



Universidad  
Católica de  
Valencia  
San Vicente Mártir

TFG

**TRABAJO FIN DE GRADO**

---

**GRADO EN  
CIENCIAS DEL MAR**

# Biocenosis de foraminíferos y su relación con variables ambientales en la plataforma española.

Alumno: Uxue Muñoz Berruezo  
Tutora: Ana María Blázquez Morilla  
Curso académico: 2019-2020



Facultad de Veterinaria  
y Ciencias Experimentales  
Universidad Católica de Valencia  
San Vicente Mártir



## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, quiero dar las gracias a mis padres. Siempre me han apoyado y me han alentado a estudiar lo que quería, costase lo que costase, fuese en la ciudad que fuese.

Gracias a mi madre, que ha pasado horas al teléfono conmigo, ya sea para desahogarme o simplemente para cubrir un trayecto caminando hacia la universidad. Y por pasar la última semana antes de la entrega del TFG conmigo impidiéndome que trabajase 13 horas seguidas y que se me comiesen los nervios.

A mi padre, porque siempre tiene las palabras adecuadas en el momento adecuado, por enseñarme a no ser tan dura conmigo misma, por hacerme ver que lo que hago es suficiente e incluso bueno, aunque yo nunca esté satisfecha del todo.

A mi hermana, Andrea. Por aguantarme siempre, por tu paciencia infinita, por todo lo que me aportas y lo poco que te lo agradezco. Muchos de mis logros son gracias a ti. Pronto tendrás tus grandes logros también.

A Rubén. Por ser mi segunda familia, por enseñarme a querer Valencia, por estar todos los días (menos cuando te embarcas) al pie del cañón.

A la COCSABO y la UTM por permitir la campaña que ha dado pie a mi TFG. Y a todas las personas de la universidad que pasaron años organizándola.

A la tripulación y todos los técnicos del Sarmiento de Gamboa, por enseñarnos todo lo necesario a bordo y estar siempre dispuestos para lo que necesitásemos.

Al jefe de campaña improvisado, Alejandro, que perdió noches de sueño y años de vida para que saliese todo bien. Y siguió aportando grandes ideas a este TFG una vez desembarcados. A todos mis compañeros de la Universidad de Valencia y la Universidad de Cádiz. Las muestras las he utilizado yo, pero las conseguimos con el esfuerzo y el trabajo en equipo de todos.

A Ana Blázquez por volcarse en el proyecto. Por darme todas las facilidades para que pudiese continuar con el trabajo, por estar siempre disponible para enseñarme cosas nuevas de los foraminíferos, conseguirme material y ayudarme a identificar especies a

partir de fotos malísimas y borrosas. Y por tu cariño y tus palabras de ánimo cuando estaba saturada y pensaba que todo iba mal.

A Jordi, por enseñarme tanto de foraminíferos en dos horas. Fue un lujo que compartieses tus conocimientos conmigo.

A Eva y a su memoria fotográfica que me ayudaron a recordar cómo funcionaban algunos programas. Aún seguiría buscando cómo cargar los datos, si no.

A Samu por acompañarme en casi toda la carrera y cubrirme siempre. Y por tener palabras buenas para todos.

A Olatz y Alba, por implicarse tanto en el proyecto.

A todas las personas que haya podido olvidar mencionar. Todas las personas con las que te cruzas en el camino aportan algo importante a tu vida.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1 Situación.	3
1.2 Características de los foraminíferos	3
1.3 Clasificación. Taxonomía y sistemática	5
1.4 Ciclo vital, reproducción y alimentación	9
1.5 Ecología y patrones de diversidad	12
1.6 Ambiente marino	15
1.7 Aplicaciones de los foraminíferos	20
2. OBJETIVOS	22
3. MATERIAL Y MÉTODOS	23
3.1 Zona de estudio	24
3.2 Toma de muestras a bordo	51
3.3 Procesado de muestras en el laboratorio	57
3.3.1 Protocolo de estudio de los foraminíferos	58
3.3.2 Concentración por flotación	58
3.3.3 Extracción y clasificación de la biocenosis	60
3.4 Procesado datos ambientales	62
3.5 Análisis estadístico	63
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	65
4.1 Colección de foraminíferos	65
4.2 Caracterización de la columna de agua. Variables fisicoquímicas	75
4.3 Análisis estadístico. Distribución de especies	81
5. CONCLUSIONES	91
6. LÍNEAS FUTURAS	93
7. BIBLIOGRAFÍA	94
8. ANEXO	I



## **GLOSARIO DE ABREVIATURAS**

**ASW:** *Atlantic Superficial Water.*

**AW:** *Atlantic Water.*

**CCD:** Profundidad de compensación de la calcita.

**EMDW:** *Eastern Mediterranean Deep Water.*

**EMW:** *Euroafrican Mediterranean Water.*

**LIW:** *Levantine Intermediate Water.*

**MAW:** *Modified Atlantic Water.*

**MDW:** *Mediterranean Deep Water.*

**MIW:** *Mediterranean Intermediate Water.*

**MOW:** *Mediterranean Overflow Water.*

**MW:** *Mediterranean Water.*

**NADW:** *North Atlantic Deep Water.*

**NASW:** *North Atlantic Superficial Water.*

**NAW:** *North Atlantic Water.*

**TDW:** *Tyrrhenian Deep Water.*

**WIW:** *Western Intermediate Water o Winter Intermediate Water.*

**WMDM:** *Western Mediterranean Deep Water.*





## RESUMEN

Los foraminíferos son un grupo taxonómico ampliamente distribuido en todos los mares y océanos del planeta. Se ha estudiado la distribución de las diferentes especies, y se ha correlacionado la presencia de determinadas asociaciones con las características ambientales. Por ello, el objetivo del presente estudio es intentar correlacionar la biocenosis hallada con las características fisicoquímicas del agua registradas en los puntos de muestreo, y con las variables ambientales obtenidas a partir de bibliografía.

Para ello, se tomaron muestras con un Multimuestreador Multicorer (KC Denmark), de las cuales el primer centímetro fue lavado, teñido con Rosa de Bengala, y flotado. Se clasificaron siguiendo a Loeblich y Tappan (1987) y Hayward et al. (2017). Se distinguieron especies planctónicas y bentónicas. Las medidas fisicoquímicas fueron registradas con un CTD.

Se halló una mayor proporción de foraminíferos bentónicos que planctónicos. En cuanto a foraminíferos planctónicos, en el golfo de Cádiz fue donde se halló una mayor riqueza de especies. Las mayoritarias fueron *Globigerinella siphonifera* (d'Orbigny, 1839), *Globigerina falconensis* Blow, 1959 y *Globigerina bulloides* d'Orbigny, 1826. Todos los puntos fueron homogéneos en cuanto al número de especies bentónicas, pero en el Mediterráneo fue donde se halló una mayor proporción de especies. Destacan *Globocassidulina crassa* (d'Orbigny, 1839), *Bulimina aculeata* d'Orbigny, 1826, *Bulimina marginata* d'Orbigny, 1826, *Bolivina spathulata* (Williamson, 1858) y *Globigerinoides ruber* (d'Orbigny, 1839). La distribución de especies bentónicas se asoció a la presencia de material fangoso, y la de especies planctónicas se correlacionó con la influencia de las diferentes masas de agua.

**Palabras clave:** Foraminíferos, Biocenosis, Plataforma, Características fisicoquímicas.

## ABSTRACT

Foraminifera is a widely distributed taxonomic group in the whole planet. The distribution of different species has been studied, and the presence of assemblages has been correlated with the environmental characteristics. Therefore, the aim of this study is associate the biocenosis with the physicochemical measurements recorded, and with the environmental variables obtained from bibliography.

Sampling was performed with a Multisampler Multicorer (KC Denmark). The first centimeter of the corer was sifted, stained with rosa bengal and floated. Samples were ordered taxonomically according to Loeblich & Tappan's classification (1987) and Hayward *et al.* (2017). Planktonic and benthic species were distinguished. The physicochemical measurements were obtained from CTD profiles.

We found a larger proportion of benthic than planktonic foraminifera. The planktonic-dyed (live) species were richer in the Gulf of Cádiz. The main species were *Globigerinella siphonifera* (d'Orbigny, 1839), *Globigerina falconensis* Blow, 1959 and *Globigerina bulloides* d'Orbigny, 1826. All the sampling points were homogeneous in terms of the number of benthic species, but it was in the Mediterranean Sea where a higher proportion of species was found. The main species were *Globocassidulina crassa* (d'Orbigny, 1839), *Bulimina aculeata* d'Orbigny, 1826, *Bulimina marginata* d'Orbigny, 1826, *Bolivina spathulata* (Williamson, 1858) and *Globigerinoides ruber* (d'Orbigny, 1839). The presence of benthic assemblages is associated with the muddy bottoms, and the distribution of planktonic species was correlated with the influence of the different water masses.

**Key words:** *Foraminifera, Biocenosis, Shelf, Physicochemical measurements.*

## **1. INTRODUCCIÓN.**

### **1.1 Situación.**

Se han producido importantes cambios en el clima terrestre en escalas de tiempo tan cortas como pueden ser décadas o incluso años (Alley *et al.*, 1993) A lo largo de la historia se han producido cambios climáticos abruptos que han afectado a parte o a la totalidad de la tierra, produciendo cambios locales de hasta 10°C en 10 años. La evidencia científica sugiere que es altamente probable que en el futuro se produzcan nuevos cambios climáticos potenciales, con grandes impactos en los ecosistemas y en las sociedades (Committee on Abrupt Climate Change, 2002).

La creciente preocupación tanto por el calentamiento global como por sus efectos han revelado la necesidad de encontrar mecanismos que reflejen las variaciones registradas para poder tomar medidas y desarrollar planes concretos y realistas (Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 2019).

Los foraminíferos bentónicos transmiten una cantidad sustancial de información sobre las condiciones en el fondo del océano y han desempeñado un papel importante en los esfuerzos para comprender estas condiciones (Gooday, 2003). Ahora, se pretende comprobar si los foraminíferos planctónicos también pueden ofrecer información valiosa para monitorizar estos cambios.

### **1.2 Características de los foraminíferos.**

Los foraminíferos son un grupo de eucariotas unicelulares, englobados dentro del grupo de protistas ameboides sarcodinos. El filo Foramífera, pese a ser exclusivamente unicelulares, realiza casi todas las funciones fundamentales de la vida realizadas por los organismos pluricelulares: crecen, se nutren, se reproducen y se mueven, además de responder a una variedad de estímulos ambientales. Mientras que los metazoos desarrollaron órganos y otras características propias de la pluricelularidad, los foraminíferos y otros protistas se especializaron diversificando orgánulos para realizar esas funciones (Bellier *et al.*, 2010). Están compuestos por un citoplasma incoloro, aunque pueden presentar pigmentos orgánicos, compuestos de hierro o simbiontes que les aportan color (Calonge *et al.*, 2001). Presentan los orgánulos propios de la célula animal: mitocondrias, ribosomas, lisosomas, vacuolas digestivas, peroxisomas, aparato de Golgi y núcleo (Lee *et al.*, 1991). Su tamaño oscila entre 0,1 y 1mm, pudiendo alcanzarse tamaños de hasta 10cm o más (Bellier *et al.*, 2010).

A nivel morfológico, los foraminíferos se caracterizan por la presencia de pseudópodos y de caparazones. Estos organismos poseen granuloreticulopodios, que son una fina red de pseudópodos que contienen numerosos gránulos (llamados pseudopodios granoreticulados) (Gooday, 2003). Los pseudópodos son prolongaciones del citoplasma. Estos pseudopodios con estructura de hilo se anastomosan (se dividen y se vuelven a unir) y tienen una textura granular a la vista del microscopio óptico. Estos pseudopodios son fundamentales para la motilidad, el ensamblaje, la alimentación la construcción y estructuración de los caparazones, la protección, y para algunos aspectos de la respiración y la reproducción (Goldstein, 1999; Murray, 2006). Es la forma que tienen los foraminíferos de interactuar con el entorno. A través de ellos, secretan mucopolisacáridos. En cuanto a los caparazones, aunque existen taxones desnudos (Pawłowski *et al.*, 1999), casi todos los foraminíferos poseen un caparazón o testa que cubre el organismo y lo separa del medio circundante. El caparazón puede estar formado por una cámara (monotálamo), en las formas más simples o primitivas, o por varias cámaras (politálamo) interconectadas entre sí, separadas por septos. Las cámaras se comunican con el exterior a través de uno o varios orificios, que reciben el nombre de forámenes, a través de los cuales despliegan los pseudópodos. Esta cubierta puede ser orgánica (no mineralizada), aglutinada (constituida por partículas externas que agrupa el foraminífero, o por material orgánico o carbonato de calcio, generalmente calcita, secretada por el organismo (Gooday, 2003; López-Belzunce *et al.*, 2014), compuesta por carbonato de calcio o, en ocasiones puntuales, por sílice. El caparazón se produce a través de vesículas citoplasmáticas que secreta el aparato de Golgi (Hansen, 1999).

Según Murray (1991), el caparazón tiene seis posibles funciones:

- Protege al foraminífero de depredadores.
- Actúa como barrera frente a condiciones ambientales desfavorables.
- Se usa como receptáculo para materia excretada.
- Ayuda en el proceso de reproducción.
- Controla el movimiento del foraminífero.
- Ayuda en el crecimiento de la célula.

Los primeros registros de este grupo se sitúan en el Cámbrico, y se estima que a lo largo del Fanerozoico pasaron de ocupar un área marginal a colonizar ambientes marinos completos, diversificándose. Los foraminíferos son abundantes y diversos en los océanos modernos, y se encuentran tanto en ambientes costeros como en hábitats planctónico y bentónico del océano profundo. Ocupan desde microhábitats epibénticos hasta hábitats infaunales profundos y utilizan una variedad de mecanismos tróficos (Goldstein, 1999).

### **1.3 Clasificación. Taxonomía y sistemática.**

La identificación y separación de especies en géneros y órdenes comenzó a mediados del siglo XVIII. D'Orbigny describió en 1852 un total de 72 géneros de foraminíferos. Brady en 1884 los agrupó en 10 familias diferentes incluyendo algunos foraminíferos fósiles del Paleoceno. Dos décadas después (1903), Lister elevó las familias a 10 superfamilias y 29 familias. A mediados del siglo XX, en 1948, influenciado por la taxonomía de Brady en 1884, apareció Cushman, cuya clasificación fue considerada estándar para el trabajo con foraminíferos. Sin embargo, esta clasificación estaba enfocada más hacia la industria petrolífera (foraminíferos fósiles) que a la biología. Fue entonces cuando apareció la sistemática de Loeblich y Tappan en 1964 centrada en las características ópticas de la calcita de los foraminíferos (Sen Gupta, 1999). Recientemente, los avances moleculares con secuencias de ADN han permitido conocer de forma exacta las variaciones genéticas de los foraminíferos por lo que toda la taxonomía clásica se está revisando desde el 2000 (en Pawlowski *et al.*, 2002; Gooday *et al.*, 2003; Pawlowski y Holzmann, 2010). Estos avances en el estudio de los foraminíferos han corroborado la taxonomía clásica tradicional. Actualmente se sigue la clasificación según la sistemática de Loeblich y Tappan (1987) y la filogenia de la WoRMS (WoRMS Editorial Board, 2020).

Los foraminíferos con caparazones formados exclusivamente por materia orgánica no están muy estudiados (Orden Allogromiida). En su mayoría son formas uniloculares que se observan puntualmente, ya que sus restos no se conservan fácilmente y por lo tanto no permanecen en los registros fósiles. Los caparazones de la mayoría de los foraminíferos están biomineralizados.

Aunque es un modelo clásico, es común seguir utilizando los tipos de caparazones para clasificar los foraminíferos. Se diferencian tres tipos de caparazones (Bellier *et al.*, 2010):

- **Aglutinados:** Los pseudópodos producen una matriz orgánica quitinosa o calcárea que se recubre de sedimento, granos de cuarzo, espículas de esponjas, material orgánico, carbonato de calcio y en ocasiones, sílice. Los grupos (orden Silicoloculinida) que habitan en zonas frías o en profundidad, o en lugares con elevada materia orgánica utilizan sílice para constituir su caparazón debido a la escasez de calcita y los niveles bajos de pH. Comprende los órdenes Asthrorrhizida, Lituolida, Trochamminida y Textulariida.
- **Porcelanosos:** El aparato de Golgi segrega partículas calcáreas que son utilizadas directamente para conformar el caparazón o como cemento para adherir otras partículas. Tienen un elevado contenido en magnesio. De aspecto homogéneo, uniforme, liso, fulgente y sin perforaciones. Orden Miliolida. Además, los órdenes Involutinida y Robertinida forman sus caparazones con aragonito.
- **Hialinos:** Fabrican *in situ* el caparazón calcáreo mediante un proceso de biomineralización extracorporal a partir de una plantilla orgánica. La testa es translúcida, está perforada, y tiene un bajo contenido en magnesio. Órdenes: Carterinida, Spirillinida, Lagenida, Buliminida, Rotaliida y Globigerinida. Si posee ornamentaciones, tienen el aspecto del resto de la pared: vítreo, transparente o translúcido (el orden Carterinida tiene el caparazón de macrocristales, y el Spirillinida de pseudomonocristales).

Estos tres tipos de caparazones aparecen en el registro fósil, y se ha identificado un cuarto tipo. Algunos foraminíferos paleozoicos tienen caparazón calcáreo con textura microgranular (orden Fusulinida). Al igual que el caparazón de porcelanosos e hialinos, está compuesto de calcita microcristalina pero los cristales están dispuestos de tal forma que dan aspecto estriado en secciones delgadas. Se dice que es una pared pseudofibrosa. Además, hay evidencias moleculares de que algunos grupos extintos de foraminíferos incluyen especies ameboides “desnudas” (Pawlowski *et al.*, 1999).

Las subdivisiones principales de los foraminíferos están basadas casi totalmente en las características del caparazón: particularmente, en la composición y la estructura del caparazón (Loeblich y Tappan, 1989, 1987). Los órdenes más importantes son los siguientes:

- Allogromiida: pared orgánica, generalmente monotalámico.
- Astrorhizida: pared aglutinada, cementación orgánica, monotalámico.
- Textulariida: pared aglutinada, cementación calcárea, politalámico.
- Lituolida: pared aglutinada, cementación orgánica o calcárea, politalámica.
- Trochamminida: pared aglutinada, cementación orgánica, disposición trocospiral de las cámaras.
- Miliolida: pared blanca con apariencia porcelanosa a la luz, compuesta por calcita, con niveles altos de Mg, sin perforaciones, normalmente politalámica.
- Lagenida: pared vidriosa, hialina cuando está fresca, compuesta de calcita baja en Mg, perforada y monotalámica o politalámica.
- Robertinida: pared vidriosa en húmedo, compuesta por aragonita, perforada, multilocular.
- Buliminida: pared vidriosa en húmedo, compuesta por calcita baja en magnesio, bilamelar, perforada, multilocular. Disposición trocospiral de la cámara superior, triserial, biserial o uniserial; apertura a menudo con placa dental.
- Rotaliida: pared vidriosa en húmedo, compuesta por calcita baja en magnesio, bilamelar, perforada, multilocular. Disposición de la cámara inferior trocoespiral, planispiral o irregular.

No obstante, es importante tener en cuenta que, según estudios moleculares recientes, no hay distinción filogenética entre los taxones de paredes orgánicas y los monotalámicos aglutinados, tradicionalmente referidos a los órdenes Allogromiida y Astrorhiziida respectivamente (Pawlowski *et al.*, 2002).

En cuanto a su modo de vida, se diferencia entre (Bellier *et al.*, 2010):

- Foraminíferos planctónicos: se distribuyen en la columna de agua. Movimiento pasivo, siguiendo las corrientes, aunque en algunos casos se observan migraciones verticales (Figura 1).
- Foraminíferos bentónicos: situados en el lecho marino, formando parte de la epifauna o la endofauna, tanto sésiles como vágiles (Figura 2).





### 1.4 Ciclo vital, reproducción y alimentación.

El tamaño y la morfología de los foraminíferos depende de la forma y dimensiones de la cámara embrionaria, las modificaciones durante la ontogenia, y la disposición final de las cámaras (Calonge *et al.*, 2001).

Los foraminíferos tienen un ciclo vital caracterizado por la alternancia entre generaciones sexuales y asexuales (Figuras 3 y 4). En función de la especie predominará una fase sobre la otra. En algunas especies, la alternancia de generaciones es obligatoria, y en otras es facultativa (Goldstein, 1999). La fase sexual comienza en el estadio agamonte (forma multinucleada, microsférica y diploide). Mediante meiosis se producen juveniles, que crecen y pasan al estadio gamonte (forma uninucleada, macrosférica y haploide). Los gametos se forman por gametogénesis y posteriormente formarán el cigoto. El cigoto da lugar a un nuevo organismo en estadio agamonte. La fase asexual se produce a través de varias fisiones binarias de los juveniles, en los que se forma el estadio esquizonte (forma multinucleada, microsférica y diploide) que puede generar a su vez más esquizontes por fisión binaria (como ocurre en *Ammonia tepida* (Cushman, 1926)) o crecer y formar directamente un gamonte (Murray 2006).

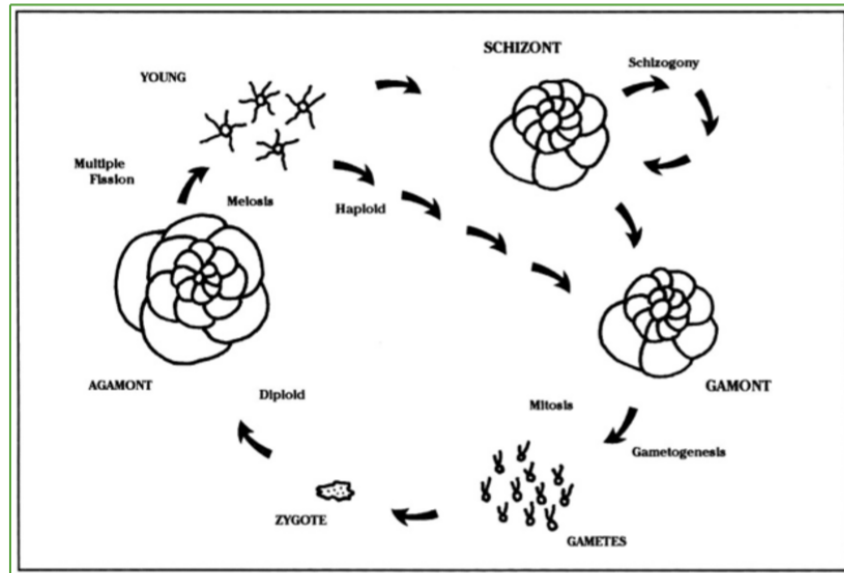


Figura 3: Esquema del ciclo de vida de un foraminífero epífito con alternancia de generaciones con una fase haploide y otra diploide. Fuente: Goldstein (1999).

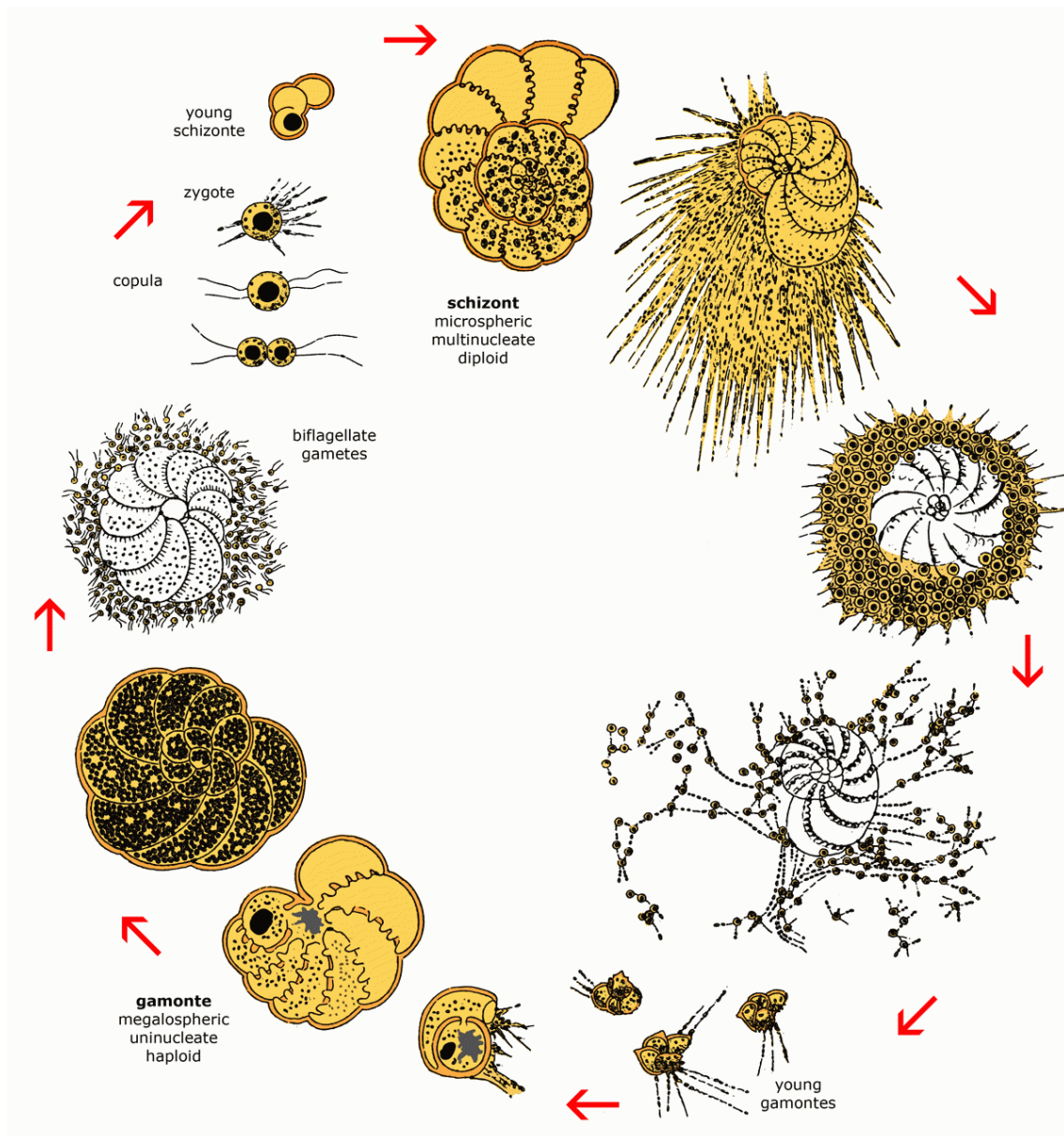


Figura 4: Ciclo reproductivo de un foraminífero bentónico *Elphidium crispum* (Linné), ex "*Polystomella crispa*", en J.J. Lister, modified. Fuente: Bellier *et al.* (2010).

