-Ledesma, R. M., Sánchez, A., Dando, P., Camprubí, A. y Le Bert, G. H. 2009. Batimetría y características hidrográficas (Mayo, 2007) en las Cuencas de Consag y Wagner, Norte del Golfo de California, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 61(1): 119-127.
- Veiga Sánchez, M. P. 2008. La meiofauna intermareal de sustratos blandos de la Ria de O Barqueiro (Galiza). *Tesis Doctoral*. Universidad de Santiago de Compostela. 600 pp.
- Vincx, M. 1996. Meiofauna in marine and freshwater sediments. *En: Methods for the Examination of Organismal Diversity in Soils and Sediments*. Hall, G.S. (Ed.). CAB International, New York, 187–195.
- Warwick, R. M. 1984. Species size distribution in marine benthic communities. *Oecologia*, 61: 32-40.
- Wilson, C. B. 1932. The copepods of the Woods Hole region, Massachusetts. *Bulletin of the United States National Museum*, 158: 1-635.
- Wilson, W. H. 1991. Competition and predation in marine soft-sediment communities. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 21: 221 – 241.
- Zeppilli, D. y Danovaro, R. 2009. Meiofaunal diversity and assemblage structure in a shallow-water hydrothermal vent in the Pacific Ocean. *Aquatic Biology*, (5): 75-84.

Zeppilli, D., Canals, M. y Danovaro, R. 2011a. Pockmarks enhance deep-sea benthic biodiversity: a case study in the Western Mediterranean Sea. *Diversity and Distributions*, 1-15.

Zeppilli, D., Mea, M., Corinaldesi, C. y Danovaro, R. 2011b. Mud volcanoes in the Mediterranean Sea are hot spots of exclusive meiobenthic species. *Progress in Oceanography*, 91: 260-272.