La longevidad de los foraminíferos es difícil de evaluar. Varía entre los 15 días y los 16 meses (Bellier *et al.*, 2010).

Sobre crecimiento y morfogénesis, los foraminíferos crecen aumentando el tamaño de una sola cámara en las formas uniloculares, o más comúnmente, agregando de manera intermitente una nueva cámara. No se conocen los detalles del crecimiento sobre los taxones aglutinado ni sobre los calcáreos.

En los foraminíferos algrómidos, se añade material nuevo al caparazón cerca de la apertura (Angell, 1980), como hacen algunas especies del orden Astrorhizida. Los foraminíferos aglutinados de una sola cámara agregan material al revestimiento orgánico interno del caparazón en lugares lejanos a la apertura (Goldstein y Barker, 1988).

El interior del caparazón está caracterizado por tener un recubrimiento interno orgánico y fibroso, que continúa con fibras de bioadhesivo (cementación orgánica) que fijan los granos de sedimento en su lugar. Los granos de sedimento más finos rellenan los espacios que dejan los granos más gruesos en la superficie distal de la concha, y se adhieren también con el bioadhesivo.

Para construir su caparazón, el foraminífero recolecta sedimentos de varios tamaños, los clasifica por tamaño extendiendo y retrayendo los pseudopodios, y utiliza aquellos más grandes para formar el interior de su concha (Kinoshita *et al.*, 1996).

En cuanto a la alimentación, hay multitud de mecanismos o estrategias tróficas presentes (Goldstein, 1999): pueden alimentarse de células algales, plancton, organismos como copépodos (*Peneroplis pertusus* (en Forskål, 1775) y caprélidos (*Astrorhiza limicola* (en Sandahl, 1858), fitodetritos, algas pluricelulares, partículas en suspensión en la columna de agua (alimentación propia de los taxones calcáreos y aglutinados), carbono orgánico disuelto, materia orgánica en suspensión; pueden ser parásitos de pequeños miliólidos (*Metarotaliella tuvaluensis* parasita varias especies de miliólidos (en Collen, 1998), vieiras (*Cibicides refulgens* parasita la vieira de la especie *Adamussium colbecki*), bivalvos, esponjas y corales duros (*Hyrrokkin sarcophaga*), (en Cedhagen, 1994); también pueden establecer relaciones de simbiosis (*Rotaliella elatiana* con el alga *Enteromorpha sp.*, (en Pawlowski, 1989) . En ocasiones utilizan los mucopolisacáridos como sustrato para bacterias y zooplancton, de los que se alimenta posteriormente. Este proceso es conocido como “farming” (Murray, 2006). Por ejemplo, foraminíferos como *Elphidium crispum* (Linnaeus, 1758) pueden cultivar sobre los reticulopodios algas unicelulares como diatomeas para poder alimentarse (Goldstein, 1999).

## 1.5 Ecología y patrones de diversidad.

Los foraminíferos se encuentran en todos los ambientes marinos. No se conocen foraminíferos en agua dulce. Algunos están adaptados a aguas salobres (Belier *et al.*, 2010). Ciertas especies son ubicuas, aunque la presencia de algunos tipos está restringida a ciertas latitudes (Murray, 1991).

Los foraminíferos bentónicos prefieren las aguas relativamente poco profundas de las plataformas continentales, donde proliferan bajo ciertas condiciones (suministro adecuado de alimentos o mucha luz, etc.).

Existe una estrecha relación entre la morfología de la concha y el modo de vida. Las especies que viven en áreas de hidrodinamismo (olas y corrientes) tienen caparazones fuertemente calcificadas. Algunos foraminíferos viven en simbiosis con algas. Por lo tanto, existe una relación entre el tipo de caparazón y la intensidad de la luz: en los porcelanosos, la luz se filtra porque es demasiado fuerte (estos foraminíferos están adaptados para vivir en aguas muy poco profundas, predominantemente en áreas tropicales soleadas). En los hialinos se pueden dirigir los rayos de luz, una adaptación a una intensidad más baja.

En general, las formas esféricas o lenticulares (biconvexas, simétricas) permanecen en la superficie del sustrato, los foraminíferos fusiformes son excavadores; las formas trocoespirales asimétricas con una cara plana están fijadas al fondo. El aplanamiento del caparazón generalmente aumenta con la profundidad. También existe una relación entre la profundidad y la ornamentación: en aguas poco profundas, el caparazón a menudo tiene numerosos nódulos y espinas para proteger contra la abrasión.

Los foraminíferos planctónicos requieren condiciones fisicoquímicas estables y no toleran los efectos nocivos causados por la influencia de aguas continentales (que producen turbidez, disminución de la salinidad, etc.). Se adaptan bien a la flotación: conchas delgadas, inclusiones protoplasmáticas grasas, cápsulas llenas de gas, etc.

Los caparazones espinosos (*Globigerina* sp., etc.) son apropiados en aguas cercanas a la superficie. Las formas con paredes lisas (*Globorotalia* sp, etc.) comienzan su ciclo de vida cerca de la superficie antes de sumergirse luego a una profundidad de varias decenas o cientos de metros.

“Los foraminíferos son una de las principales formas de vida eucarióticas en el océano profundo, y constituyen una proporción sustancial de la biomasa bentónica” (Gooday, 2003).

En aquellos lugares donde las aguas del fondo están bien oxigenadas, la fracción de biocenosis es muy diversa, superando las 100 morfoespecies presentes en volúmenes relativamente pequeñas de sedimento superficial (Gooday *et al.*, 1998). Aparecen foraminíferos con paredes orgánicas, aglutinadas y calcáreas. La proporción de foraminíferos calcáreos disminuye con la profundidad (Douglas, 1981) probablemente porque disminuye el flujo de carbono orgánico.

A grandes profundidades la disolución de carbonato se intensifica, y por debajo de la Profundidad de Compensación de Carbonato (CDD), a profundidades mayores de 4.000 o 5.500 metros, los foraminíferos que se encuentran son casi todos aglutinados u orgánicos (Saidova, 1976). Muchos de ellos son formas no descritas de paredes blandas que pertenecen a grupos como *Komokiacea*, que se desintegran rápidamente al morir.

Los foraminíferos juegan un papel importante en la ecología de aguas profundas, ya que procesan material orgánico fresco depositado en el fondo del mar (Moodley *et al.*, 2002), sirven de alimento a otros organismos (Gooday *et al.*, 1992), entre otros.

A pesar de su compleja ecología, los foraminíferos son buenos indicadores debido a su amplia distribución, su sensibilidad a las condiciones ambientales y su abundancia en los diferentes ambientes (Gooday, 2003). Se utilizan como herramientas de interpretación y extrapolación en paleoecología y paleoambiente (Blázquez y Usera, 2010).

La distribución de los foraminíferos varía con la profundidad. Algunos géneros que aparecen cercanos a la costa son *Ammonia*, *Elphidium* y *Quinqueloculina*. En la parte interna de la plataforma continental aparecen *Discorbinella*, *Eponides*, *Lenticulina* y *Textularia*. En la zona intermedia de la plataforma se encuentran *Amphicorina*, *Bigenerina*, *Lenticulina*, y en la plataforma externa *Bolivina*, *Bulimina*, *Discorbis*, *Nodosaria*, *Uvigerina*, *Globigerina*. En la zona batial hay principalmente foraminíferos planctónicos (*Globigerina*, *Globigerinoides*, *Globorotalia*, etc.) aunque también hay bentónicos: *Epistominella*, *Nodosariidae*, *Pyrgo*... En las zonas abisales predominan las formas aglutinadas simples (Bellier *et al.*, 2010; Sartorio y Venturini, 1988).

Phleger (1964) hace una zonificación similar (Figura 5).

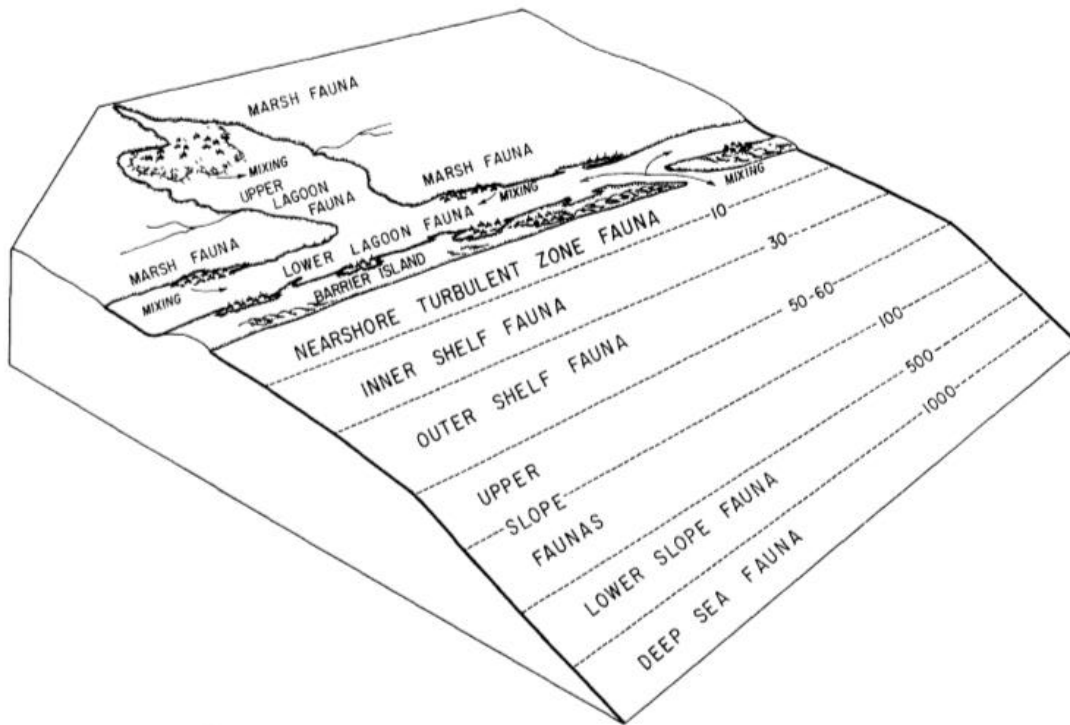


Figura 5: Diagrama de los patrones de distribución generalizados de foraminíferos bentónicos en función de la profundidad (en brazadas). Fuente: Phleger (1964).

Levin *et al.* (2001) estudiaron los patrones de diversidad regional en las profundidades del mar y llegaron a dos importantes conclusiones:

En primer lugar, comprobaron que el ecosistema de aguas profundas presenta una alta diversidad tanto de especies locales como de especies ubicuas. Las altas tasas de diversidad están relacionadas con los gradientes ambientales y los diferentes hábitats.

En segundo lugar, determinaron que hay varios factores que determinan los patrones de diversidad. La variación en la diversidad se asocia con la variación del tamaño de grano del sedimento, el aporte de nutrientes y la productividad, de la disponibilidad de oxígeno, las condiciones hidrológicas y los eventos catastróficos.

Estos factores ambientales son altamente interdependientes y, en última instancia, reflejan los procesos oceanográficos y el clima a escala global. Parece probable que los fenómenos a escala regional interactúen de formas complejas para formar patrones biogeográficos de diversidad local al controlar los gradientes que afectan la dinámica de la población a pequeña escala. Es importante destacar que el reconocimiento de la

variación reseñable en la biodiversidad a nivel del general y el descubrimiento de cómo los procesos relevantes se distribuyen geográficamente ahora permiten diseñar estudios de muestreo controlados y enfoques experimentales para comprender mejor la causalidad subyacente a las tendencias de diversidad regional.

Los foraminíferos juegan un rol importante en el ecosistema.

## **1.6 Ambiente marino.**

La sedimentación en el margen continental es generalmente terrígena. Los sedimentos proceden de la erosión, y se transportan, se acumulan y se depositan. Pueden variar en función del tipo de material de origen, el clima del área erosionada, las condiciones dinámicas del transporte y la deposición, y las transformaciones postdeposicionales (diagénesis).

El plancton se desarrolla en la columna de agua. Un porcentaje elevado de organismos planctónicos poseen un esqueleto mineral de carbonato de calcio o de sílice. Cuando uno de estos individuos muere, su caparazón precipita y pasa a formar parte del sedimento. En la zona eufótica de los océanos hay una "lluvia" constante de estas partículas. El material que precipita, compuesto de materia orgánica no oxidada, calcita y sílice forma un estrato de sedimento en el fondo. Como se ha comentado, hay un límite natural llamado CCD (profundidad de compensación de la calcita) por debajo del cual la calcita se disuelve. Más allá de los márgenes continentales, los sedimentos están compuestos por este proceso y se forma una capa compuesta por materia orgánica, sílice y carbonatos, con cantidades variables de arcilla y polvo atmosférico. Los lodos están compuestos por los caparazones de los foraminíferos y las conchas de los cocolitofóridos. En lugares cercanos a la costa, los carbonatos de origen planctónico están acompañados además por restos de moluscos, gasterópodos, equinodermos, algas incrustadas, etc. (Murray, 1991).

La zona batial es el espacio que se extiende a partir del talud de la plataforma continental, que suele tener unos 200 m de profundidad; es un ambiente más heterogéneo que la propia plataforma. Está caracterizado por la ausencia de luz, altas presiones, bajas temperaturas y salinidad constante (Tyler, 1995). Los organismos presentes en este ambiente se alimentan de la materia orgánica que procede de la producción primaria del fitoplancton que se deposita a través de la columna de agua o por material advechado. Pese a esta uniformidad, hay ambientes diferenciados entre los

márgenes continentales y las llanuras abisales (Gooday y Rathburn, 1999). El talud es físicamente más heterogéneo que las llanuras abisales, y topográficamente más complejo (Mellor y Paull, 1994) puesto que está sometido al efecto de las corrientes, movimientos de masas y sedimentación.

En comparación con las llanuras abisales, las tasas de sedimentación en el talud son más elevadas y los sedimentos son heterogéneos, menos oxidados y más ricos en biodiversidad (Bett, 2001). Las llanuras abisales son relativamente uniformes, con topografía suave.

A medida que aumenta la profundidad disminuye el aporte de materia orgánica, aunque hay áreas de alta productividad asociada con afloramientos o descargas de ríos caudalosos. Estas intrusiones afectan a la distribución de las comunidades bentónicas (Gooday, 2003).

El flujo de materia orgánica que llega al fondo del mar es fundamental en los estudios de ecología, puesto que es la fuente de alimento de las comunidades bentónicas, y además está inversamente relacionado con la oxigenación del fondo. Controla los perfiles de oxígeno y otros gradientes geoquímicos del sedimento. Estos gradientes influyen sobre los foraminíferos. En algunas áreas, también se reflejan otros factores como la huella hidrográfica (corrientes) (Gooday, 2003).

Las presiones principales a las que se ven sometidas las comunidades bentónicas son el tipo de sedimento, las corrientes, la limitación de oxígeno, el pH y la cantidad de materia orgánica. En un sentido general, cabe esperar que los tipos de sedimentos, las corrientes cercanas al fondo y el agotamiento de oxígeno, junto con el enriquecimiento orgánico, ejerzan una mayor influencia en los márgenes continentales (Schaff *et al.*, 1992; Schmiedl *et al.*, 1997; Levin *et al.*, 2000) mientras que los patrones de insumos de alimentos derivados de la producción en superficie son más importantes en las llanuras abisales (Loubere, 1991; Smith *et al.*, 1997).



### Atlántico. Plataforma continental y talud:

En este océano, los sedimentos son predominantemente terrígenos hasta los 1200m, y pelágicos a partir de este punto. Los sedimentos terrígenos varían desde gravas y arenas hasta arcillas, según el régimen y la topografía. Su espesor oscila entre los 0 hasta los 3 m. Los sedimentos pelágicos tienen más de un 30% de CaCO<sub>3</sub> y están compuestos sobre todo por foraminíferos planctónicos. El componente terrígeno consiste en arcillas y limos. Las especies vivas *Cibicides lobatulus* (ahora *Cibicidoides lobatulus* (Walker & Jacob, 1798)), *Uvigerina peregrina* Cushman, 1923 y *Trifarina angulosa* (Williamson, 1858) se correlacionan con sustratos arenosos y con la NAW (*North Atlantic Water*). Las distribuciones de la tanatocenosis de *C. lobatulus* y *U. peregrina* están considerablemente extendidas por el talud, pero la distribución de *T. angulosa* se mantiene en la fracción de la biocenosis. Mackensen *et al.* (1985) correlacionaron la presencia de *Melonis barleeanum* (entonces como *M. zaandami*, ahora *Melonis affinis* (Reuss, 1851)) con sedimentos fangosos que contenían 15-30% de CaCO<sub>3</sub> en el talud, a profundidades de 600-1200 m. *Cassidulina laevigata* d'Orbigny, 1826 y *C. teretis* Tappan, 1951 también se registran. Son más abundantes en la fracción de tanatocenosis que en la de biocenosis, pero su distribución en profundidad es similar. La masa de agua NSBW se caracteriza por la presencia de *Fontbotia wuellerstorfi* (ahora *Cibicidoides wuellerstorfi* (Schwager, 1866), *Epistominella exigua* (Brady, 1884), *Oridorsalis umbonatus* (Reuss, 1851) y *Cribrostomoides subglobosus* (Cushman, 1910).

*Cassidulina reniforme* Nørvang, 1945 aparece a profundidades entre 500 y 1300 m, aunque es poco abundante. Algunos autores lo consideran una especie ártica. La diversidad de las asociaciones de biocenosis es más alta a profundidades de mayores de 1200 m y consistentemente baja a profundidades mayores. Los valores inferiores a 5 indican un ambiente ecológicamente estresado. Como el área se caracteriza por su estratificación estable del agua, la variabilidad ambiental, como en aguas poco profundas, no puede ser la causa. Quizás las muy bajas temperaturas del agua (<0 ° C) influyen. Los morfotipos de la infauna alcanzan su punto máximo a 500-1000m donde los sedimentos son ricos en lodo y carbono orgánico.

En el talud y el fondo se han realizado pocos estudios de asociaciones vivas debido a las dificultades para hallarlas entre la gran cantidad de caparzones planctónicos en sedimentos de aguas profundas.

La especie *Cibicidoides wuellerstorfi* se asocia además en el atlántico norte con la NADW (*North Atlantic Deep Water*). Su rango de profundidad total es de 1360-4280 m.

La asociación de *Oridorsalis umbonatus* es similar (rango de profundidad 1734-3877 m) y puede tolerar un bajo suministro de alimentos (Mackensen *et al.*, 1985). La asociación *Uvigerina peregrina* se correlaciona con sedimentos ricos en carbono orgánico (Lutze 1980; Lutze y Coulbourn 1984; Coulbourn y Lutze 1988) aunque comúnmente se cree que prefiere aguas de bajo contenido de oxígeno. Sin embargo, es probable que los sedimentos ricos en materia orgánica tengan aguas empobrecidas en oxígeno, incluso si la masa de agua del fondo no es deficiente en oxígeno.

*Globocassidulina subglobosa* (Brady, 1881) puede mostrar una correlación con MW (*Mediterranean Water*) (Weston, 1985) como sugieren la temperatura (4-9°C) y la salinidad (>35‰), pero también podría estar relacionado con el agua pobre de oxígeno aunque el rango de profundidad total es grande (377-4095 m). La asociación de *Melonis affinis* se extiende desde el Mar de Noruega hasta el noroeste de África en un rango de temperatura de -0,5 a 9 °C, un rango de profundidad de 466-2710 m. Mackensen *et al.* (1985) consideran que el sustrato es el factor determinante y Weston (en Murray, 1984) observó que era abundante en áreas de corrientes de fondo activas.

*Brizalina subaenariensis* (ahora *Bolivina subaenariensis* Cushman, 1922) fue descrita por Pujos-Lamy (1973) como típica de aguas con bajos niveles de oxígeno disuelto y presencia de H<sub>2</sub>S.

### Mediterráneo

El Mediterráneo es un mar semicerrado conectado al océano Atlántico por el Estrecho de Gibraltar. Se divide en dos cuencas principales, oriental y occidental. El balance P/E es negativo: la precipitación anual y los aportes de agua dulce de los ríos es inferior a la evaporación. Hay un aporte de agua desde el Atlántico. Las salinidades superficiales oscilan entre el 35‰ en el Estrecho de Gibraltar y los 39‰ en el Mediterráneo oriental.

Durante el invierno, las aguas superficiales más salinas se enfrían, se vuelven más densas, y se hunden en las cuencas profundas, que a su vez están llenas de aguas salinas (> 38‰) y relativamente cálidas (13°C). La circulación en la cuenca oriental es lenta y las aguas tienen un bajo contenido en oxígeno, sin llegar a ser anaerobias. La MW fluye a través del estrecho de Gibraltar hacia el Atlántico a una profundidad de entre 150 y 300m, y a su vez la AW penetra al Mediterráneo. El agua en el Mediterráneo se renueva cada 75 años (Sverdrup *et al.*, 1942).

Aunque existe una buena cantidad de literatura sobre la taxonomía de los foraminíferos mediterráneos y algunos informes generales de su distribución, existen relativamente pocos estudios con datos numéricos sobre la composición de las asociaciones. Por lo tanto, la ecología de esta área es poco conocida. Se tiende a pensar que son aguas fértiles, pero sin embargo el contenido de nutrientes del agua es bajo. En aguas poco profundas, los nutrientes se reciclan más rápidamente y algunos foraminíferos pueden tomar simbiontes para ayudar en este proceso. En aguas más profundas, la densidad de la vida es baja (Murray, 1991).

La mayor parte de la plataforma continental del Mediterráneo es estrecha. Las asociaciones ampliamente distribuidas incluyen *Ammonia beccarii* (Linnaeus, 1758) en la plataforma interna, *Cassidulina laevigata* y *Uvigerina mediterranea* Hofker, 1932 en la plataforma exterior y el talud. Además, en lugares con abundante vegetación hay abundantes miliólidos (Murray, 1991).

#### Cuenca del Mediterráneo occidental:

Se sabe muy poco de las asociaciones de aguas más profundas. La diversidad es menor que la del Océano Atlántico adyacente, pero mayor que la de la cuenca del Mediterráneo Oriental. Las formas de aguas profundas que parecen estar ausentes del Mediterráneo incluyen *Cibicidoides kullenbergi* (Parker, 1953), *Epistominella exigua* (Brady, 1884), *Nuttallides umboniferus* (Cushman, 1933) y *Oridorsalis umbonatus*. En los fondos de grava, las formas principales son *Sphaerogypsina globula* (ahora *Sphaerogypsina globulus* (Reuss, 1848), *Elphidium crispum* (Linnaeus, 1758), *Textularia pseudoturris* (ahora *Dorothyia pseudoturris* (Cushman, 1922), *T. pseudorugosa* Lacroix, 1931 y *Elphidium complanatum* (d'Orbigny, 1839) hasta una profundidad de -400 m. A partir de 550 y 650 m, en sedimento fangoso, la forma principal es *Martinottylla gymnesica* (ahora *Martinottiella gymnesica* (Colom, 1964).

Se han hecho varios estudios sobre foraminíferos bentónicos actuales en la costa española (océano profundo) (Mateu, 1970; Milker *et al.*, 2009; Mateu-Vicens *et al.*, 2010; Contreras-Rosales *et al.*, 2012).

En zonas poco profundas de la costa Valenciana, los estudios llevados a cabo (Blázquez y Alcántara-Carrió, 2009) indican la presencia de dos especies ubicuas: *Ammonia beccarii* (Linnaeus, 1758) y *Elphidium crispum* (Linnaeus, 1758), que no se mantienen en profundidad.

## 1.7 Aplicaciones de los foraminíferos.

El uso de los foraminíferos como bioindicadores comenzó en España en la década de los 70 (Mateu, 1970). Los foraminíferos bentónicos son usados como bioindicadores a escala local y global, puesto que al presentar un ciclo vital corto, reaccionan rápidamente a las condiciones ambientales. Al ser tan abundantes y diversos, presentan una amplia variedad de respuestas frente a los diferentes estímulos y contaminantes marinos (Yanko *et al.*, 1999).

En sus inicios, se utilizaba el registro fósil de foraminíferos para caracterizar bioestratigráficamente yacimientos petrolíferos en estudios geológicos y micropaleontológicos. Entre la década de los 30 y los 50 se incorporaron aspectos biológicos y se definieron técnicas de muestreo, tinción y fijación, que aportaron información sobre dinámica de poblaciones (Vaquer-Sunyer *et al.*, 2016). El estudio de la ecología de foraminíferos surgió a partir de la observación de variaciones morfológicas, estudiadas por Colom (1974) y Langer (1993).

Gran parte de la investigación reciente sobre la fauna moderna del océano profundo se ha enfocado al desarrollo de herramientas para paleoceanografía. “Muchos de los enfoques anteriores eran cualitativos o semicualitativos y destinados a obtener una visión general de las condiciones ambientales pasadas. Solían estar basados en la colección total (vivos y muertos), que puede no representar realmente la fauna viva con precisión (en: Douglas y Woodruff, 1981). En años más recientes, ha habido una serie de publicaciones que describen la fauna viva (teñida con rosa de Bengala) de aguas profundas” (Gooday, 2003). Entre otros usos, se han utilizado para desarrollar indicadores de los flujos de productividad primaria y materia orgánica en el bentos (Murray, 2001) y la fracción planctónica para estimar las temperaturas de la superficie del mar en otras épocas (Hale y Pflaumann, 1999).

También se ha estudiado la relación entre los foraminíferos y los parámetros del medio, la distribución de foraminíferos en función de la profundidad (Phleger, 1964), la temperatura, salinidad y sustrato (Murray 1991) y la concentración de oxígeno (Sen Gupta y Machain-Castillo, 1993).

En ambientes poco profundos, la variabilidad del sistema dificulta establecer los parámetros que determinan la distribución de los foraminíferos (López-Belzunce, 2014). Se utilizan factores abióticos como el tamaño de grano, la materia orgánica, la salinidad y el oxígeno disuelto; y factores bióticos como las relaciones de predación, competición, y la reproducción. Se tiene en cuenta además la influencia antropogénica. Los efectos de la contaminación se registran en los foraminíferos, por lo que también se usan como

herramienta para evaluar la calidad del ecosistema (López-Belzunce, 2014), además de analizarse en los estudios ambientales.

Los foraminíferos pueden ser indicadores a partir de dos enfoques: puede estudiarse la distribución de especie, los parámetros de diversidad y los morfotipos, o enfocarse en pruebas elementales e isotópicas calcáreas de los caparzones (Gooday, 2003). En este caso se pretende estudiar la distribución de especies en los diferentes puntos de muestreo, ya que, de acuerdo con la bibliografía consultada, podrían apreciarse diferencias significativas entre especies asociadas con determinadas características ambientales.

## 2. OBJETIVOS.

El objetivo del presente trabajo es caracterizar la biocenosis de foraminíferos encontrada en los diferentes puntos de muestreo y tratar de correlacionarla con las características fisicoquímicas del agua oceánica. Para ello, se plantean los siguientes objetivos específicos:

1. Extraer y realizar una colección foraminíferos diferenciando entre bentónicos y planctónicos
  - a. Obtención y tinción de muestras a bordo
  - b. Triado de biocenosis
  - c. Clasificación e identificación de especies.
  
2. Registrar y analizar las características fisicoquímicas de la columna de agua en el punto de muestreo.
  - a. Registro de las características fisicoquímicas a bordo mediante CTD.
  - b. Obtención de perfiles mediante el software ODV (Schlitzer, 2018)
  - c. Estudio, representación y comparación de datos históricos del área.
  
3. Estudiar la distribución de especies y su relación con las variables fisicoquímicas.
  - a. Estudio de homogeneidad de las especies identificadas
  - b. Estudio de homogeneidad de las variables registradas.

### 3. MATERIAL Y MÉTODOS.

El estudio se desarrolló en el marco de una campaña de aprovechamiento promovida y financiada por la Comisión de Coordinación y Seguimiento de las Actividades de los Buques Oceanográficos (COCSABO), el Ministerio de Ciencia e Innovación y la Unidad de Tecnología Marítima (UTM) en el buque de investigación oceanográfica Sarmiento de Gamboa (Figura 6), de 70,5m de eslora. La toma de muestras se realizó en diferentes puntos del tránsito entre los puertos de Tarragona y Vigo, entre los días 1 y 6 de diciembre de 2019.



Figura 6: Imagen del B/O Sarmiento de Gamboa. Fuente: página web de la UTM (<http://www.utm.csic.es/es/instalaciones/sdg>)

### 3.1 Zona de estudio.

Las muestras fueron tomadas como parte de una campaña de aprovechamiento bautizada con el nombre *PRODOMAR*. Finalizada la anterior campaña, el B/O Sarmiento de Gamboa retornó a su puerto base en Vigo desde Tarragona, ambos puertos españoles. El trayecto rodeaba la Península Ibérica, por lo que se tomaron muestras en varios puntos de la costa (Figura 7).



Figura 7: Puntos de recogida de datos. En cada punto se toma la muestra con el Multicorer y se registran datos con el CTD. Fuente: Google Earth.

El objetivo de este estudio es caracterizar la colección de foraminíferos y su distribución en los puntos de muestreo, evaluando la posible influencia de variables ambientales como la temperatura, la salinidad, el oxígeno disuelto, la turbidez, la hidrodinámica o el tipo de sustrato. Las coordenadas y las profundidades de los puntos están indicadas en la Tabla 1.

Tabla 1: Coordenadas de los puntos de muestreo.

Punto	Latitud	Longitud	Profundidad (m)	Actividad
PRODOMAR_WP2	38° 26' 9,24" N	0° 20' 53,52" E	127,00	Multicorer
PRODOMAR_WP2	38° 26' 9,44" N	0° 20' 53,71" E	123,03	CTD, Niskin
PRODOMAR_WP3	36° 18' 10,05" N	4° 55' 25,01" W	495,00	Multicorer
PRODOMAR_WP3	36° 15' 2,98" N	4° 59' 18,45" W	488,80	CTD, Niskin
PRODOMAR_WP5	35° 53' 15,08" N	7° 36' 45,33" W	1324,00	Multicorer
PRODOMAR_WP5	35° 53' 19,32" N	7° 36' 45,26" W	1310,19	CTD, Niskin



Para representar las áreas de muestreo, se diseñan recreaciones de la topografía del fondo de las tres zonas (Tabla 2). Los datos se obtienen gracias a la herramienta informática “Extract XYZ GRID” basada en Smith y Sandwell (1997). Extrae datos de topografía (y gravedad) en cuadrículas globales en formato ASCII XYZ. La topografía es V19.1 y la gravedad es V28.1. Los valores impares de la topografía (por ejemplo, -2001m) están limitados por sondeos reales, mientras que los valores pares se predicen a partir de la gravedad. Las imágenes (Figuras 9, 10, 20, 21, 30 y 31) se obtienen con el software *Surfer*® (*Golden Software, LLC*).

Tabla 2: Coordenadas de las secciones representadas con *Surfer*® (*Golden Software, LLC*).

	Esquina superior izquierda		Esquina inferior derecha	
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
<b>Área WP2</b>	38.53 N	0.21 E	38.33 N	0.52 E
<b>Área WP3</b>	36.34 N	5.1 W	36.15 N	4.82 W
<b>Área WP5</b>	35.99 N	7.76 W	35.76 N	7.43 W

Se realizan perfiles con el software ODV (Schlitzer, 2018) de puntos cercanos a los puntos de muestreo (Tabla 3), obtenidos de la base de datos “*WOCE Global Hydrographic Climatology*” de Gouretski y Koltermann (2004) (malla de 0,5°x 0,5°), y del *World Ocean Atlas 2013* de la NOAA, malla de 0,25° (Boyer *et al.*, 2013).

Tabla 3: Puntos de referencia para la representación de los perfiles.

Punto	Latitud	Longitud	Profundidad (m)
WP2_PRODOMAR	38,436° N	0,348° E	123
WP2_Gouretski&Koltermann	38,5° N	0,5° E	314
WP2_WOA13_0.25deg	38,625° N	0,375° E	85
WP3_PRODOMAR	36,25° N	4,99° W	488
WP3_Gouretski&Koltermann	36,5° N	4,5° W	203
WP3_WOA13_0.25deg	36,125° N	4,875° W	900
WP5_PRODOMAR	35,887° N	7,6125° W	1310
WP5_Gouretski&Koltermann	36° N	7,5° W	1085
WP5_WOA13_0.25deg	35,875° N	7,625° W	1450

El primer punto (WP2) se sitúa frente a la población de Benidorm (Figura 8), en la plataforma externa de la costa Alicantina (Figuras 9 y 10) a 123 metros de profundidad.

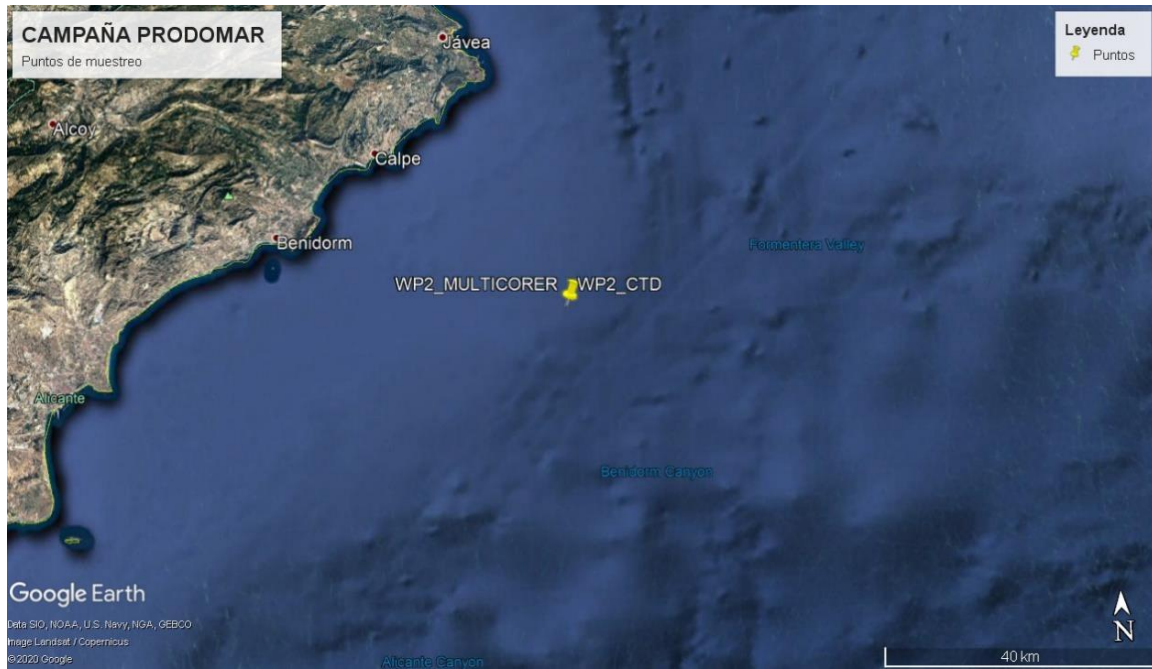


Figura 8: Localización del WP2. Se sitúa frente a la costa de Benidorm (Alicante), en el límite de la plataforma continental. Fuente: Elaboración propia. Google Earth Pro (2020).

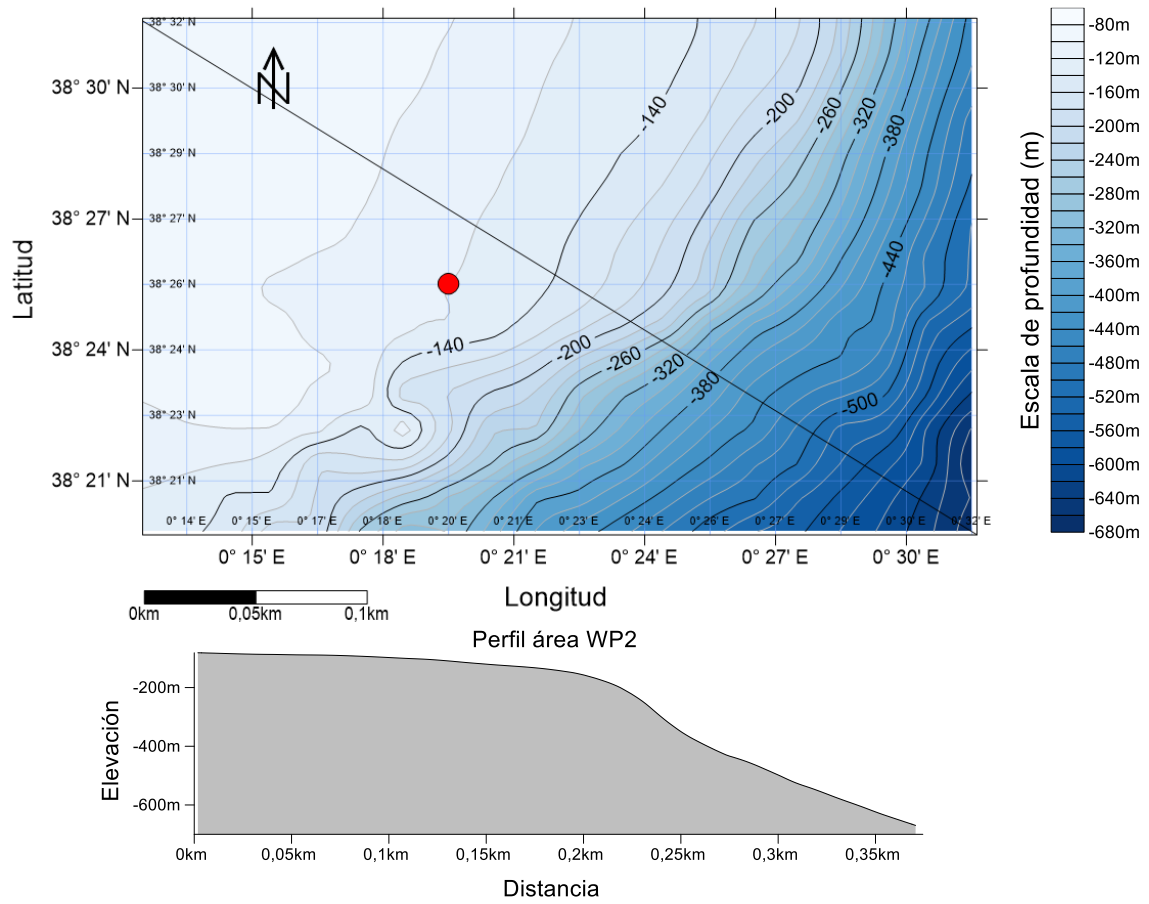


Figura 9. Perfil y mapa topográfico del área del área de muestreo. El punto rojo señala el WP2. Fuente: Elaboración propia, Surfer ® (Golden Software, LLC).

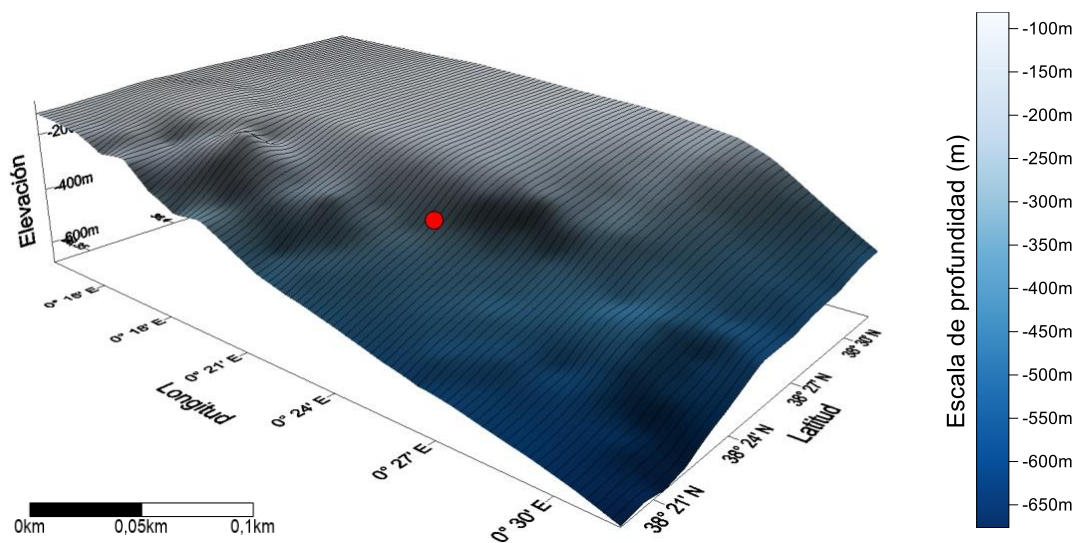


Figura 10. Mapa batimétrico en 3D del área de muestreo. El punto rojo señala el WP2. Fuente: Elaboración propia, Surfer ® (Golden Software, LLC).

En lo referente a la sedimentología, en este punto hay sustrato suelto (sedimentos clásticos del Cuaternario) (Figura 11), en concreto fangos y arenas fangosas (Figura 12). Entre Denia y Benidorm, la amplitud de la plataforma continental varía considerablemente de norte a sur, disminuyendo notablemente hacia el sur comandada por las características morfoestructurales del sistema bético. Desde el punto de vista sedimentario, las series de depósitos reducen su espesor a medida que se aproximan al contexto bético (Blázquez, 1999). En esta área, las condiciones estructurales son uno de los principales factores que controlan la deposición de la plataforma. Otros mecanismos ligados a la energía del medio que determinan la deposición son los factores climáticos, biológicos, oceanográficos, y la interacción entre estos condicionantes o el predominio de uno o varios de ellos sobre los demás determinan los tipos de depósitos y los procesos que ocurren en ese ámbito (Maldonado y Zamarreño, 1983).

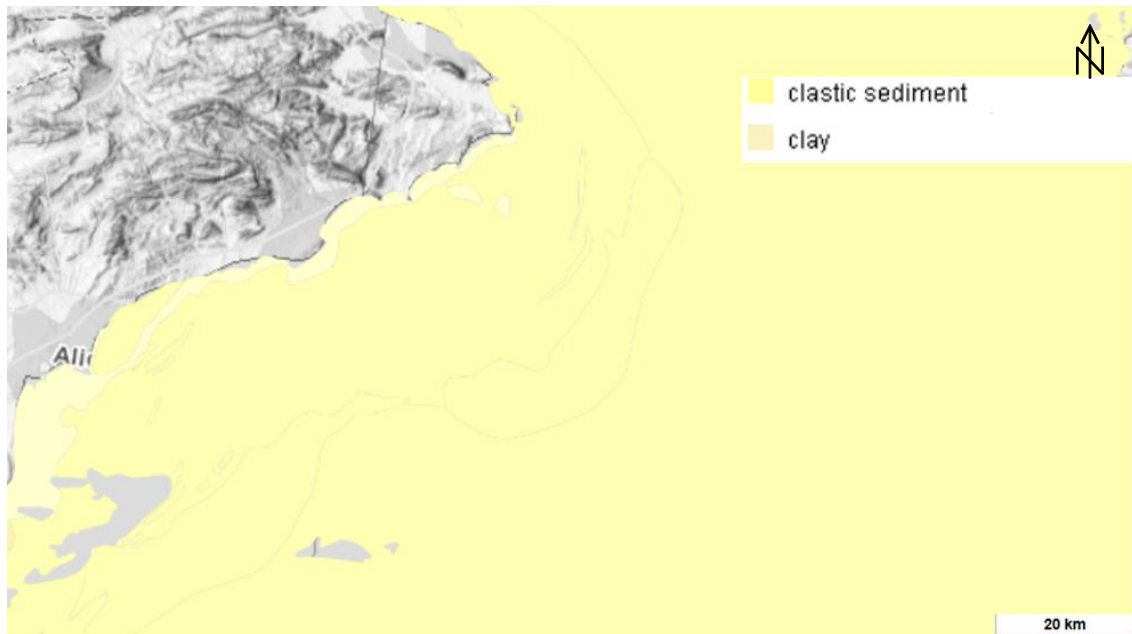


Figura 11: Tipo de sustrato. Fuente: Seabed Substrate, EMODNET. Quaternary lithology.

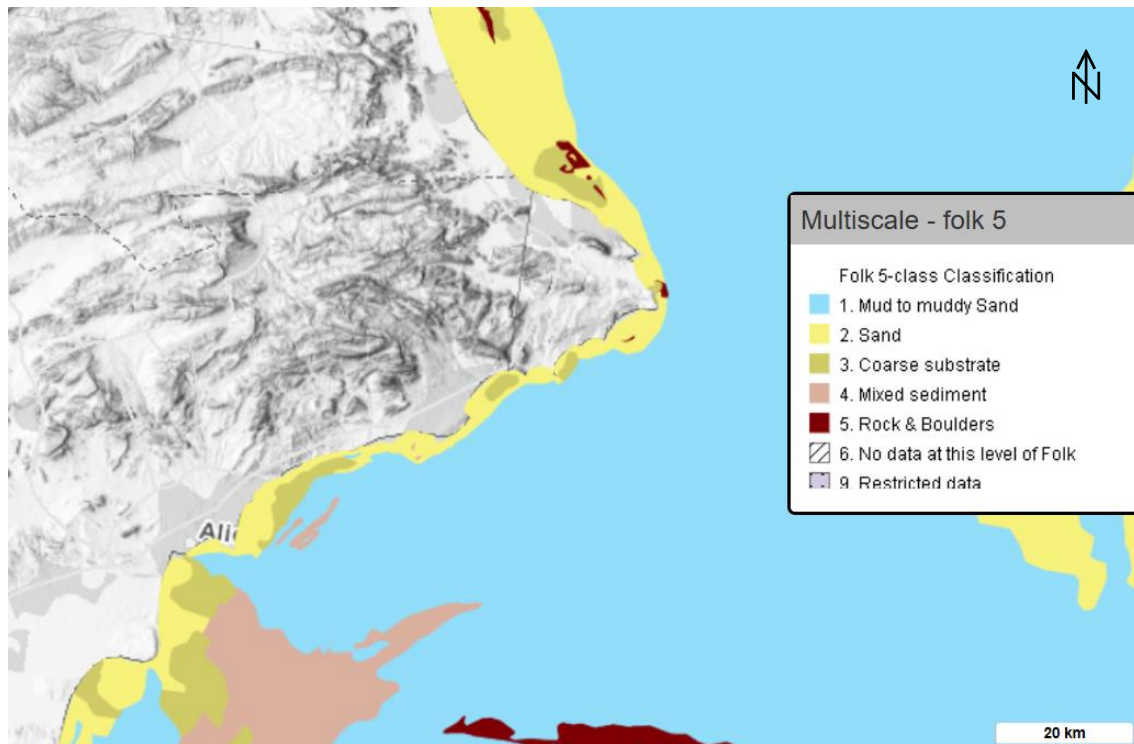


Figura 12: Tipo de sedimento. Fuente: Seabed Substrate, EMODNET. Multiscale-folk5.

Desde el punto de vista oceanográfico en el WP2, el Mediterráneo es un mar semicerrado, lo que condiciona un balance de precipitación-evaporación negativo (predomina la evaporación), con poca contribución de los ríos. Consiste en una cuenca dividida en dos por el estrecho de Sicilia. La mayor profundidad alcanzada en la cuenca occidental es de 4200m. La circulación en el Mediterráneo está determinada por el intercambio de agua a través de los estrechos de Gibraltar y Sicilia, la tensión del viento y el flujo de flotabilidad. Es de tipo ciclónico, salvo en la zona del mar de Alborán, que es anticiclónica. Está compuesta por múltiples escalas (de cuenca y mesoescala) que interactúan entre ellas. La complejidad de su circulación está originada por las diversas fuerzas que actúan y el control topográfico (Balbín y López-Jurado, 1995). El mar Mediterráneo no tiene grandes rangos mareales (0,8 de rango mareal) (Puertos del Estado, 2018).

La hidrodinámica del Mediterráneo se compone de diferentes masas de agua contiguas (Figura 13). Las características (temperatura y salinidad) varían drásticamente de una masa a otra. Además, hay variabilidad estacional e interanual. A grandes rasgos, podría decirse que se compone por tres masas de agua dispuestas a diferentes profundidades: una capa superficial de agua Atlántica en diferentes grados de modificación, una capa intermedia y capas de aguas profundas.

**Agreed acronyms for major Mediterranean water masses :**

<b>AW:</b>	Atlantic Water (Surface water of Atlantic origin. Formerly MAW, NAW, etc).
<b>WIW:</b>	Western Mediterranean Intermediate Water (Formerly Winter Intermediate Water, in the Western Basin).
<b>LIW:</b>	Levantine Intermediate Water.
<b>WMDW:</b>	Western Mediterranean Deep Water.
<b>TDW:</b>	Tyrrhenian Deep Water.
<b>ASW:</b>	Adriatic Surface Water (Po influenced).
<b>LSW:</b>	Levantine Surface Water.
<b>BSW:</b>	Black Sea Water (Surface water of Black Sea origin).
<b>CIW:</b>	Cretan Intermediate Water.
<b>NAdDW or NADDW:</b>	North Adriatic Deep Water (Formerly NADW).
<b>ADW:</b>	Adriatic Deep Water (Formed in the southern Adriatic, main component of the EMDW and sometimes called SADW).
<b>CDW:</b>	Cretan Deep Water (Involved recently in EMDW. Sometimes referred as CSOW).
<b>LDW:</b>	Levantine Deep Water (Formed in NW Levantine Basin).
<b>EMDW:</b>	Eastern Mediterranean Deep Water (Kept for historical reasons).
<b>EOW:</b>	Eastern Mediterranean Overflow Water (Sometimes called AIW or tEMDW at the Sicily channel).
<b>MOW:</b>	Mediterranean Outflow Water (At the Gibraltar strait) (MW in the Atlantic).

Figura 13: Acrónimos de las principales masas de agua del Mediterráneo. Fuente: Congreso Internacional para el Estudio del Mar Mediterráneo. (2001).

Las más importantes son la LIW (*Levantine Intermediate Water*), que es un agua intermedia, la WMDM (*Western Mediterranean Deep Water*) y la EMDW (*Eastern Mediterranean Deep Water*). Las tres confluyen en el estrecho de Gibraltar, donde forman la *Mediterranean Water* (MW) que fluye a través del Estrecho hacia el océano Atlántico.

Las masas de agua intermedias y profundas se producen por la pérdida de calor y la evaporación durante el invierno. En la región levantina, la evaporación invernal produce el agua intermedia levantina (LIW) que se hunde debido a su elevada densidad a las profundidades intermedia de 300-500 m. Esta masa está caracterizada por temperaturas de 15°C y 39 psu. La LIW cruza el Mediterráneo y sale en profundidad por Gibraltar (Ballabrera, 2014).

Es una masa de agua muy importante porque a partir de ella se forman las dos masas de agua profunda del Mediterráneo: la WMDW y la EMDW. La LIW fluye por el mar Tirreno hasta alcanzar el estrecho de Sicilia, que supone un obstáculo para la masa de agua, y donde además los vientos del Bora (viento seco, frío e intenso) modifican sus propiedades y conforma la EMDW: 13,5°C y salinidad de 38,5 psu. La influencia del viento, que disminuye la temperatura de la masa de agua, junto a la contribución de la LIW hace que la masa de agua gane densidad y se hunda.

En la cuenca oeste, que es en la que se encuentra el punto de muestreo, la masa de agua (EMWD) discurre hasta el Golfo de León, donde, por influencia del viento de mistral (frío y seco), se forma la WMDW.

El Agua Atlántica (*Atlantic Water, AW*) que penetra al Mediterráneo a través del estrecho de Gibraltar (15-18°C y 36,5-37,5 psu) da lugar a una corriente superficial (Figura 14) que transcurre a lo largo de las costas argelinas generando diversos giros que pueden llegar a alcanzar a las Islas Baleares. Se trata de una circulación de tipo ciclónico. Esta masa sufre los efectos de la evaporación y el aumento de temperatura que la convierten en el Agua Atlántica Modificada (*Modified Atlantic Water, MAW*), de unos 38 psu que fluye por el Golfo de León, la costa levantina a través de los canales de Ibiza y Mallorca y retorna al mar de Alborán (Carreras, 2018; Balbín *et al.*, 2014).

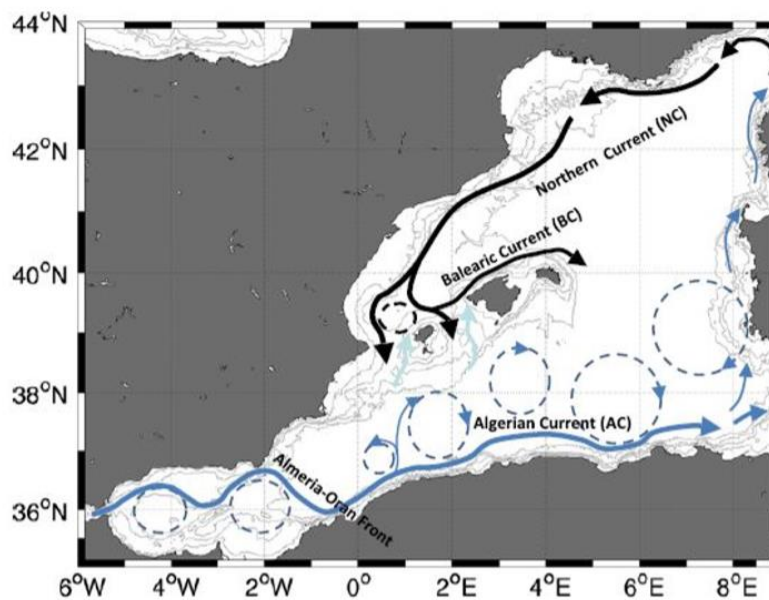


Figura 14: Vista de las principales corrientes que regulan la circulación regional. Fuente: (Balbín *et al.*, 2014).

En épocas invernales, se ha determinado la presencia de la *Western Intermediate Water* (WIW), aguas superficiales formando giros anticiclónicos (Pinot *et al.*, 2002). Las WIWs son una modificación de las AWs caracterizadas por temperaturas entre 12,5°C y 13°C y salinidades de entre 37,9 y 38,3 psu (Balbín *et al.*, 2014) y se localizan normalmente entre 100 y 300 m, desplazando hacia abajo la *Levantine Intermediate Water* (LIW), aguas más salinas y más densas. Las WIW se forman por de procesos de convención

de AW superficiales y poco salinas debido a su hundimiento forzado por las condiciones atmosféricas sobre plataforma continental, cuando la transmisión de calor del mar a la atmósfera no es suficiente alta (Pinot *et al.*, 2002; Monserrat *et al.*, 2008). No se conocen bien los procesos de formación de la WIW, pero se ha establecido que se forman en la región del golfo de León, que en invierno recibe vientos fríos y secos del norte que incrementan las pérdidas de calor desde el océano a la atmósfera. Este forzamiento atmosférico puede favorecer la formación estacional de estas masas de agua, ya que son la principal causa de convección en la zona. Al hundirse y alcanzar el fondo de la plataforma se deslizan hasta alcanzar el talud por donde caen hasta alcanzar una capa de su misma densidad. Normalmente estas aguas no consiguen superar las LIW (de una densidad algo mayor), por lo que quedan por encima de ellas a profundidades intermedias (Figura 15).

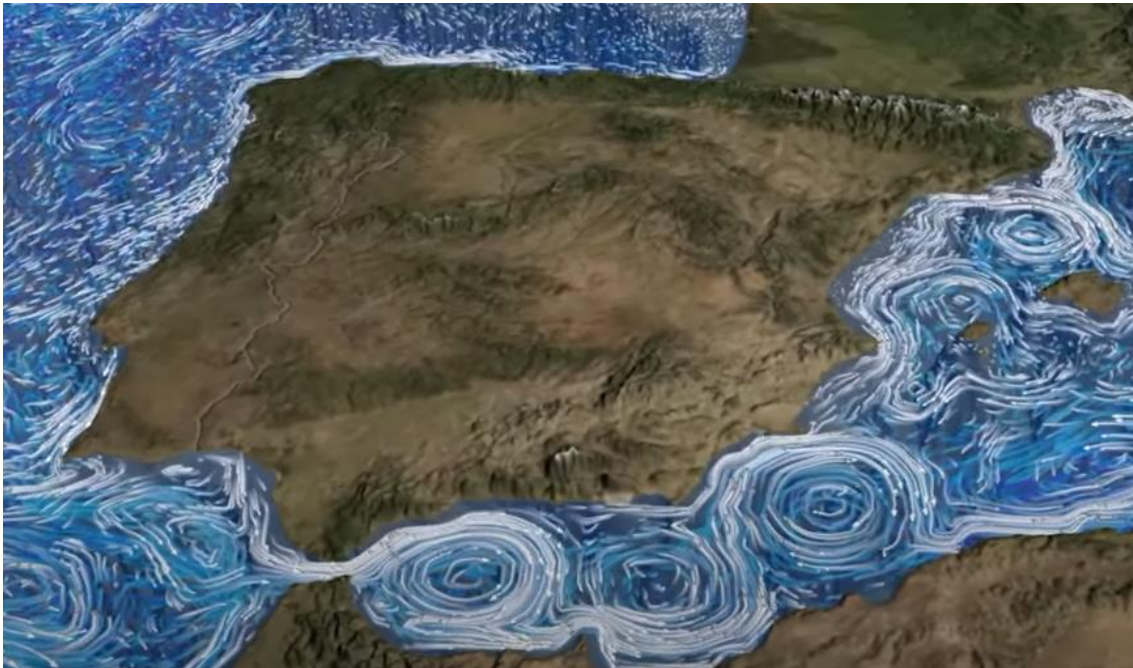


Figura 15: Captura de una visualización que muestra los flujos de las corrientes oceánicas en el mar Mediterráneo y el Atlántico Occidental. El periodo estudiado se extiende entre el 16 de febrero de 2005 hasta el 16 de enero de 2006. Los colores de los flujos representan sus profundidades. Los flujos blancos están cerca de la superficie, mientras que los flujos más profundos son más azules. Fuente:

NASA/Goddard Space Flight Center Scientific Visualization Studio, encontrado en:

<https://www.youtube.com/watch?v=vkoUHEZ4IXI>



En cuanto a la alcalinidad, los valores medios de  $A_T$  en la superficie (0-200m), aguas intermedias (200-700m) y profundas (700m-fondo) están representadas en la Tabla 4, obtenida de Rivaro *et al.* (2010). Las capas están definidas en base a la distribución de temperatura y salinidad.

Tabla 4: Valores medios y desviación relativa estándar de la alcalinidad total (AT). pH a 25°C, carbono inorgánico total (CT), y pCO<sub>2</sub> de la superficie (0-200m), aguas intermedias (200-700m) y profundas (700m-fondo), en las cuencas este y oeste del Mediterráneo. Fuente: Rivaro *et al.* (2010).

	$A_T$ ( $\mu\text{mol kg}^{-1}$ )	pH at 25 °C (pH <sub>T</sub> )	$C_T$ ( $\mu\text{mol kg}^{-1}$ )	pCO <sub>2</sub> (ppm)
<i>Western basin</i>				
0–200 m	2501 ± 55	7.946 ± 0.041	2208 ± 61	397 ± 25
200–700 m	2587 ± 11	7.896 ± 0.018	2313 ± 5	413 ± 16
700 m–bottom	2581 ± 5	7.897 ± 0.007	2307 ± 2	388 ± 5
<i>Eastern basin</i>				
0–200 m	2600 ± 34	8.002 ± 0.033	2253 ± 34	382 ± 41
200–700 m	2612 ± 5	7.962 ± 0.021	2293 ± 15	359 ± 16
700 m–bottom	2608 ± 2	7.963 ± 0.013	2288 ± 9	338 ± 13

Según Rivaro *et al.* (2010), los perfiles de alcalinidad total (Figura 16) generalmente presentan los valores más bajos en la superficie (alrededor de los 25m). Estos valores aumentan en profundidad, alcanzando los valores máximos entre los 200 y los 300m, y permanece constante (o decrece débilmente) por debajo de los 1000m.

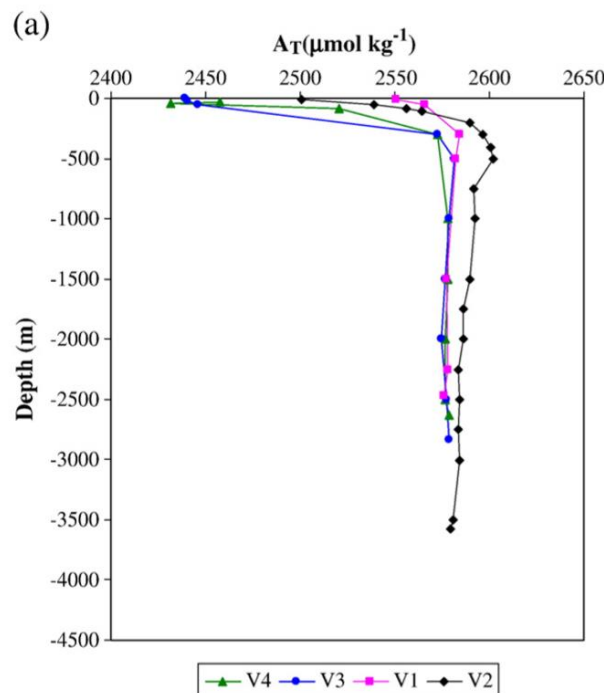


Figura 16: Perfiles de alcalinidad total. V4 es la estación correspondiente al Mediterráneo. Fuente: Rivaro *et al.* (2010).

El pH muestra valores variables en la superficie (entre 7,890 y 8,055, de 0 a 200m), y disminuye drásticamente con la profundidad hasta los 100-300m. Vuelve a aumentar ligeramente hasta los 1000m, y a partir de esta profundidad mantiene valores constantes o ligeramente inferiores. El mínimo de pH y el máximo de alcalinidad total se encuentran normalmente a profundidades intermedias, correspondiéndose con el núcleo de la *Levantine Intermediate Water*.

En cuanto al oxígeno disuelto, el valor medio característico durante la época de invierno es 8,2mg/l.

Como puede verse en los perfiles (Figuras 17 y 18), es una zona con alta estratificación.

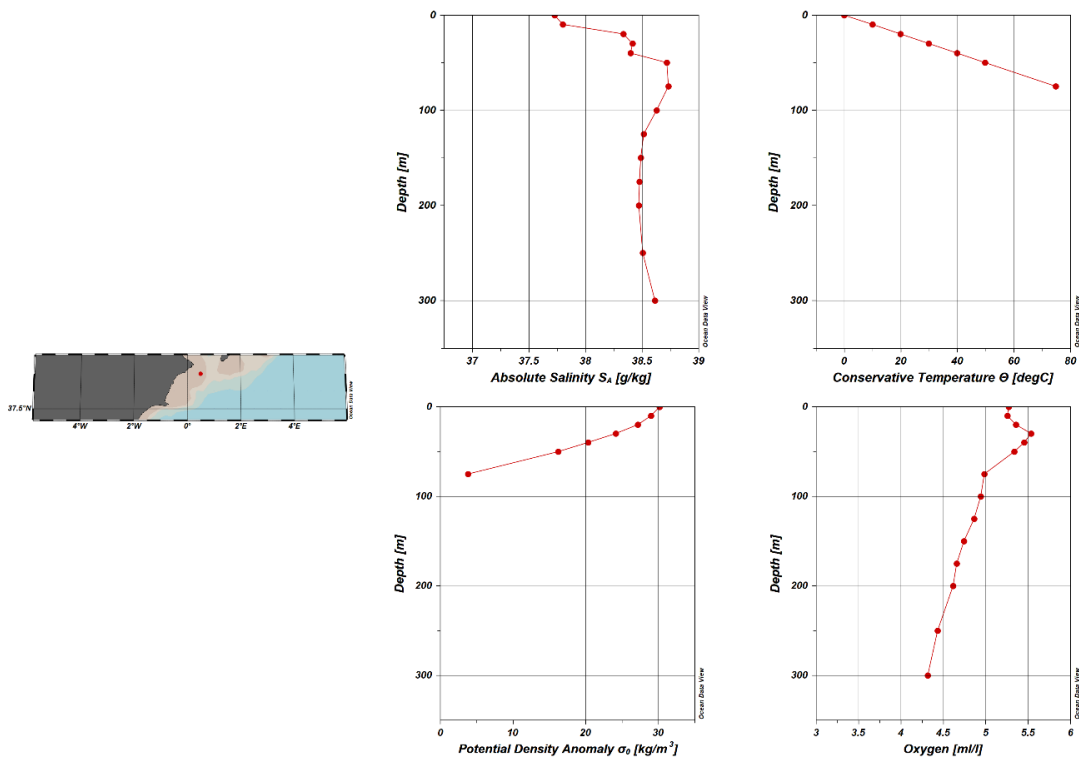


Figura 17: Perfiles obtenidos a partir de la base de datos Gouretski y Koltermann (2004). Fuente: Elaboración propia. ODV (Schlitzer, 2018).

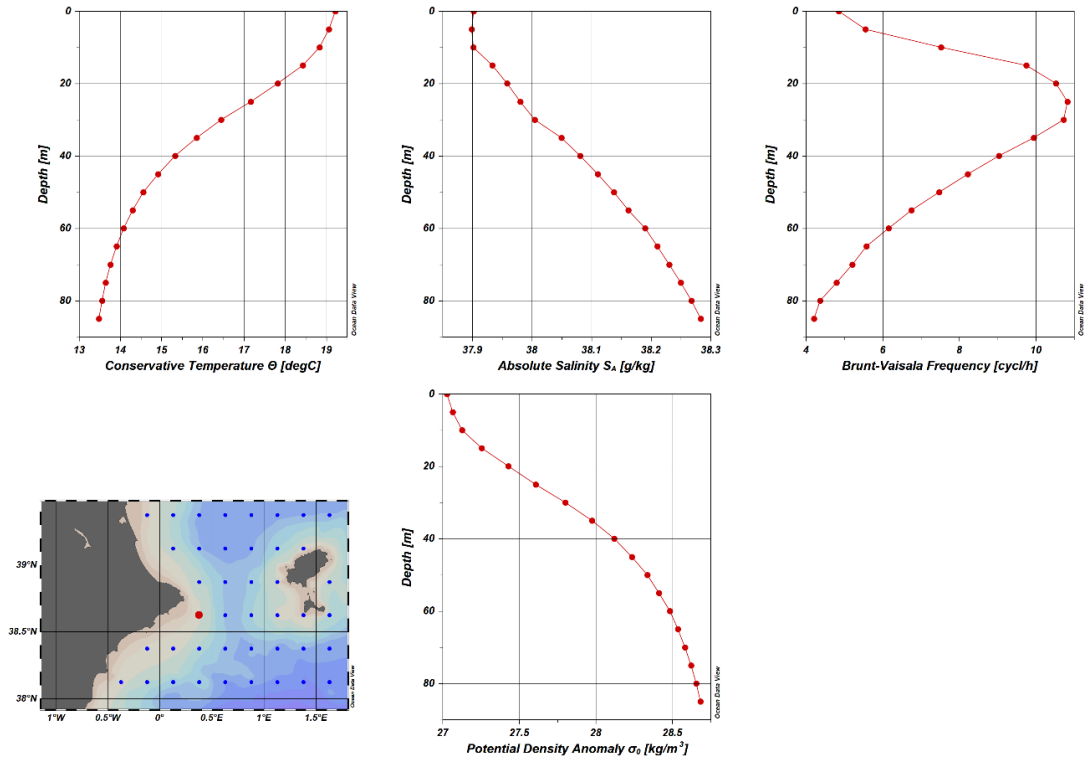


Figura 18: Perfiles obtenidos a partir de la base de datos "World Ocean Atlas 2013" de la NOAA (Boyer et al., 2013). Fuente: Elaboración propia. ODV (Schlitzer, 2018).

El segundo punto (WP3) se sitúa en el talud continental, junto al dispositivo de separación de tráfico del Estrecho de Gibraltar (Figura 19, 20 y 21).



Figura 19: Localización del WP3. Se sitúa frente a la costa de Estepeona (Málaga), en el talud continental.

Fuente: Elaboración propia. Google Earth Pro (2020).

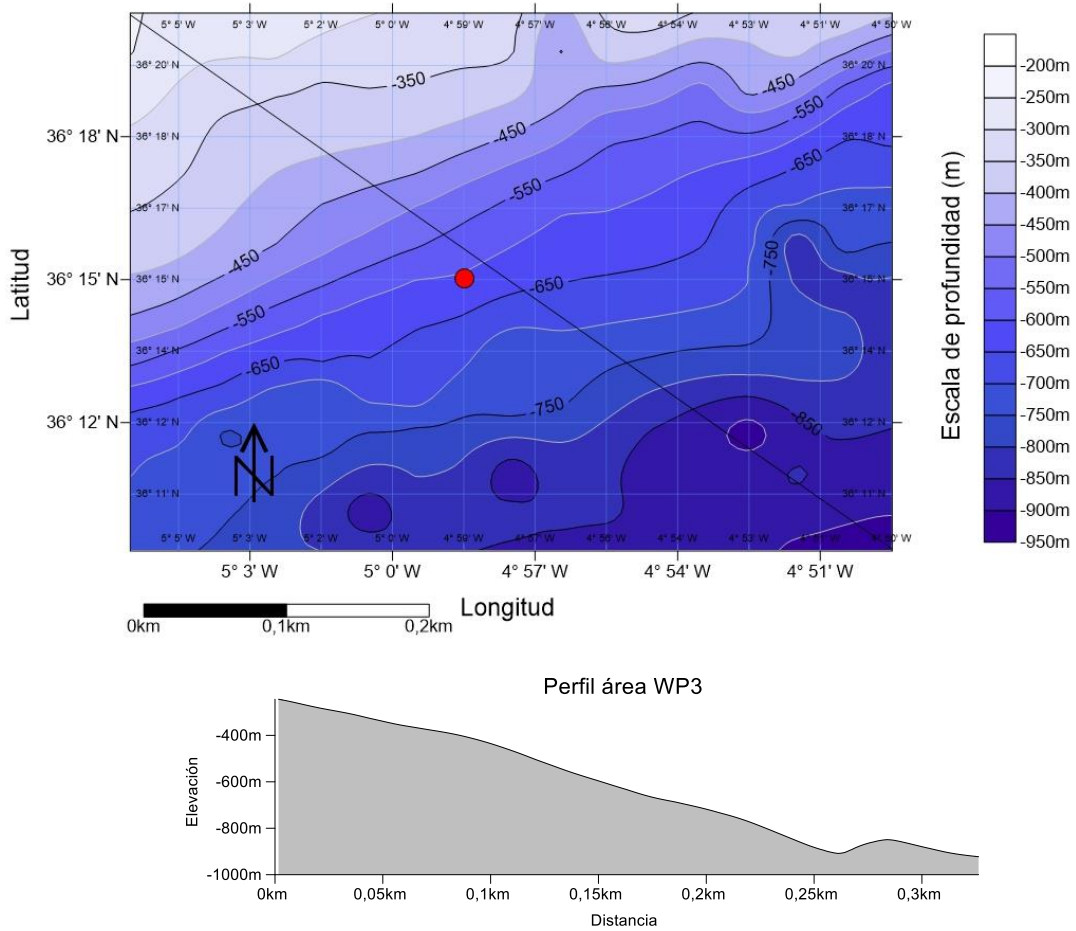


Figura 20: Perfil y mapa topográfico del área del área de muestreo. El punto rojo señala el WP3. Fuente: Elaboración propia, Surfer ® (Golden Software, LLC).

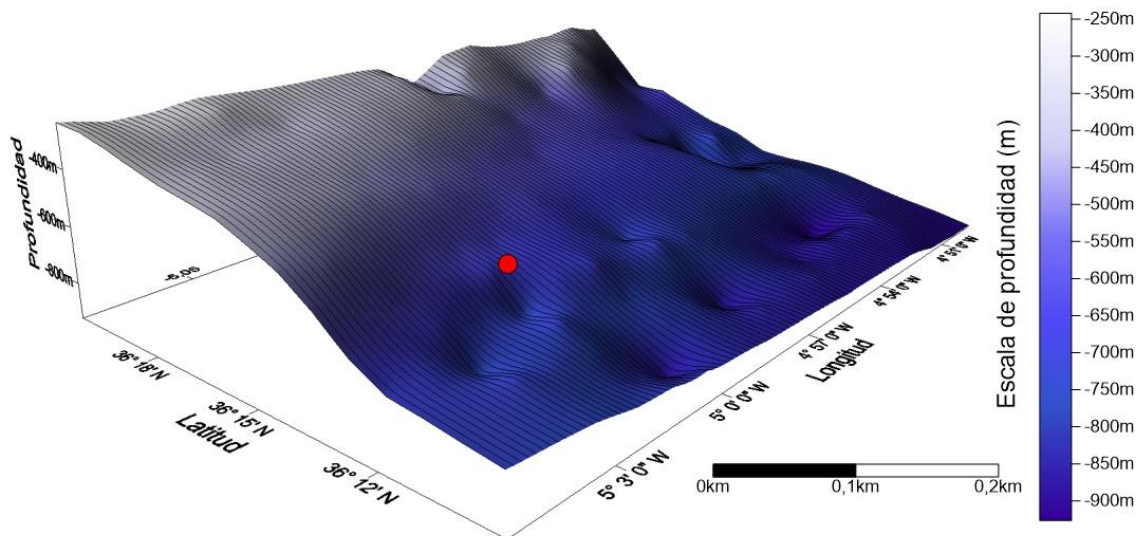


Figura 21: Mapa batimétrico en 3D del área de muestreo. El punto rojo señala el WP3. Fuente: Elaboración propia, Surfer ® (Golden Software, LLC).

El mar de Alborán está situado entre la cordillera Bética y el Rif, en el arco de Gibraltar, un orógeno alpino que se formó en el Mioceno inferior por la colisión tangencial entre la microplaca de Alborán y la placa Ibérica. Este evento provocó una compresión y una extensión cortical simultánea que formaron las cordilleras circundantes y la cuenca de Alborán respectivamente (IGN, 2020).

La formación y extensión del mar de Alborán implicó un adelgazamiento de la corteza continental, y a su vez fenómenos de magmatismo y vulcanismo, por lo que el relieve submarino es complejo y accidentado, con subcuencas marinas separadas por elevaciones y conos volcánicos. La extensión del mar de Alborán cesó en el Tortoniense superior, tras lo cual se estableció un régimen predominantemente compresivo, en el que se produjeron plegamientos perpendiculares a la compresión, y fallas con orientaciones NNE-SSO y ONO-ESE (IGN, 2020). La fase de sedimentación postextensiva y compresión prosigue en la actualidad (Ballesteros *et al.*, 2008). Actualmente, la corteza continental presenta entre 15 y 20 km de espesor. La cobertura cuaternaria incluye rocas sedimentarias del Mioceno inferior, junto a capas volcánicas e intermedias Tornienses.

En lo referente a la sedimentología, en este punto hay sustrato suelto (sedimentos clásticos del cuaternario) (Figura 22), en concreto arenas y arenas fangosas (Figura 23). El punto se encuentra cercano a un área de material ígneo, por lo que puede que haya mezcla de sustratos.

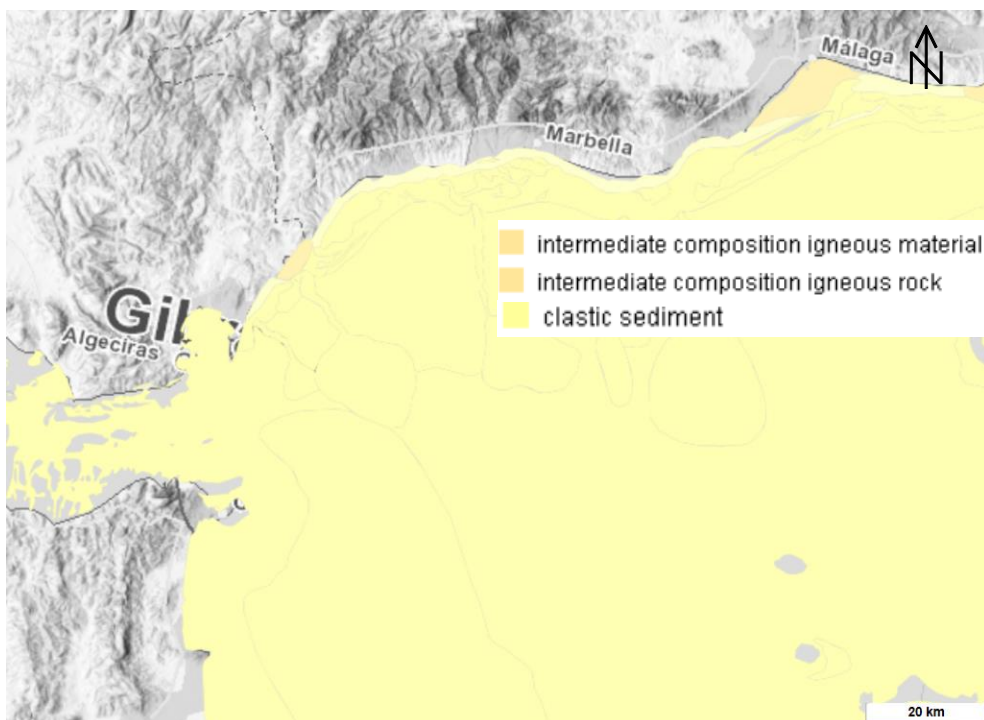


Figura 22: Tipo de sustrato. Fuente: Seabed Substrate, EMODNET. Quaternary lithology

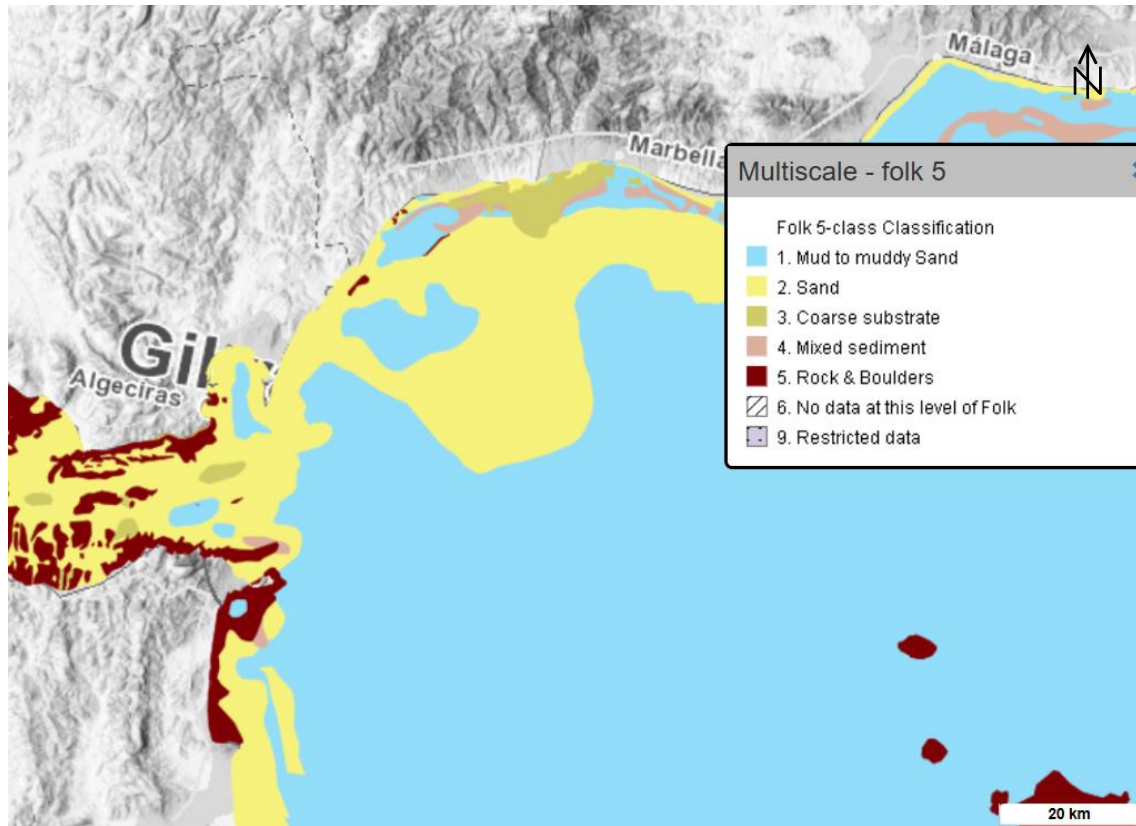


Figura 23: Tipo de sedimento. Fuente: Seabed Substrate, EMODNET. Multiscale-folk5.

Otro rasgo importante en el área de muestreo es el estrecho de Gibraltar, con el cambio topográfico que se da en esa zona, en el que se pasa de 900m a 243 metros de profundidad. En esta zona confluyen dos masas de agua: la MW sale desplazándose por la parte inferior, y el agua atlántica fluye por encima de ésta (Figura 24). Una vez esta masa de agua se encuentra en el Atlántico, alcanza temperaturas medias de 11°C y salinidad de 36,5 psu (Rodríguez, 1982). La MW interviene en la formación de la *North Atlantic Deep Water*.

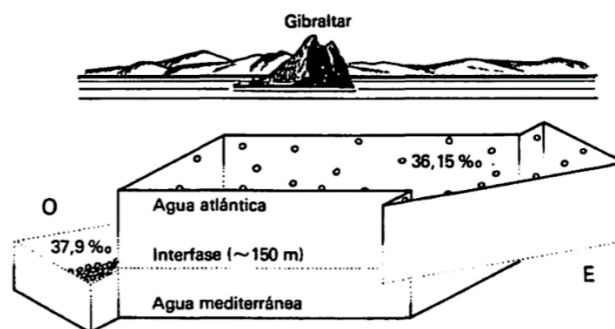


Figura 24: Intercambio de agua en el Estrecho de Gibraltar. El flujo de agua mediterránea exporta en profundidad, y bajo un volumen menor, una cantidad de sal equivalente a la que importa con el flujo superficial de agua atlántica. Fuente: Rodríguez (1982).

El Agua Atlántica que entra al Mediterráneo por el estrecho de Gibraltar (el llamado “chorro atlántico” o “*Atlantic jet*”), con una salinidad inferior al 36,5‰, se sitúa en los primeros 150-200m en el centro del sector occidental del mar de Alborán, y tiene un espesor de unos 50m cerca de la costa española. Por debajo de esta masa de agua que penetra en el Mediterráneo, fluye en sentido contrario flujo de forma lenta y difusa el Agua Mediterránea, más densa (alrededor de 38,2‰) y rica en nutrientes. (Gofas *et al.*, 2014).

La transformación del Agua Atlántica, menos salina, en Agua Mediterránea, más salina se intensifica durante el invierno y la primavera. En la cuenca de Alborán se han identificado cuatro masas de agua mediterránea distintas. La WIW (“*Winter Intermediate Water*”, agua intermedia de invierno), que se origina en la cuenca oriental del Mediterráneo, se sitúa inmediatamente por debajo del Agua Atlántica Superficial, pero en sentido contrario (hacia el Estrecho). Por debajo se encuentra el Agua Levantina Intermedia (LIW, “*Levantine Intermediate Water*”). Ambas masas de agua circulan principalmente por el norte de la cuenca mediterránea por efecto de la rotación terrestre, y llegan hasta unos 600m de profundidad. La capa levantina intermedia se desplaza hacia el oeste a una velocidad media de entre 1 y 3 cm/s, para dividirse en varias ramas, que pasan por el norte y el sur de la isla de Alborán y vuelven a unirse frente a Málaga para dirigirse hacia el Estrecho. A partir de los 600 metros discurre el Agua Profunda del Mediterráneo Occidental (WMDW, “*Western Mediterranean Deep Water*”) y el Agua Profunda del Tirreno (TDW, “*Tyrrhenian Deep Water*”), más frías (12,8° C) y salinas (38,4‰), que se desplazan principalmente por la parte sur de la cuenca (Figura 25). Todas estas masas de agua mediterránea se dirigen hacia el estrecho de Gibraltar, donde el flujo saliente presenta una gran variabilidad a corto, medio y largo plazo, pudiendo llegar a salir por el Estrecho los cuatro tipos de aguas mediterráneas, de forma yuxtapuesta o más o menos desplazadas, en momentos de fuerte flujo mediterráneo. Entre el agua atlántica entrante y el agua mediterránea saliente hay una zona de mezcla cuyo grosor es variable a lo largo de su recorrido; puede oscilar entre 50 y 120 metros, dependiendo de la fuerza del chorro atlántico, de las presiones atmosféricas y de la fuerza y dirección del viento dominante a nivel del estrecho de Gibraltar (Gofas *et al.*, 2014).



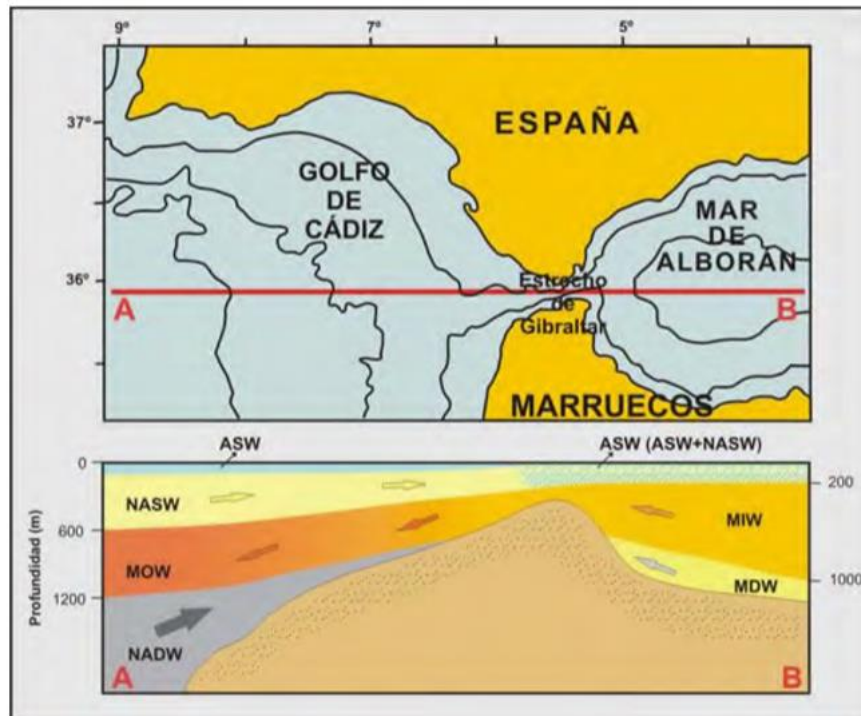


Figura 25: Distribución de las masas de agua que se presentan a ambos lados del estrecho de Gibraltar.

ASW. Agua superficial Atlántica; NASW: Agua Superficial Noratlántica; MOW: Vena de Agua Mediterránea; NADW: Agua Profunda Noratlántica; MIW: Agua Mediterránea Intermedia; MDW: Agua Mediterránea Profunda. Fuente: Hernández-Molina (1993).

Dado que en esta zona confluyen dos masas de agua (IEO, 2012), la situación predominante en la zona varía anualmente. En ocasiones, las masas de agua propias del Estrecho (presencia de Agua Atlántica bajo la capa superficial, con salinidad de 35,1-36,7 psu y temperatura de 8-19°C), se limitan a ese tramo, y en el mar de Alborán dominan las aguas de carácter más mediterráneo, con mayor temperatura y salinidad en el sector costero, y el siguiente año domina el Agua Atlántica (con rangos de salinidad de 36,4-36,5 psu y temperatura de 15-20°C) incluso en la zona costera (Marbella-Fuengirola) desplazando las aguas de mezcla y reduciendo la presencia del Agua Mediterránea (Blanco *et al.*, 2017).

El intercambio de agua es un evento peculiar al que se le unen los efectos de las ondas internas y los procesos mareales de la zona. La circulación en el Mediterráneo es de tipo ciclónico, salvo en la zona del mar de Alborán, que tiene un tipo de circulación anticiclónica.

La corriente de Agua Atlántica Superficial se dirige inicialmente hacia el noroeste, por la propia configuración topográfica del Estrecho, y, posteriormente, gira hacia el sur (entre los 3° y 4° O), dando lugar a un gran remolino anticiclónico en la cuenca occidental del mar de Alborán, conocido como “giro de Alborán” (Figura 26). Este giro es bastante estable.

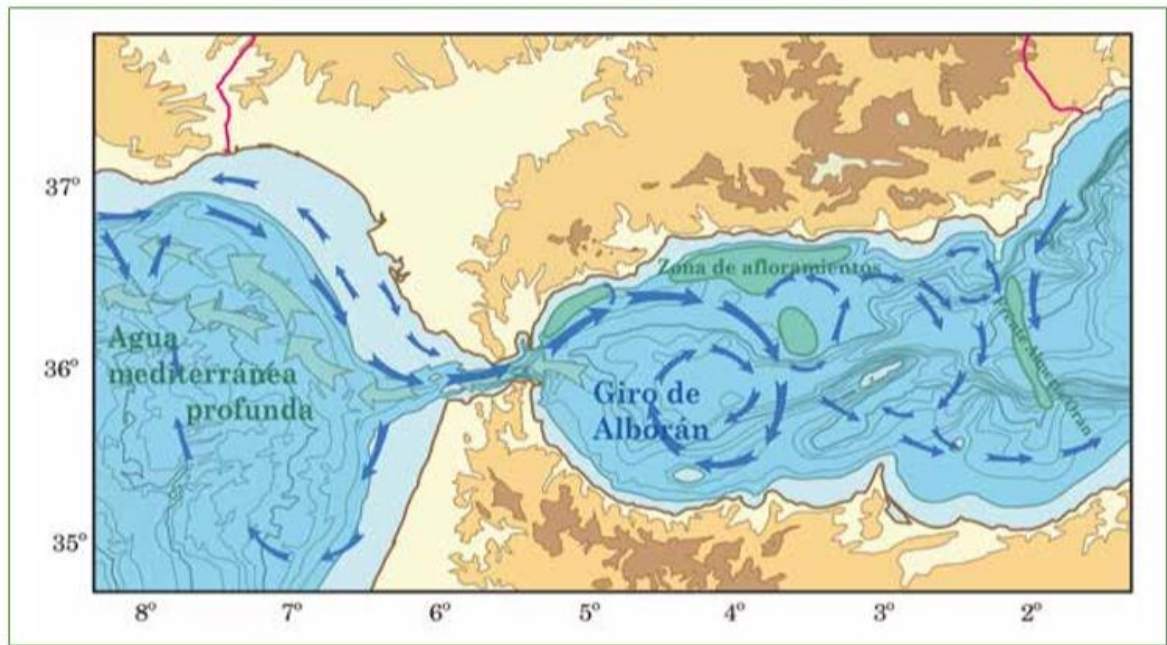


Figura 26: Corrientes y giros en el Estrecho y mar de Alborán. Las flechas azules representan las corrientes superficiales, en las que prevalece la entrada de aguas atlánticas en el Mediterráneo y la formación de un importante giro anticiclónico en la parte occidental del mar de Alborán. Las aguas mediterráneas (flechas verdes) salen hacia el Atlántico formando una corriente profunda que sigue el talud continental ibérico. Fuente: Gofas *et al.* (2014).

Tras el giro, la mayor parte de esta masa superficial de Agua Atlántica toma dirección NE, formando un segundo remolino anticiclónico. Otra parte del Agua Atlántica puede tomar dirección NE, formando un remolino ciclónico que puede ocupar gran parte de la cuenca oriental del mar de Alborán. Ocasionalmente pueden formarse otros pequeños remolinos anticiclónicos y ciclónicos, tanto en la zona central como en el norte del mar de Alborán (Gofas *et al.*, 2014).

En estas zonas de contacto de masas de agua pueden producirse afloramientos que aumentan la producción biológica. Además, la existencia de giros y frentes asociados al contacto entre diferentes masas de agua a meso y macroescala determinan tanto la circulación como la distribución de distintas variables ecológicas (biomasa, productividad y composición de la comunidad planctónica) en el área (Figura 62).

Se han propuesto varios mecanismos de afloramiento (Sarhan *et al.*, 2000) y se han encontrado diferencias en la naturaleza del agua implicada: surgencias de aguas mediterráneas en el talud (Ballester y Zavatti, 1983) y de aguas atlánticas subsuperficiales (Gil, 1985). La masa de agua AW domina la dinámica del área, aportando nutrientes (Gómez *et al.*, 2000) y transportando plancton proveniente del área atlántica. Las variaciones diarias de presión atmosférica en el área influyen en la variabilidad del flujo del Agua Atlántica a través del Estrecho (García Lafuente *et al.*, 1998), y los cambios en su velocidad afectan considerablemente la amplitud y localización del giro anticiclónico permanente en la zona occidental del mar de Alborán (Cheney y Doblar, 1982; Parada y Cantón, 1998). La influencia directa del Agua Atlántica sobre la zona noreste de Alborán generalmente solo afecta hasta el talud, pues en la plataforma y en el sector más nerítico las corrientes locales están regidas principalmente por el régimen de vientos (Cano y García Lafuente, 1991). Las características hidrológicas varían constantemente, y suelen provocar las altas concentraciones de clorofila en verano (Cortés *et al.*, 1985) y una elevada producción biológica local (Rodríguez *et al.*, 1994).

Las variables fisicoquímicas están asociadas con la presencia de las masas de agua: Agua Atlántica Modificada (MAW), Agua Intermedia Levantina y/o Invernal (LIW y WIW) y Agua Mediterránea Profunda (MDW o WMDW). La MAW se origina por la entrada del Agua Atlántica a través del estrecho de Gibraltar, y ocupa los primeros 100-200m en la columna de agua. La MAW está caracterizada por una salinidad de alrededor de 36,5 psu en el estrecho (Milot, 1999). Esta característica influye en la distribución de la alcalinidad total en las aguas superficiales. En el Mar de Alborán (Mediterráneo occidental) se encuentran los valores más bajos de alcalinidad total: alrededor de 2439  $\mu\text{molkg}^{-1}$ ). Esto se debe a la influencia de la intrusión de aguas atlánticas, con una salinidad inferior y por lo tanto con una  $A_T$  inferior (De Oliveira *et al.*, 2008).

En el mar de Alborán, el pH absoluto mínimo (7.855) se encontró en correspondencia con el núcleo de la LIW, y el mínimo de oxígeno a unos 300m. La distribución vertical y el rango de valores son similares a los reportados por Santana Casiano *et al.* (2002) cerca del estrecho de Gibraltar, en las capas intermedias y profundas. Los valores de pH trazan la presencia de tanto de la LIW como de la WMDW (que se caracteriza por la misma salinidad que la LIW pero tiene un pH mayor (7,89) por su ventilación mayor). La LIW y la WMDW se pueden diferenciar en la tasa de sus pH (Rivaro *et al.*, 2010).

Como puede verse en los perfiles (Figura 27 y 28), las variables registradas en los datos históricos coinciden con la bibliografía.

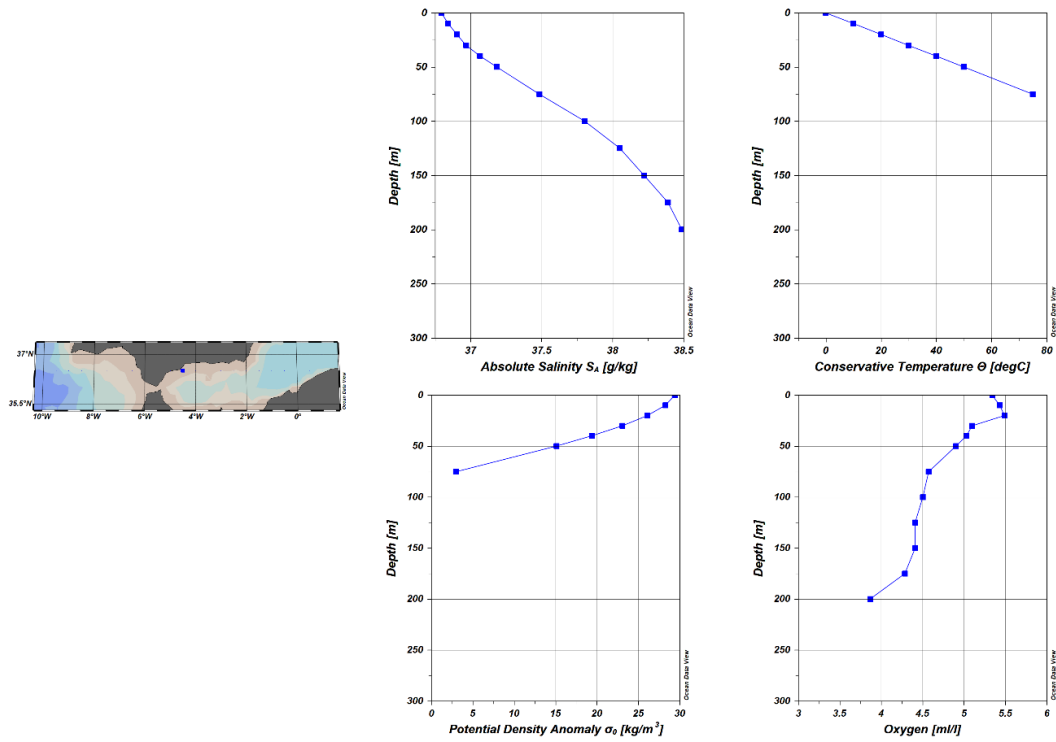


Figura 27: Perfiles obtenidos a partir de la base de datos Gouretski y Koltermann (2004). Fuente: Elaboración propia. ODV (Schlitzer, 2018).

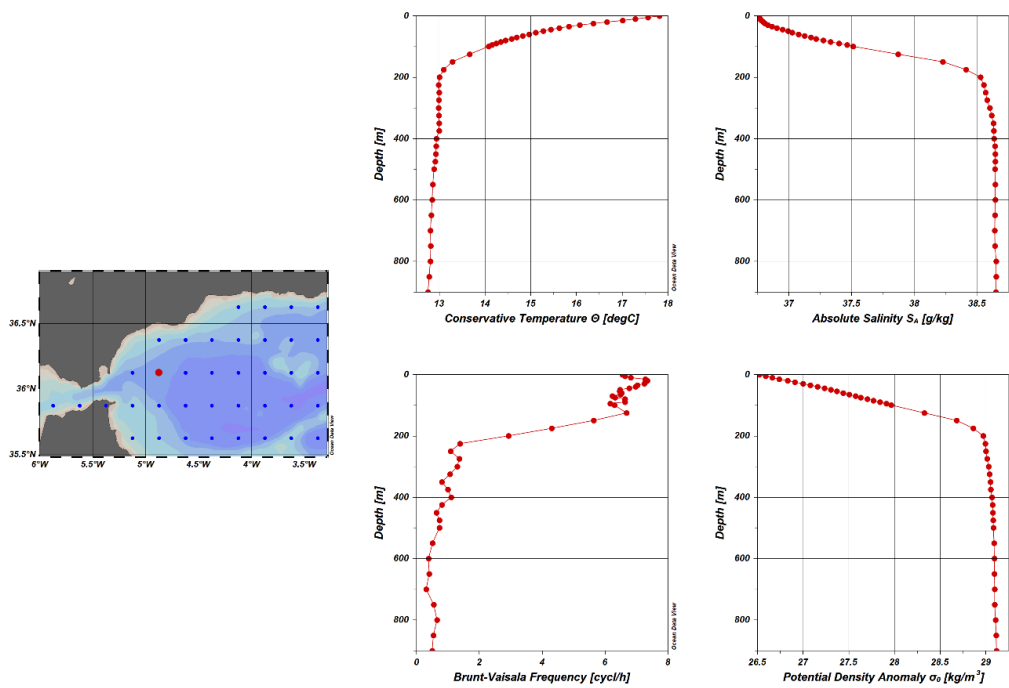


Figura 28: Perfiles obtenidos a partir de la base de datos "World Ocean Atlas 2013" de la NOAA (Boyer et al., 2013). Fuente: Elaboración propia. ODV (Schlitzer, 2018).

El tercer punto (WP5) se sitúa en la parte externa del Golfo de Cádiz (Figura 29), en un área de cañones submarinos (Figuras 30 y 31).



Figura 29: Localización del WP3. Se sitúa frente a la costa de Estepona (Málaga), en el talud continental.

Fuente: Elaboración propia. Google Earth Pro (2020).

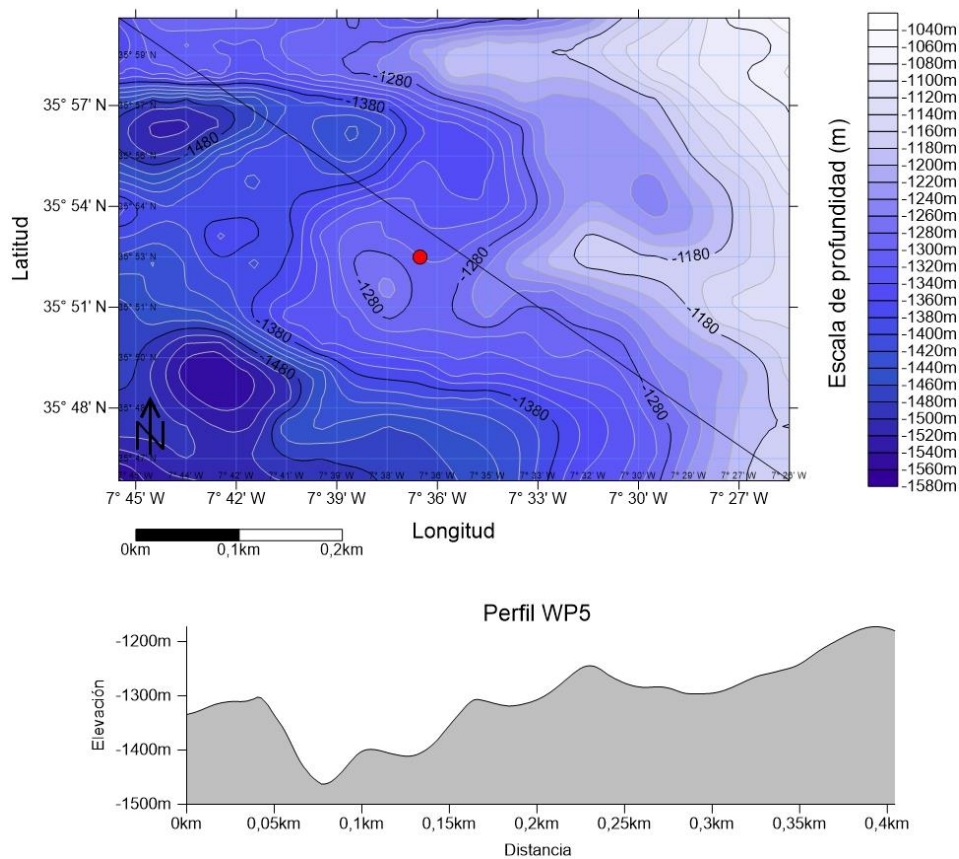


Figura 30. Perfil y mapa topográfico del área del área de muestreo. El punto rojo señala el WP5. Fuente:

Elaboración propia, Surfer® (Golden Software, LLC).

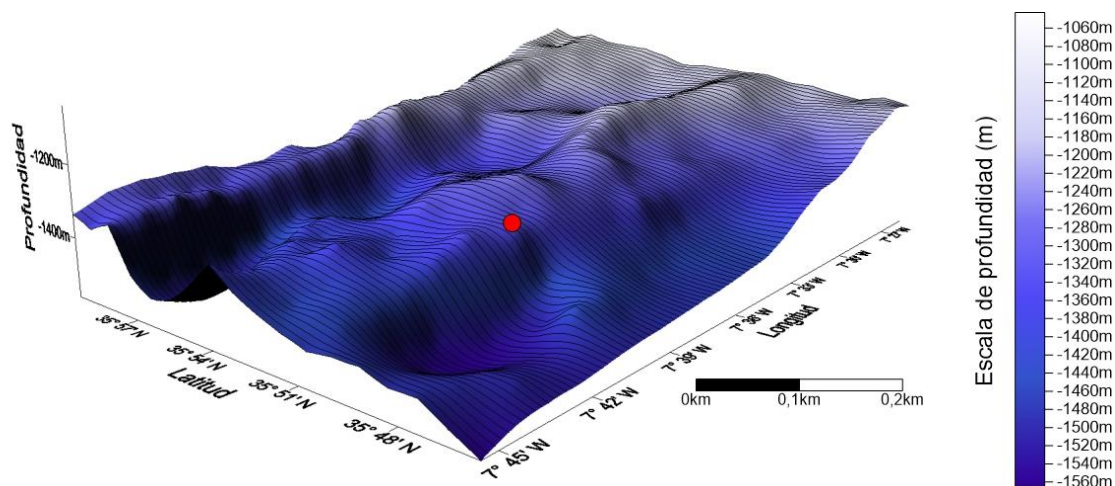


Figura 31. Mapa batimétrico en 3D del área de muestreo. El punto rojo señala el WP5. Fuente: Elaboración propia, Surfer ® (Golden Software, LLC).

El golfo de Cádiz se encuentra sobre el límite de las placas Euroasiática y Africana, caracterizado por un régimen de convergencia oblicua NO-SE. Está limitado por el macizo Ibérico y la cuenca del Algarve al norte, y por el arco orogénico de la cordillera bético-rifeña al este (IGN, 2020).

Su situación en un límite de placas implica un régimen compresivo que produce una importante sismicidad. La zona de transición de corteza continental a oceánica todavía está poco definida (IGN, 2020). La mayor parte del golfo de Cádiz se localiza sobre corteza continental ibérica o africana que se estrecha hacia el oeste. La corteza oceánica se encuentra bajo las llanuras abisales de la Herradura, Sena y los montes submarinos adyacentes: Gorringe, Ampere y Coral Patch.

Además, el relieve presenta multitud de *seamounts*, correspondientes generalmente a volcanes extintos que no llegaron a emerger. Destaca a su vez la cordillera de Gorringe, situada en la llanura abisal de La Herradura, que está formada por gabros de la corteza oceánica y basaltos alcalinos (IGN, 2020).

La actividad tectónica en el golfo de Cádiz se relaciona con el límite de las placas tectónicas entre Eurasia y África. La gran fractura de Azores llega hasta la cordillera de Gorringe, aunque resulta difícil establecer una única zona de fractura en la zona este, por lo que hay varias fracturas paralelas que se consideran el límite de las placas.

En la parte oriental del golfo destaca el prisma de acreción o unidad alóctona, el rasgo geológico principal del golfo. El límite norte de esta estructura tiene un desplazamiento hacia el oeste de  $1,8 \pm 0,8$  mm/año. Tiene una cobertura sedimentaria de edad Miocena medio a la actualidad, de 3.000 m. La deformación no sólo está controlada por los esfuerzos regionales sino también por la gran cantidad de diapiros arcillosos y salinos (procedentes de las facies triásicas) además de volcanes de fango que se localizan a profundidades entre 300 y 1.200 m, emplazándose sobre el talud continental superior y medio del margen continental suribérico. Son relieves de geometría preferentemente cónica, que se forman como consecuencia del proceso de expulsión de fluidos cargados en gas procedentes del fondo marino. Los cuerpos diapíricos arcillosos son una facies sísmica caótica en el contacto con la cobertura sedimentaria (IGN, 2020).

En la zona frontal de la bahía de Cádiz, dentro del prisma de acreción, se encuentra un conjunto de fallas normales (a veces listricas) buzando al oeste que tienen una dirección NNO- SSE y viran a N-S en la parte meridional. Algunas son fallas activas ya que cortan los sedimentos hasta el fondo marino (IGN, 2020).

En cuanto a sedimentología, el material presente en la zona es arena (Figura 32), en concreto fangos y arenas fangosas (Figura 33).

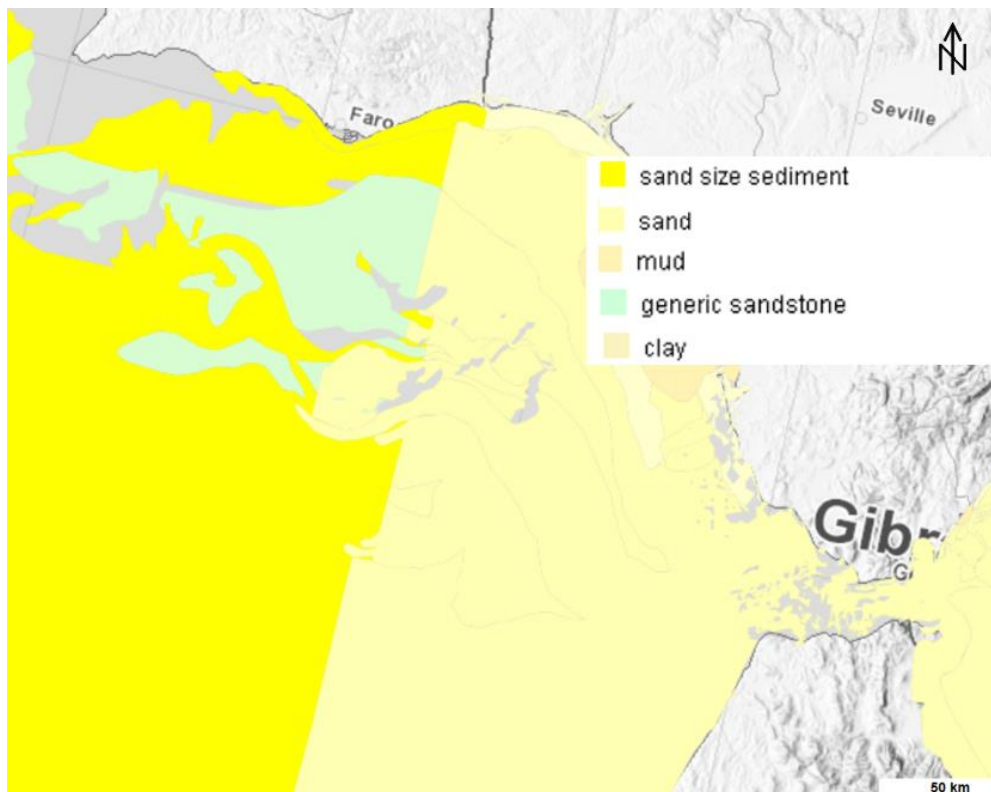


Figura 32: Tipo de sustrato. Fuente: Seabed Substrate, EMODNET. Quaternary lithology.

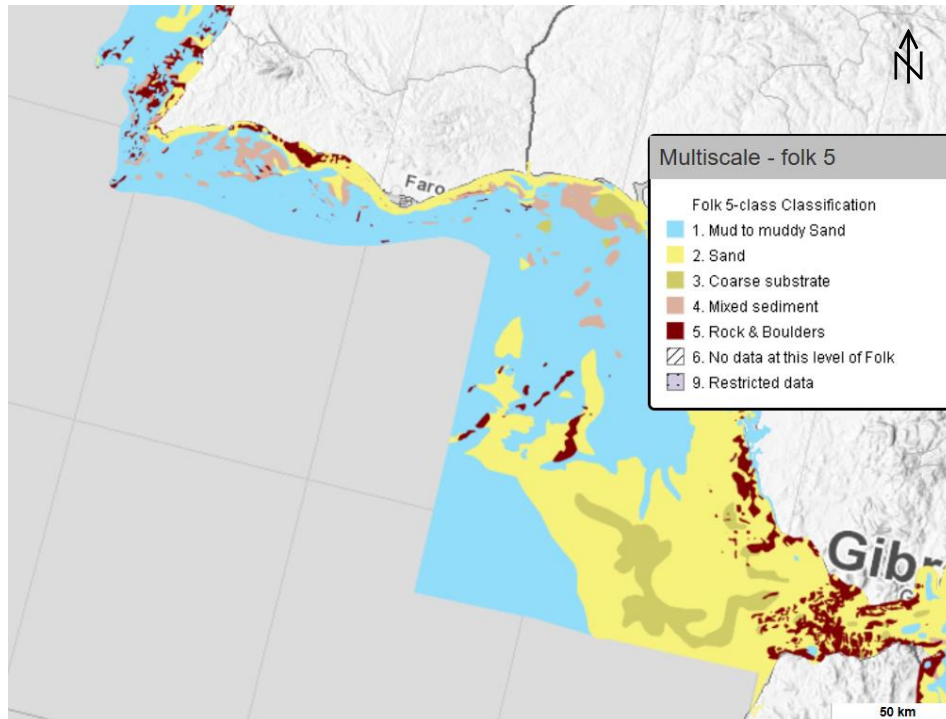


Figura 33: Tipo de sedimento. Fuente: Seabed Substrate, EMODNET. Multiscale-folk5.

En cuanto a las condiciones oceanográficas, la hidrología de las cuencas del océano Atlántico se ve afectada por la formación y recirculación de la NADW. La inyección de agua superficial en las capas más profundas es la responsable del alto contenido de oxígeno. También está relacionada con las altas salinidades en superficie. Las cuencas del océano Atlántico se caracterizan por valores relativamente altos de salinidad y oxígeno disuelto.

La salinidad se corresponde al balance de precipitación – evaporación (Figura 34)

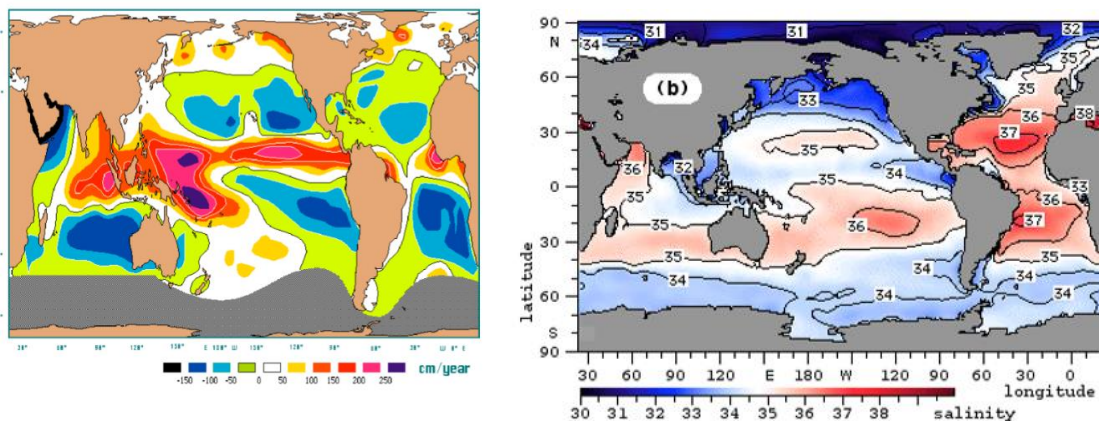


Fig. 1.7. Annual mean difference precipitation - evaporation ( $P - E$ , cm per year). Data from Oberhuber (1988). Positive values indicate freshwater gain. The quantity  $E - P$ , often seen in oceanography, is the negative of the quantity displayed here.

Figura 34: Representación del balance P-E (izquierda) y de los valores medios de salinidad (derecha). Fuente: Tomczak y Godfrey (2003).



En ocasiones, la literatura refiere como “NADW superior” a la NADW proveniente del Mar de Labrador, con influencia de Agua Mediterránea Euroafricana (EMW). Esta masa de agua sale del estrecho de Gibraltar con una temperatura de aproximadamente 13,5°C y una salinidad de 37,8 psu. En menos de 250 km, su temperatura y salinidad se reducen al mezclarse con la NADW a 11-12° C y 36,0 - 36,2 psu. Con estas características, la EMW se extiende a través del océano, mezclándose gradualmente con el agua profunda. En relación con la NADW de la misma densidad, tiene salinidades y temperaturas anormalmente altas. La Figura 35 lo muestra como un máximo de salinidad y temperatura a 1000 m de profundidad cerca del límite superior de distribución de NADW (Tomczak y Godfrey, 2003).

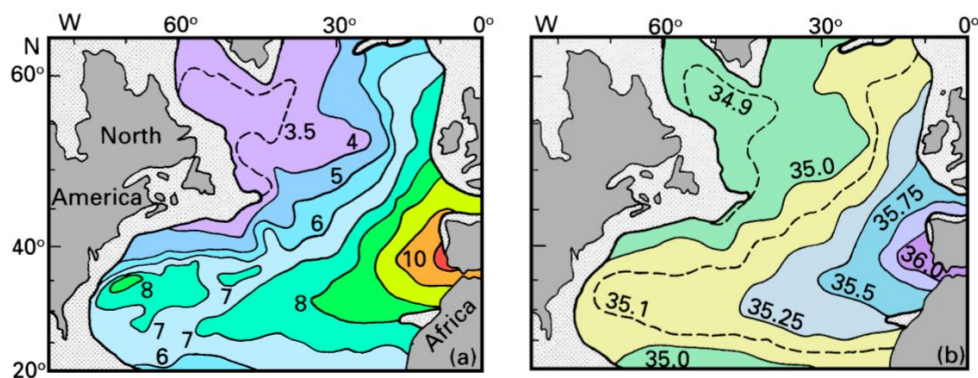


Figura 35: Temperatura (°C) (a) y salinidad (psu) (b) en el océano Atlántico a 1000m de profundidad.

Fuente: Tomczak y Godfrey (2003)

El Agua Mediterránea (MW) se transporta hacia el norte a lo largo de la plataforma portuguesa bajo la influencia de la fuerza de Coriolis y se mezcla en la circulación del giro subtropical, extendiéndose finalmente hacia el sur y hacia el oeste, pudiéndose observar trazas de Agua Mediterránea en todo el Atlántico norte, con valores elevados de salinidad.

Si bien la influencia del Agua Mediterránea es lo suficientemente fuerte como para reflejarse en la distribución media a largo plazo, no se debe pensar que la propagación de la EMW es un movimiento isopícnico suave con difusión diapícnica. Hay que recordar que todas las cuencas orientales se caracterizan por un movimiento medio lento, pero con una alta presencia de remolinos. El Agua Mediterránea se inyecta en la NADW en forma de “eddies”, remolinos con una alta proporción de Agua Mediterránea en su núcleo. Esta rotación “protege” a la EMW y evita los procesos de mezcla con la NADW circundante. Estos “eddies” de Agua Mediterránea también son conocidos como “meddies” (Tomczak y Godfrey, 2003)

En el estudio de alcalinidad total ( $A_T$ ) de Rivaro *et al.* (2010), las muestras tomadas en el Atlántico se asemejan a los datos reportados de las muestras tomadas en el Golfo de Cádiz, con concentraciones de  $A_T$  que oscilan entre los 2327 y los 2370  $\mu\text{mol kg}^{-1}$  por debajo de los 500m. Los valores registrados por debajo de los 2000m tienen los mismos valores de  $A_T$  que los medidos en la *North Atlantic Deep Water*. Estos puntos además tienen los valores más bajos de pH (comprendidos entre 7,733 y 7,777, por debajo de los 500m).

Como puede verse en los perfiles (Figura 36 y 37), los perfiles obtenidos de las bases de datos corroboran la bibliografía. Puede observarse la presencia de las diferentes masas de agua en el perfil de salinidad de la Figura 13.

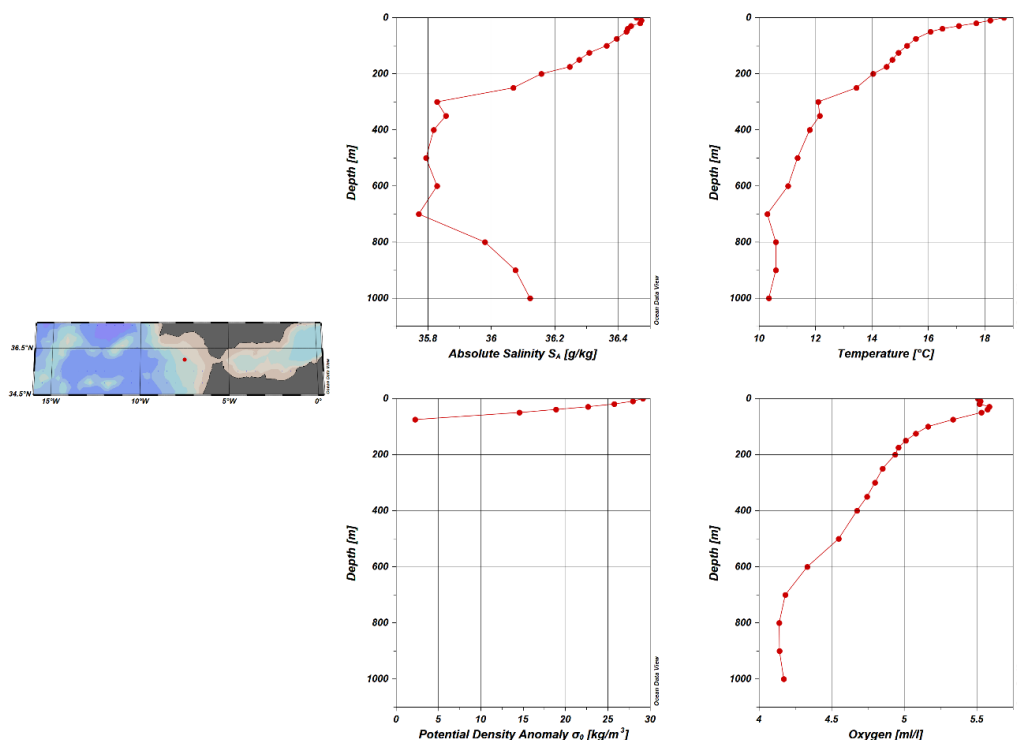


Figura 36: Perfiles obtenidos a partir de la base de datos Gouretski y Koltermann (2004). Elaboración propia. ODV (Schlitzer, 2018).

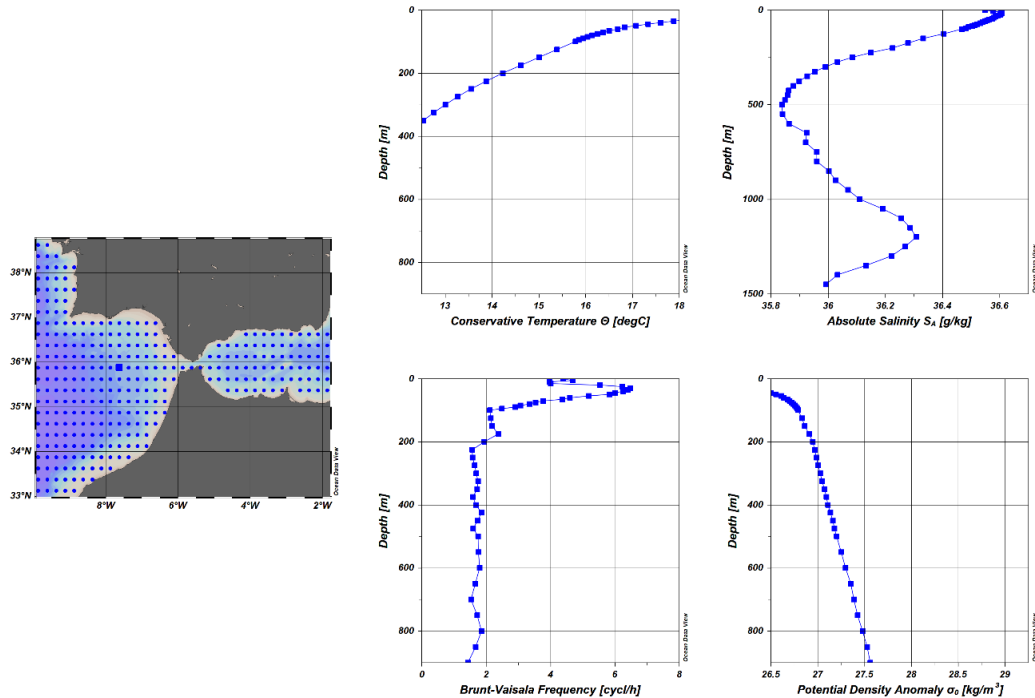


Figura 37: Perfiles obtenidos a partir de la base de datos “World Ocean Atlas 2013” de la NOAA (Boyer *et al.*, 2013). Elaboración propia. ODV (Schlitzer, 2018).

### 3.2 Toma de muestras a bordo.

Muchos de los estudios ecológicos anteriores sobre foraminíferos bentónicos en aguas profundas utilizaban muestras tomadas con box corer o con draga Van Veen. Actualmente se usan multicorers amortiguadas hidráulicamente. Este cambio es muy significativo debido a que los multicorers retienen el material superficial ligero como los fitodetritos, que se lava con el box corer. Además, los multicorers muestrean metazoos de la meiofauna mucho más eficientemente que los boxcorers. Los box corers subestiman las densidades macrofaunales en un factor de >2 en comparación con los multicorers. Estas diferencias se deben a que la onda de arco generada por el box corer arrastra a los organismos más ligeros presentes en la superficie. Pueden producirse más pérdidas faunales a medida que el agua suprayacente de la boxcorer se drena en cubierta. Sin embargo, los box corers retienen mejor los sedimentos arenosos que los multicorers, y el área de muestreo es mayor (Gooday, 2003).

Por lo tanto, para la obtención de las muestras se utilizó el *Multimuestrador multicorer* (KC Denmark, 6 x  $\varnothing$  100 x 600 mm) (Figura 38). Este instrumento es un Multicorer de 6 tubos de 110/105 mm de diámetro y 600 mm de longitud, recorrido muestreable de 500 mm, desplegable hasta 6000 m. El instrumento consiste en un trípode multitubo de muestreo del sedimento superficial (hasta 40 cm) y de la interfase agua-sedimento con un alto grado de preservación. Tras depositarse el sistema sobre el fondo, el equipo entra en funcionamiento introduciendo hasta 6 tubos de metacrilato dentro del sedimento gracias a un dispositivo hidráulico de pistón (UTM, 2020; KC Denmark, 2020). Estos tubos quedan herméticamente cerrados por su base y techo. Se obtuvo un testigo de sedimento conservado.



Figura 38: Multimuestrador multicorer de la casa KC Denmark. Fuente: fotografía tomada a bordo por Sandra Romero

Para armar el multimuestreador, se colocó un tubo en cada espacio habilitado para ello y se sujetó mediante una abrazadera de bloqueo doble y un dispositivo de ajuste que proporciona una buena fijación. Cada tubo de muestra tiene una tapa con resorte, que se mantiene en posición abierta durante la toma de sedimento. En la parte inferior de cada núcleo hay una placa que se sujeta mediante un resorte, de manera que durante el lanzamiento del multicorer permanece abierta (Figuras 39-41). Cuando el instrumento toca fondo y se completa el muestreo, se presiona el resorte, que cierra las placas y las tapas superiores asegurando el contenido de los tubos (Figura 42).



Figura 39: Multimuestreador armado para la toma de muestras. Fuente: KC-DENMARK (2020)



Figura 40: Detalle de las tapas superiores y abrazaderas. Fuente: KC-DENMARK (2020)



Figura 41: Detalle de los núcleos. Fuente: KC-DENMARK (2020)

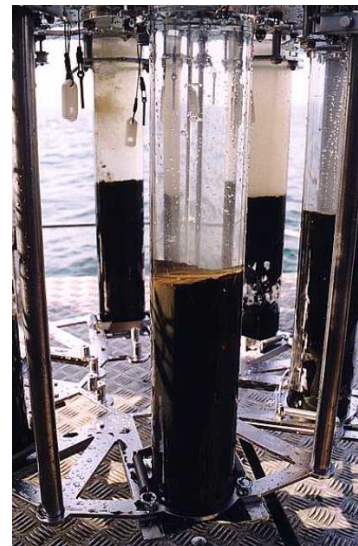


Figura 42: Recuperación del instrumental con la muestra contenida en los tubos. Fuente: KC-DENMARK (2020)

Una vez se recuperó el instrumental, se recogieron las muestras. Para ello se levantó la tapa de la parte superior del multicorer y se colocó una tapa de plástico en el tubo. Se liberó el tubo de la abrazadera y posteriormente se extrajo el multicorer. Se retiró la placa metálica (Figura 43) al mismo tiempo que se colocó en la parte inferior del tubo un disco plástico para evitar que se perdiese el sedimento. Manteniendo el disco sujeto, se extrajo el tubo y se colocó sobre una abrazadera plástica que sostenía el disco y funcionaba como sujeción inferior (Figura 44).

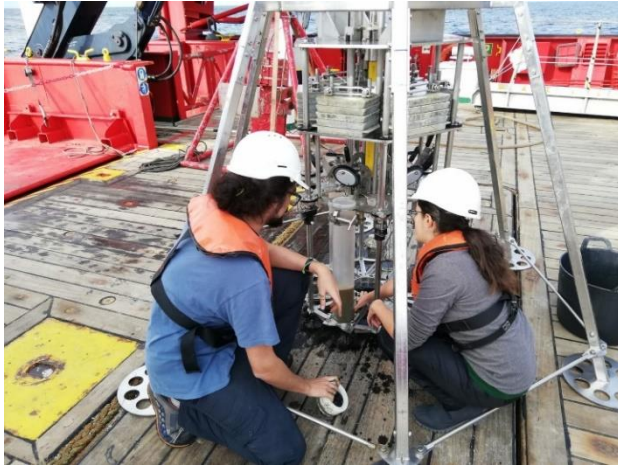


Figura 43. Puesta de la tapa inferior.



Figura 44: Extracción del tubo y disposición sobre la abrazadera

Una vez extraídos los tubos, se obtuvieron las muestras de ellos. Puesto que las poblaciones a menudo tienen parches a pequeña escala (Gooday y Lamshead, 1989), es preferible realizar réplicas de las muestras, pero por cuestiones de logística y transporte, solo se conservó una muestra por punto.

Para obtener la muestra se retiró la abrazadera plástica, se depositó en un soporte sacatestigos y se deslizó la muestra fuera del tubo (Figura 45). El primer centímetro de testigo se conservó para la obtención de foraminíferos superficiales. El testigo se seccionó utilizando nylon (Figura 46) y se lavó en un tamiz de 63 $\mu$ m, que permitió eliminar de la muestra la fracción de limos y arcillas.



Figura 45: Imagen tomada al comienzo de la extracción del testigo



Figura 46: Sección del primer centímetro del testigo para la obtención de la muestra de foraminíferos superficiales.

Posteriormente los foraminíferos fueron fijados con alcohol y teñidos con rosa de Bengala según el protocolo de Walton (1952). El colorante se diluyó siguiendo la proporción de 1 gramo de rosa de Bengala por cada litro de agua destilada. Se cubrieron las muestras lavadas con la solución y se mantuvieron sumergidas durante 30 minutos como mínimo. El fin que persigue la tinción es diferenciar la fracción de organismos vivos -en el momento de la recogida de muestras- de los organismos muertos. Aquellos ejemplares vivos conservan el citoplasma, que queda teñido, mientras que los ejemplares muertos se componen únicamente del caparazón vacío, con lo que no presentará coloración. Tal y como discute Guillem (2006), “la principal crítica que soporta esta metodología es que puede dar lugar a falsos positivos; es decir, que foraminíferos que llevan muertos un lapso variable de tiempo conservan todavía parte del citoplasma y éste reacciona con el rosa de Bengala tiñéndose. Este problema puede revestir particular importancia en ambientes de aguas frías -como es el caso, el aguas profundas- en el que los procesos de descomposición orgánica se ven ralentizados y el citoplasma de los foraminíferos puede conservarse durante más tiempo”.

La mayoría de los análisis de biocenosis de foraminíferos se realizan a partir de la fracción lavada y teñida con Rosa de Bengala, que tiñe el protoplasma de un color rosáceo. La luz de malla que se utilice en el tamizado influye gravemente en la abundancia de especies individuales, y por tanto en los resultados de composición y diversidad. Muchos estudios utilizan fracciones de  $>125\ \mu\text{m}$ ,  $>150\ \mu\text{m}$  o  $>250\ \mu\text{m}$  ya que su análisis es muy rápido, pero hay que tener en cuenta que algunas especies dominantes son inferiores a esos tamaños, y que por tanto es necesario utilizar tamices de  $63\ \mu\text{m}$ . Las pequeñas especies epifaunales pueden ser muy abundantes e importantes para detectar respuestas a la materia orgánica lábil recién depositada (Gooday, 2003). Por lo tanto, se escogió esa luz de malla en el tamizado para asegurar la representatividad de todos los grupos y la máxima comparabilidad.

Una vez transcurrido el tiempo de tinción, las muestras se secaron y se almacenaron para su traslado a los laboratorios de la Universidad Católica de Valencia (sede Santa Úrsula), donde se procesaron.

El resto del testigo se dividió en segmentos de 10cm y se congelaron para su conservación y posterior traslado a la Universidad, para investigaciones de otros grupos.

Para obtener información complementaria de los puntos de muestreo, se realizaron varias tomas de datos. Para ello se lanzó una roseta (Figura 47) equipada con 24 botellas Niskin (Carousel Water sampler SBE32 de 24 botellas.) con un sensor CTD (SeaBird SBE911 plus) (UTM, 2020). El CTD SBE 9 Plus cuenta con los siguientes sensores: Sensor de temperatura (SBE3plus), sensor de conductividad (SBE4C), sensor de Presión (Digiquartz), y una bomba 5T, al que se pueden acoplar sensores auxiliares: fluorómetro y turbidímetro (WetLabs AFL-NTU-RTD), fluorómetro (SeaPoint SCF), turbidímetro (SeaPoint STM), sensor de Oxígeno (SeaBird SBE43), transmisómetro (WetLabs C-Star), sensor PAR (Photosynthetically Active Radiation) de Biospherical QSP-2300/QCP-2300 HP, y altímetro (Benthos PSA-916) (UTM, 2020).





Figura 47: Roseta con CTD integrado

### 3.3 Procesado de muestras en el laboratorio.

Las muestras se trasladaron al laboratorio, donde se procesaron. Se descongelaron, y se secaron en una estufa de desecación con control e indicador analógico (PROETI S.A)

### 3.3.1 Protocolo de estudio de los foraminíferos.

Se siguió en gran parte el protocolo (Tabla 5) creado por el grupo Foraminiferal BloMOnitoring (FOBIMO) para estandarizar y promover el uso de foraminíferos bentónicos como una herramienta eficiente para calcular y monitorizar el índice ecológico (Schönfeld *et al.*, 2012).

Tabla 5: Tabla tomada de Schönfeld *et al.*, (2012). FOBIMO Protocol Mandatory and Advisory recommendations.

Topic	Mandatory recommendation	Advisory recommendation
Sample acquisition	<ul style="list-style-type: none"> <li>The interval 0–1 cm should be used.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>A tube with 8 cm in diameter or a surface area of 50 cm<sup>2</sup> is proposed as standard device.</li> <li>Sampling should preferably be done at least once a year.</li> <li>Autumn samples offer best perennial persistency. Bloom periods are to be avoided.</li> </ul>
Remotely operated sampling devices	<ul style="list-style-type: none"> <li>Soft sediments (e.g., muds, sands, and ooze): any interface corer or box corer that keeps the sediment surface intact should be used.</li> <li>Grab samplers are considered as inappropriate for soft sediments and sands.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Only one type of corer should be used in a particular sampling campaign.</li> <li>Hard bottoms: grabs are only to be deployed on hard grounds.</li> </ul>
Replication	<ul style="list-style-type: none"> <li>Three replicates are necessary to capture the variability of the system.</li> <li>Each replicate is to be treated independently.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Replicate samples should preferably come from different deployments.</li> <li>In case replicate samplings come from a single deployment, they should be as far apart as possible.</li> </ul>
Sub-sampling	<ul style="list-style-type: none"> <li>The zero level is to be defined with the midpoint of any irregular surface.</li> <li>For the study of the 0–1 cm level, the whole area within the core-liner is to be sampled.</li> <li>The sample volume has to be determined in a reliable way.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>When sediment layers deeper than 1 cm are sampled, the outer millimetres of sediment close to the core-liner should be removed.</li> </ul>
Preservation and staining	<ul style="list-style-type: none"> <li>Samples should be stored in a preservative or fixative.</li> <li>In order to distinguish living from dead foraminifera, a vital stain should be used.</li> <li>The stain is to be added to the preservative prior to its addition to the sample.</li> <li>The volume of preservative to be added should at least be equal of the volume of the sample.</li> <li>Minimum time for staining with a preservative—rose Bengal solution is 14 days.</li> <li>Samples have to be shaken gently until an entirely homogeneous mixture is obtained.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ethanol of &gt; 70% is strongly recommended as preservative.</li> <li>When using rose Bengal, a concentration of 2 g per litre of preservative is recommended.</li> <li>In environments with high organic matter contents, it may be necessary to add a larger volume of preservative.</li> <li>In low-oxic to anoxic environments where the decay of the dead organisms is very slow, it is strongly recommended to use more critical vitality assays.</li> </ul>
Sample preparation	<ul style="list-style-type: none"> <li>Samples are to be washed on a 63-µm screen.</li> <li>Commercially available wet or dry splitters should be used for sample partitioning.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Heavy liquid separation should be avoided as much as possible.</li> </ul>
Faunal analysis	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bio-monitoring studies should be based on the living fauna.</li> <li>For at least one replicate, all counted foraminifera have to be picked and stored in micropalaeontological slides.</li> <li>The study should be based on the faunal inventory of the &gt; 125 µm fraction.</li> <li>Splits are always to be counted entirely.</li> <li>Soft-shelled species are not considered in routine monitoring studies.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>In certain environments, it may be necessary to analyse the &gt; 63 µm fraction.</li> <li>A target value of 300 counted specimens is recommended.</li> <li>The same split-size should be used throughout the study.</li> <li>Wet or dry picking are both considered as appropriate.</li> <li>The colouration intensity of specimens considered as living should be assessed for every individual species.</li> <li>A later re-wetting of the dry-picked specimens can help to better assess the staining.</li> <li>Breaking of miliolids and agglutinants to check for cytoplasm may be necessary.</li> <li>The analysis of the dead faunas may add important additional information.</li> </ul>
Documentation	<ul style="list-style-type: none"> <li>Census data and slides with picked specimens have to be archived.</li> <li>A list of all recognised species has to be archived.</li> <li>All available laboratory data are to be documented and archived.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>If available, untreated sample replicates or splits are to be archived.</li> </ul>

### 3.3.2 Concentración por flotación.

La fracción lavada y teñida fue concentrada por flotación usando un líquido denso: tricloroetileno (Trichloroethylene, 99.6%, ACS reagent, stabilized, de ACROS ORGANICS). Se trabajó en campana de extracción de gases: la muestra se vertió en un vaso de precipitados con tricloroetileno, y se dejó reposar 5-10 minutos. Durante este

tiempo, la arena precipitó y los foraminíferos y las partículas menos densas quedaron flotando en la superficie (Figura 48). Para separar la fracción flotada se utilizó un embudo de papel de filtro (Figura 49) en el que quedaron retenidos los foraminíferos. Se vertió lentamente el tricloroetileno con la fracción flotada, con cuidado de no verter la arena y el material depositado (Figura 50). El papel se dejó secar en la campana de extracción. Una vez seco, se recuperaron los foraminíferos y se empaquetaron.

La muestra flotada se pesó para obtener los datos de densidad de biocenosis. Todos los pesajes fueron realizados con la balanza analítica modelo BL 224 basic de XS Instruments, que tiene sensibilidad entre 220g y 0,1mg.

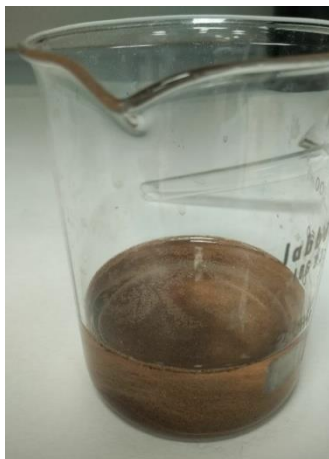


Figura 48: Detalle de la flotación: en la superficie del cloroetileno se encuentran los caparazones (izquierda) y depositada en el fondo la arena o la materia más densa.



Figura 49: Embudo de papel de filtro



Figura 50: Caparazones retenidos en el filtro y restos de arena permanecen en el vaso

### 3.3.3 Extracción y clasificación biocenosis.

Puesto que el objetivo general del presente estudio persigue correlacionar las variables fisicoquímicas registradas en los puntos de muestreo con los organismos encontrados, se tomó la decisión de seleccionar y estudiar la fracción viva (teñida) de foraminíferos.

Algunos autores como Paul (1992) establecen metodologías basadas en utilizar un peso fijo de cada muestra (en su caso, 100g) y evitar sesgos. En otros estudios sobre foraminíferos bentónicos, se extraen al menos 300 ejemplares por muestra (García, 2018). Esta cifra proviene del estudio sobre contaje de poblaciones de Denison y Hay (1967), en el que se concluyó que, para obtener una buena representación poblacional basada en la teoría del muestreo binomial, es decir, para obtener una probabilidad del 95% de encontrar una especie con una proporción muestral del 1%, se necesitan al menos 300 ejemplares (si se deseara aumentar el grado de confianza habría que aumentar el número de individuos estudiados). Para que los estudios estadísticos sean representativos, la fracción de biocenosis obtenida debe estar compuesta por al menos 100 ejemplares (Fatela & Taborda, 2002).

Considerando la posible pérdida de información derivada de la no realización de réplicas (puesto que las poblaciones a menudo muestran parches a pequeña escala (Gooday y Lamshead, 1989)) y la viabilidad de triar la muestra completa para la extracción de la biocenosis, se tomó la decisión de realizar el muestreo de dicha forma, por lo que no se tomó un peso fijo ni un número mínimo de ejemplares, siempre que sobrepasasen la cifra mínima de 100 individuos fijada por Fatella y Taborda (2002). De esta forma se evitaron los posibles sesgos y se procuró obtener la máxima información posible.

La muestra flotada se vertió en tandas sobre una placa Petri cuadrículada, y los caparazones teñidos se extrajeron usando una lupa binocular BMS 140 con ayuda de un pincel fino humedecido en agua destilada (Figura 51). Los caparazones se depositaron en portaobjetos rectangulares para colecciones micropaleontológicas (modelo 7 F.N, de PASI s.r.l). Estos portaobjetos están divididos en 36 casillas, sobre las cuales se depositaron los foraminíferos agrupados por especies, dispuestos en filas y columnas (Figura 52). El material del portaobjetos es un cartón negro rugoso que facilita la adhesión de los caparazones, y un mayor contraste de color. Los foraminíferos se clasificaron siguiendo a Loeblich y Tappan (1987) y la WoRMS (WoRMS Editorial Board, 2020). Una vez clasificados, los caparazones se fijaron con un adhesivo orgánico denominado cola tragacanto.



Figura 51: vista de la bancada de trabajo, con la muestra, la placa Petri cuadrículada sobre la lupa binocular, y el portaobjetos micropaleontológico.

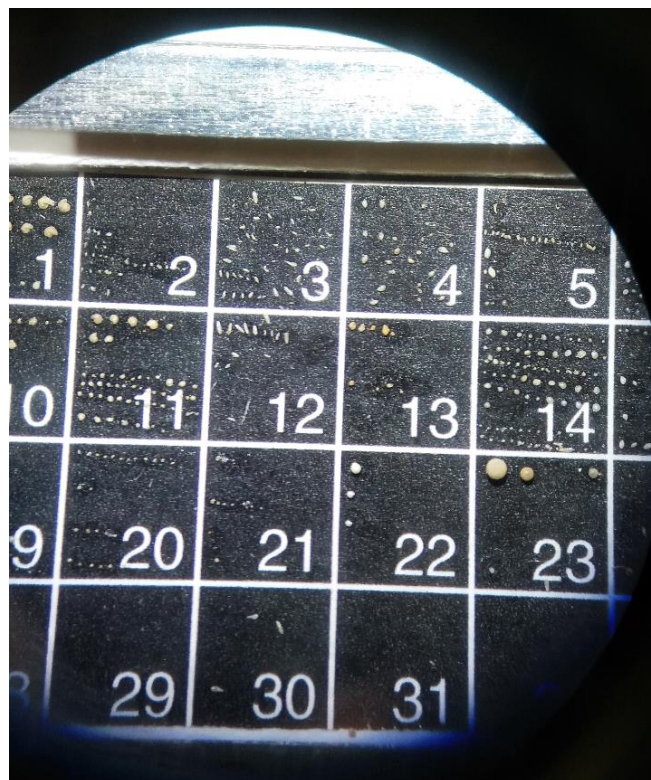


Figura 52. Vista de la disposición en hileras de las especies de foraminíferos. Fotografía tomada durante el proceso de clasificación.

Para la identificación se utilizaron descripciones y láminas de varios autores (Bellier *et al.*, 2010; Gooday, 2003; Luzuriaga de Cruz, 2014; Vargas, 2011; García, 2018), además de la base de datos “*pforamns*” de “Mikrotax” (Young *et al.*, 2017), la base de datos “ForamBARCODING” (Pawlowski y Holzmann, 2010) y la base de datos “World Foraminifera Database” de la WoRMS, creada por Tomas Cedhagen and Onno Gross (2001), y actualizada por Barun Sen Gupta (2010) y Hayward *et al.*, (2020). Esta última base de datos incluye los datos aportados por los últimos estudios genéticos moleculares que alinean a los foraminíferos en un nuevo filo, y la clasificación de foraminíferos con caparazón calcáreo de Loeblich y Tappan (1992) y los caparazones de tipo aglutinado de Kaminski (2004). La filogenia sigue actualizándose, y con la introducción de la genética molecular se esperan todavía más cambios (García, 2018). Las identificaciones fueron supervisadas y corregidas por la Dra. Ana M. Blázquez.

Una vez finalizada la identificación de los individuos en las tres muestras, se contaron y registraron el número de individuos de cada especie en una base de datos creada en Excel.

### **3.4 Procesado datos ambientales.**

Los datos registrados a bordo mediante el CTD fueron procesados y representados con el software ODV (Schlitzer, 2018). Se obtuvieron los perfiles de las variables: Temperatura Conservativa ( $\Theta$ ) en °C; Salinidad absoluta ( $S_A$ ) en g/Kg; Oxígeno disuelto, en V; Fluorescencia, en mg/m<sup>3</sup>; Turbidez, en NTU, Anomalía de la Densidad Potencial ( $\sigma_0$ ) y Frecuencia de Brunt Väisala, en cycl/h.

Durante el muestreo no se realizó un análisis granulométrico, por lo que no se obtuvieron datos sedimentológicos. Tampoco se determinó la materia orgánica ni la proporción de carbonato cálcico. La información referente al sustrato se extrajo de la base de datos “Seabed Substrate”, de escala 1:250000, disponible por el proyecto de Geología de EMODnet, (<http://www.emodnet-geology.eu>), fundado por la Comisión Europea de la Dirección General de Asuntos Marítimos y Pesca.

Además, para realizar la comparativa de las condiciones fisicoquímicas registradas con las publicadas, se obtuvieron datos de las bases de datos Gouretski y Koltermann (2004) y World Ocean Atlas 2013 de la NOAA (Boyer *et al.*, 2013).

### 3.5 Análisis estadístico.

Para los análisis estadísticos se utilizó el software R (R Core Team, 2013) y su interfaz gráfica *R commander* (paquete “Rcmdr”, versión R i386 4.0.1) (Fox y Bouchet-Valat, 2020). Se usó además el complemento “Rcmdr Plugin. IPSUR”, versión 0.2-1.1 (Kerns *et al.*, 2019).

Para analizar la distribución de las especies, se estudiaron por un lado las especies bentónicas y por otro las especies planctónicas.

En primer lugar se realizó una prueba chi cuadrado (Pearson’s chi-squared test) al conjunto de las especies de ambos grupos para ver si había una distribución homogénea de las especies en general ( $\alpha = 0,05$ ). Se realizó asimismo un análisis de conglomerados jerárquicos por zonas utilizando el software IBM SPSS ©. Se utilizó la distancia euclídea al cuadrado y el Método de Ward.

Puesto que la distribución de las especies no fue homogénea, se estudió la distribución de cada especie en las tres zonas. Si la proporción de individuos de la misma especie en las tres zonas es similar, se distribuyen homogéneamente. Para ello se utilizó una prueba de tres muestras para la igualdad de proporciones ( $\alpha = 0,05$ ) con corrección de continuidad.

H0: La distribución en las tres zonas es la misma.

H1: La distribución en alguna de las zonas no es la misma.

Se aplicó la corrección de Bonferroni para evitar cometer un error de tipo I o falso positivo (Mittelhammer *et al.*, 2000), por lo que para estas pruebas el nivel significativo es el nivel de alfa (0,05) partido por el número de hipótesis (3). Es decir,  $\alpha = 0,01666667$ .

Para aquellas especies que no mostrasen una distribución homogénea por zonas, se repitió el estudio de proporciones por parejas: una prueba de tres muestras para la igualdad de proporciones ( $\alpha = 0,05$ ) con corrección de continuidad. En este caso, con la corrección de Bonferroni, se aplicó un  $\alpha = 0,025$  en los resultados.

H0: La distribución en las dos zonas es homogénea.

H1: La distribución en las dos zonas no es homogénea (según el caso,  $\mu_1 < \mu_2$ ;  $\mu_1 > \mu_2$ ).

Asimismo, se realizó otro test de proporciones para comprobar la variabilidad de las condiciones fisicoquímicas del agua. Se incluyeron en el análisis las variables temperatura, salinidad práctica, oxígeno disuelto y turbidez. ( $\alpha = 0,05$ ). Se aplicó la corrección de Bonferroni. Para evaluar las condiciones que afectan a los foraminíferos bentónicos se tomaron los datos de los últimos 5 metros de la columna de agua en cada estación. Para evaluar las condiciones de los foraminíferos planctónicos se seleccionaron los primeros 50 metros, puesto que muchos son simbioses con organismos fotosintéticos, por lo que su posición en la columna de agua está restringida a la zona fótica (Be y Hutson 1977; Hemleben *et al.*, 1989).



## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 4.1 Colección de foraminíferos.

Las muestras fueron tomadas en mar abierto, por lo que se obtuvo una gran cantidad de foraminíferos. Para realizar un primer triado y separar la arena de los foraminíferos, se flotaron las muestras. En las imágenes (Figura 53), se pueden ver las diferencias entre la muestra antes y después de flotar.



Figura 53: Vista a través de la lupa binocular de las muestras previas a la flotación (izquierda) y tras realizar la flotación (derecha).

Los individuos fueron identificados y contabilizados. Se indicó a su vez el hábitat que ocupan (bentónicos o planctónicos) y la distribución registrada en la GEBCO (2014) (Tablas 6 y 7):

Tabla 6: Asociación de especies bentónicas.

Especies	WP2	WP3	WP5	Total	Hábitat	Distribución (GEBCO 2014)
<i>Alabaminella weddellensis</i> (Earland, 1936)			2	2	bentónico	Mediterráneo; golfo de Cádiz no
<i>Amphicoryna scalaris</i> (Batsch, 1791)	11	1	24	36	bentónico	Mediterráneo; golfo de Cádiz no
<i>Bolivina difformis</i> (Williamson, 1858)		4		4	bentónico	Mediterráneo; golfo de Cádiz no
<i>Bolivina spathulata</i> (Williamson, 1858)	21	64	4	89	bentónico	Mediterráneo
<i>Bolivina striatula</i> Cushman, 1922	13	2		15	bentónico	Todos los puntos

<i>Brizalina subspinescens</i> (Cushman, 1922)	3	8	2	13	bentónico	Mediterráneo; golfo de Cádiz no
<i>Bulimina aculeata</i> d'Orbigny, 1826	45	5		50	bentónico	Todos los puntos
<i>Bulimina marginata</i> d'Orbigny, 1826	41	15	12	68	bentónico	Todos los puntos
<i>Cassidulina laevigata</i> d'Orbigny, 1826	12	18	7	37	bentónico	Todos los puntos
<i>Cibicidoides lobatulus</i> (Walker&Jacob,1798)			10	10	bentónico	Todos los puntos
<i>Cornuspira</i> Schultze, 1854	2	13		15	bentónico	-
<i>Fissurina marginata</i> (Montagu, 1803)	16		10	26	bentónico	Mediterráneo; golfo de Cádiz no
<i>Globigerinoides ruber</i> (d'Orbigny, 1839)	1	12	55	68	bentónico	Presente Mediterráneo. Puntual Atlántico
<i>Globobulimina affinis</i> (d'Orbigny, 1839)	5	11	3	19	bentónico	Mediterráneo; golfo de Cádiz no
<i>Globobulimina pyrula</i> (d'Orbigny, 1846)		3		3	bentónico	No documentado en España
<i>Globocassidulina crassa</i> (d'Orbigny, 1839)	61	21	15	97	bentónico	Todos los puntos
<i>Globocassidulina subglobosa</i> (Brady, 1881)	16	7	6	29	bentónico	Todos los puntos
<i>Gyroidina umbonata</i> (Silvestri, 1898)	5	11	18	34	bentónico	Mediterráneo
<i>Hansenisca soldanii</i> (d'Orbigny, 1826)	6	4	2	12	bentónico	Mediterráneo
<i>Hyalinea balthica</i> (Schröter in Gmelin, 1791)	1	4	1	6	bentónico	Todos los puntos
<i>Laevidentalina communis</i> (d'Orbigny, 1826)	7	3	1	11	bentónico	Mediterráneo
<i>Lagena striata</i> (d'Orbigny, 1839)	2	2		4	bentónico	Mediterráneo
<i>Lotostomoides calomorpha</i> (Reuss, 1866) †	3	13		16	bentónico	Puntual en el Estrecho, golfo de Cádiz.
<i>Melonis affinis</i> (Reuss, 1851)	4	1		5	bentónico	Sólo Mediterráneo, puntual en Galicia
<i>Neogloboquadrina incompta</i> (Cifelli, 1961)	5	23		28	bentónico	Puntual en Canarias
<i>Neolenticulina variabilis</i> (Reuss, 1850)	24	1		25	bentónico	Mediterráneo y puntual Cádiz y Portugal
<i>Nonionella</i> Cushman, 1926	23	27	3	53	bentónico	-
<i>Quinqueloculina seminula</i> (Linnaeus, 1758)	5			5	bentónico	Todos los puntos
<i>Rectuvigerina elongatastriata</i> (Colom, 1952)		17		17	bentónico	Mediterráneo y Cantábrico
<i>Reophax fusiformis</i> (Williamson, 1858)	4	5	3	12	bentónico	Mediterráneo, Cantábrico y puntual Atlántico
<i>Reophax</i> Montfort, 1808	4	12	2	18	bentónico	-
<i>Reophax scorpiurus</i> Montfort, 1808	7	1		8	bentónico	Mediterráneo y puntual Cádiz y Portugal
<i>Saracenaria</i> DeFrance, 1824	2			2	bentónico	-
<i>Siphonotextularia concava</i> (Karrer, 1868)	3		5	8	bentónico	Mediterráneo y Cantábrico
<i>Sphaeroidina bulloides</i> d'Orbigny in Deshayes,1828	4	1	7	12	bentónico	Mediterráneo y Cantábrico

<i>Tenuitella gemma</i> (Jenkins, 1966) †	2	25	1	28	bentónico	No documentado en España
<i>Trifarina angulosa</i> (Williamson, 1858)		2	4	6	bentónico	Todos los puntos
<i>Trilobatus quadrilobatus</i> (d'Orbigny, 1846) †	2	10	10	22	bentónico	Sin documentar
<i>Uvigerina mediterranea</i> Hofker, 1932	16	3	20	39	bentónico	Mediterráneo; golfo de Cádiz no
<i>Uvigerina peregrina</i> Cushman, 1923	12	14	18	44	bentónico	Todos los puntos
<i>Valvulineria bradyana</i> (Fornasini, 1900)		2	3	5	bentónico	Todos los puntos

Tabla 7: Asociación de especies planctónicas.

Especies	WP2	WP3	WP5	Total	Hábitat	Distribución (GEBCO 2014)
<i>Globigerina bulloides</i> d'Orbigny, 1826	7	32	51	90	planctónico	Presencia puntual en todos los puntos
<i>Globigerina falconensis</i> Blow, 1959	8	31	68	107	planctónico	Presencia puntual en todos los puntos
<i>Globigerinella calida</i> (Parker, 1962)	2			2	planctónico	Presencia puntual en todos los puntos
<i>Globigerinella siphonifera</i> (d'Orbigny, 1839)	9	65	27	101	planctónico	Presente Mediterráneo. Puntual Atlántico
<i>Globigerinita glutinata</i> (Egger, 1893)	6	13	17	36	planctónico	Presencia puntual en todos los puntos
<i>Globigerinoides conglobatus</i> (Brady, 1879)		1	15	16	planctónico	Presente Mediterráneo. Puntual Atlántico
<i>Globoconella inflata</i> (d'Orbigny, 1839)		8	22	30	planctónico	Presente Mediterráneo. Puntual en Atlántico
<i>Globorotalia hirsuta</i> (d'Orbigny, 1839)			11	11	planctónico	Puntual Atlántico. No presente Mediterráneo
<i>Globorotalia scitula</i> (Brady, 1882)	1		4	5	planctónico	Presente Mediterráneo. Puntual Atlántico
<i>Globorotalia truncatulinoidea</i> (d'Orbigny, 1839)	7	1	13	21	planctónico	Presente Mediterráneo. Puntual Atlántico
<i>Orbulina universa</i> d'Orbigny, 1839	1	1	2	4	planctónico	Presencia Mediterráneo. Muy frecuente Atlántico.
<i>Trilobatus sacculifer</i> (Brady, 1877)	1	4	35	40	planctónico	Presente Mediterráneo. Puntual Atlántico
<i>Turborotalita quinqueloba</i> (Natland, 1938)	21	5	6	32	planctónico	Todos los puntos (puntual)

Quedaron un total de 11 individuos sin identificar: 5 en el WP2, 4 en el WP3 y 2 en el WP5. Dentro de la asociación de organismos bentónicos, hubo individuos que no pudieron ser identificados a nivel de especie, por lo que se adscribieron a un género (4 géneros): *Cornuspira* Schultze, 1854 (15 individuos, 5 especies); *Nonionella* Cushman, 1926 (53 individuos, 4 especies); *Reophax* Monfort, 1080 (18 individuos, 7 especies) y *Saracenaria* Defrance, 1824 (2 individuos, misma especie).

Un dato a tener en cuenta durante la identificación es el porcentaje de sinonimia entre especies (Murray, 2007), ya que dependiendo del estadio de vida, el desarrollo de las cámaras y la ontogenia, el mismo individuo puede ser morfológicamente diferente. Esto puede acarrear errores de identificación de especies.

La información taxonómica reflejada en este trabajo debe ser leída bajo la premisa de que, debido a la declaración del Estado de Alarma para la gestión de la situación de crisis sanitaria ocasionada por el COVID-19 (Real Decreto 463/2020, de 14 de marzo) (España, 2020), la identificación de parte de los individuos tuvo que ser supervisada mediante fotografías, por lo que se pudo omitir algún detalle clave que implicase la asociación de un individuo a otro grupo taxonómico. No obstante, la mayor parte de las especies fue reconocida bajo la lupa binocular antes del confinamiento indicado por las autoridades sanitarias.

Como puede observarse en las tablas (Tablas 6 y 7), se obtuvieron más foraminíferos bentónicos (41 especies) que planctónicos (13 especies). Está establecido que la proporción de foraminíferos planctónicos (P) aumenta con la profundidad, y por ende con la distancia a la costa (Berger y Diester-Haass, 1988). A mayor distancia de la costa, la turbidez disminuye, aumenta la incidencia de la luz y con ello la producción primaria. La alta productividad se limita a la zona fótica. La proporción de foraminíferos planctónicos disminuye con la distancia a la costa en relación con la disminución de nutrientes. Sin embargo, con el aumento de la profundidad, aparecen los foraminíferos planctónicos mesopelágicos y batipelágicos, aumentando la biomasa pelágica total (Van der Zwaan *et al.*, 1990). El patrón general de distribución de los foraminíferos bentónicos es que el número de individuos aumenta desde la costa a la plataforma continental, y disminuye drásticamente en zonas de talud y batiales o abisales (Douglas y Woodruff, 1981). Esta distribución se corresponde con el patrón de distribución de carbono orgánico en el sedimento, que es mayor en las plataformas continentales y disminuye en profundidad. La relación general entre la profundidad y el porcentaje de foraminíferos planctónicos se describe según la fórmula:

$Profundidad = e^{3^{158718+(0,03534**\%P)}}$ , siendo P los foraminíferos planctónicos (Van der Zwaan *et al.*, 1990).

Mientras que en los registros fósiles es habitual encontrar una mayor proporción de foraminíferos planctónicos en relación a los bentónicos (Orue-Etxebarria, 1983; Van der Zwaan *et al.*, 1990) siguiendo con lo detallado anteriormente, el estudio de los foraminíferos recientes –en concreto, de la fracción viva–, no refleja dicha proporción.



Con respecto a los organismos bentónicos (Figura 55, 56, 57) el WP2 es el punto con más individuos registrados (388). Los tres puntos son bastante homogéneos en cuanto a número de especies presente. Sin embargo, en cada uno puede verse como hay una especie mayoritaria: en el WP2 destacan *Globocassidulina crassa* (d'Orbigny, 1839), con 61 ejemplares (15%), *Bulimina aculeata* d'Orbigny, 1826 con 45 ejemplares (11%) y *Bulimina marginata* d'Orbigny, 1826, con 41 (10%). En el WP3, *Bolivina spathulata* (Williamson, 1858) tiene 62 individuos de los 365 totales (17%). En el WP5, destaca sobre las demás *Globigerinoides ruber* (d'Orbigny, 1839), con 55 individuos de los 253 (22%).

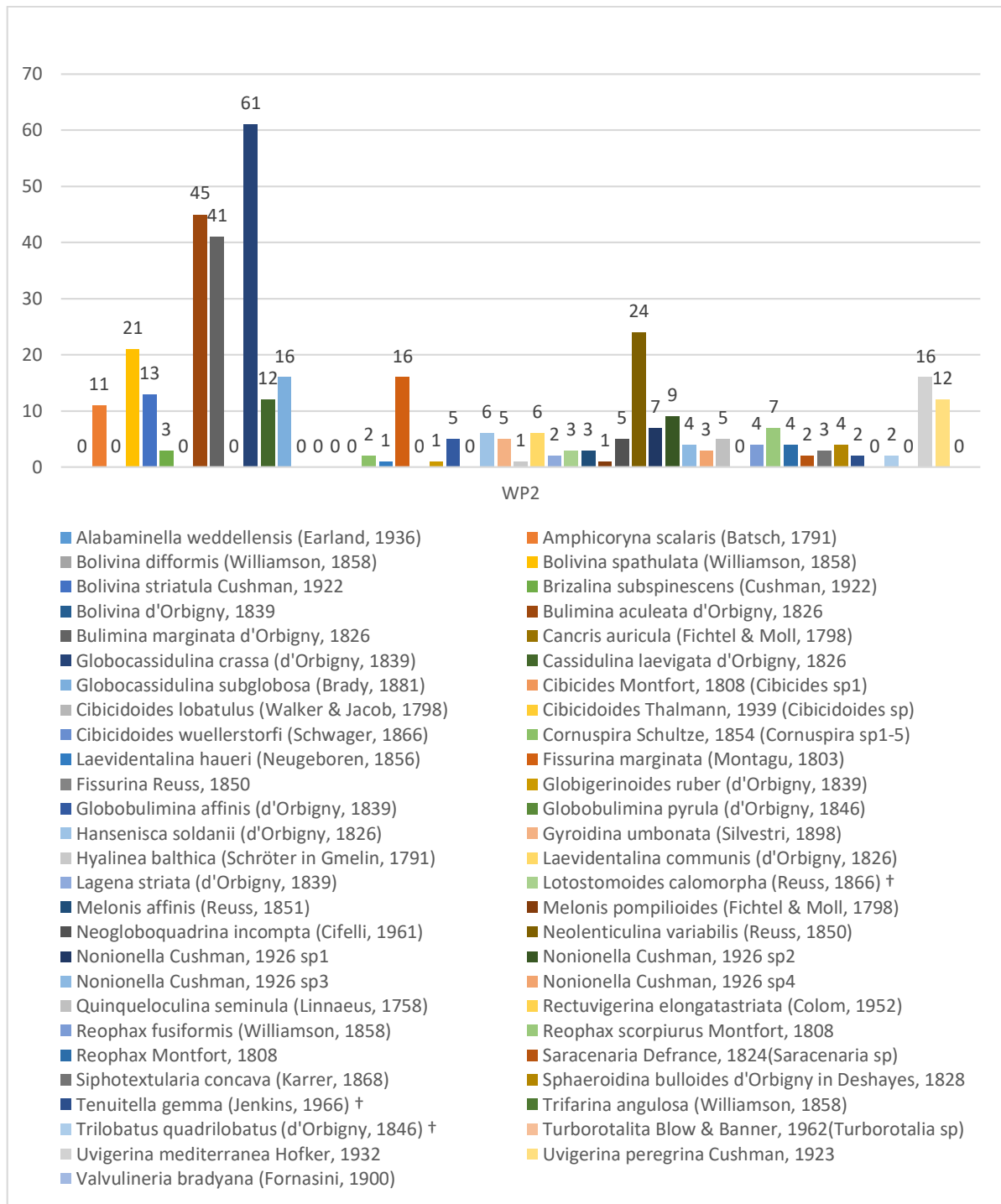


Figura 55: Diagrama de columnas de las especies de foraminíferos bentónicos en el WP2.

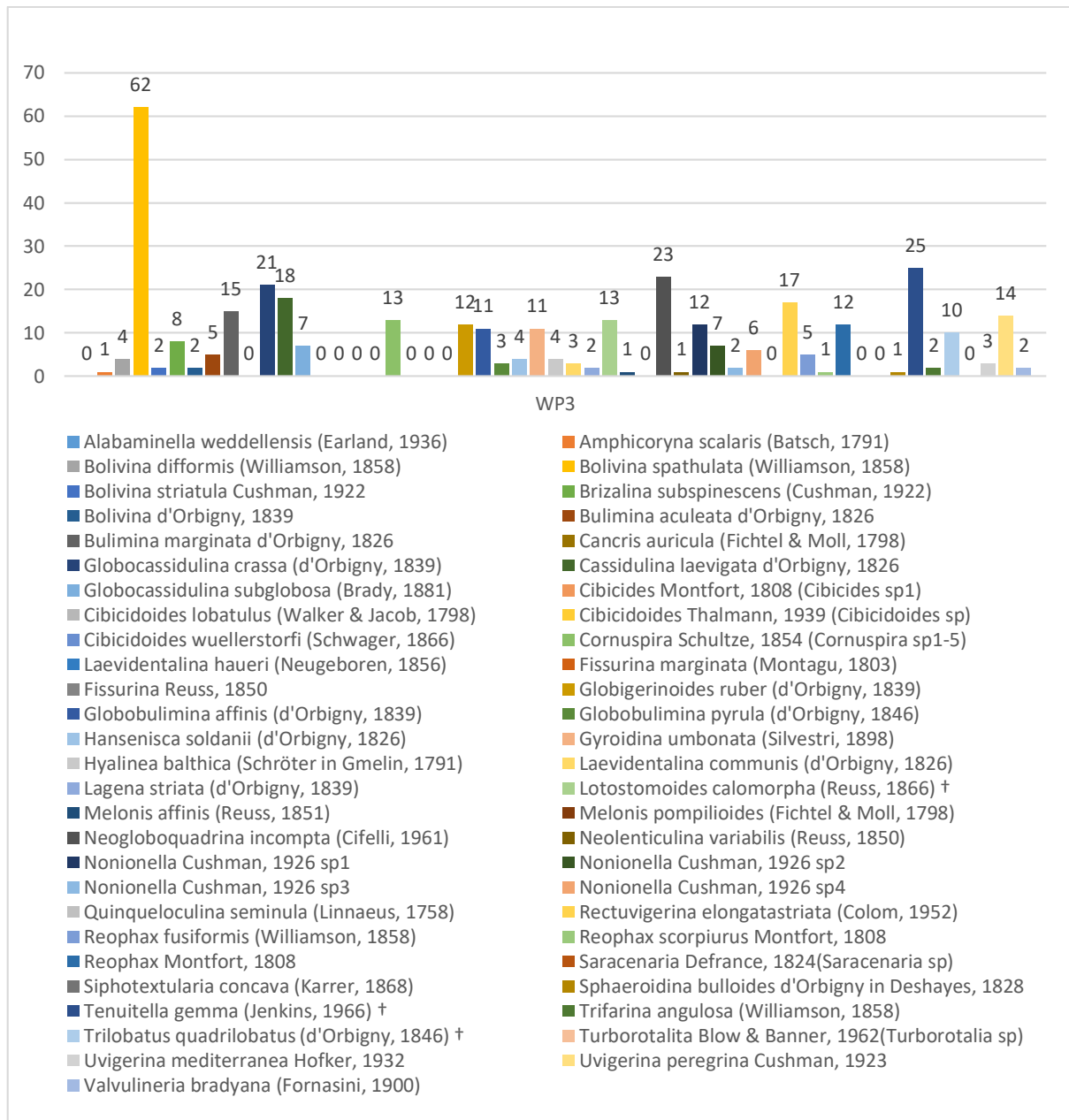


Figura 56: Diagrama de columnas de las especies de foraminíferos bentónicos en el WP3.



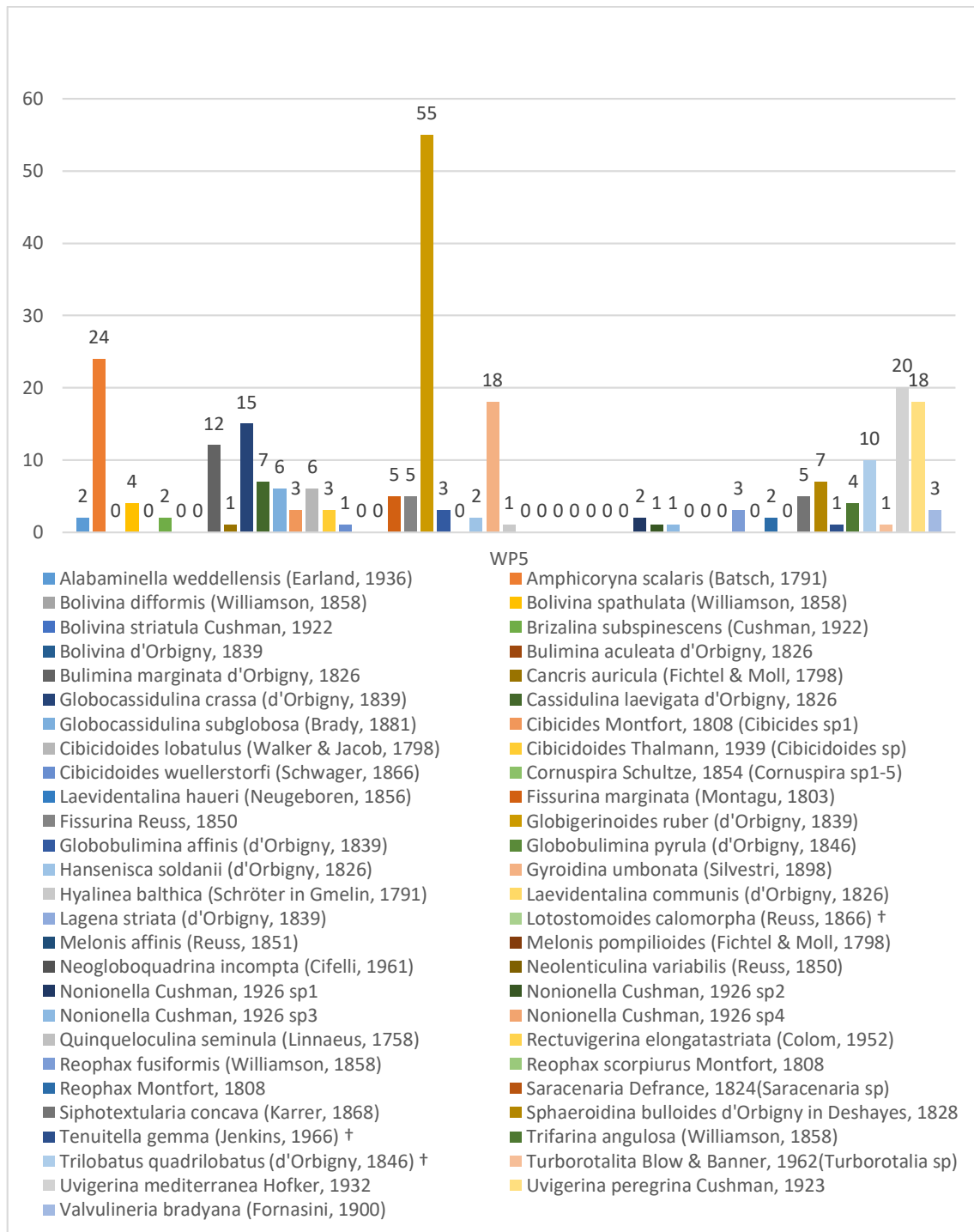


Figura 57: Diagrama de columnas de las especies de foraminíferos bentónicos en el WP5.

La presencia de las diferentes especies no coincide en algunos casos con la descrita en la GEBCO (2014) (Tablas 6 y 7).

En primer lugar, cabe destacar que las especies *Globobulimina pyrula* (d'Orbigny, 1846) y *Neogloboquadrina incompta* (Cifelli, 1961), *Tenuitella gemma* (Jenkins, 1966) no aparecen documentadas en España, según indica esta base de datos.

En segundo lugar, especies como *Globigerinoides ruber* (d'Orbigny, 1839) y *Gyroidina umbonata* (Silvestri, 1898), aparecen documentadas como “puntuales” en la zona del golfo de Cádiz, y muy frecuentes en aguas del Mediterráneo, cuando la proporción de individuos de esas especies en el WP5 es bastante superior a la de los WP2 y WP3.

Por otra parte, *Alabaminella weddellensis* (Earland, 1936), *Amphicoryna scalaris* (Batsch, 1791), *Fissurina marginata* (Montagu, 1803) están descritas en el Mediterráneo, pero no aparecen en el golfo de Cádiz. Sin embargo, en el presente estudio, *A. weddellensis* solo fue hallada en el WP5, *A. scalaris* tiene una la mayor proporción de individuos en ese punto, y *F. marginata* tiene una proporción tan alta de individuos en el WP2 como en el WP5.

Para terminar, otra discrepancia destacable con respecto a la base de datos GEBCO 2014 es la de las especies *Globigerina bulloides* d'Orbigny, 1826 y *Globigerina falconensis* Blow, 1959. Ambas están descritas como “presencia puntual” en todos los puntos, y sin embargo en este estudio se han encontrado una proporción de individuos mucho mayor respecto a otras especies descritas en la base de datos como “muy frecuentes”.

Probablemente, las discrepancias con la base de datos se deban a la antigüedad de la misma. Se utilizó esta base de datos como referencia, ya que de las disponibles en la WoRMS, era la más actual, estando disponibles también la base de datos NOAA ETOPO1 de 2008, y OBIS (*Ocean Biodiversity Information System*), cuyas observaciones no se actualizan en algunos casos desde 2005.

## 4.2 Caracterización de la columna de agua. Variables fisicoquímicas.

El CTD registró y representó los perfiles a tiempo real, por lo que los perfiles originales que se obtuvieron se muestran en las Figuras 58, 59, 60.

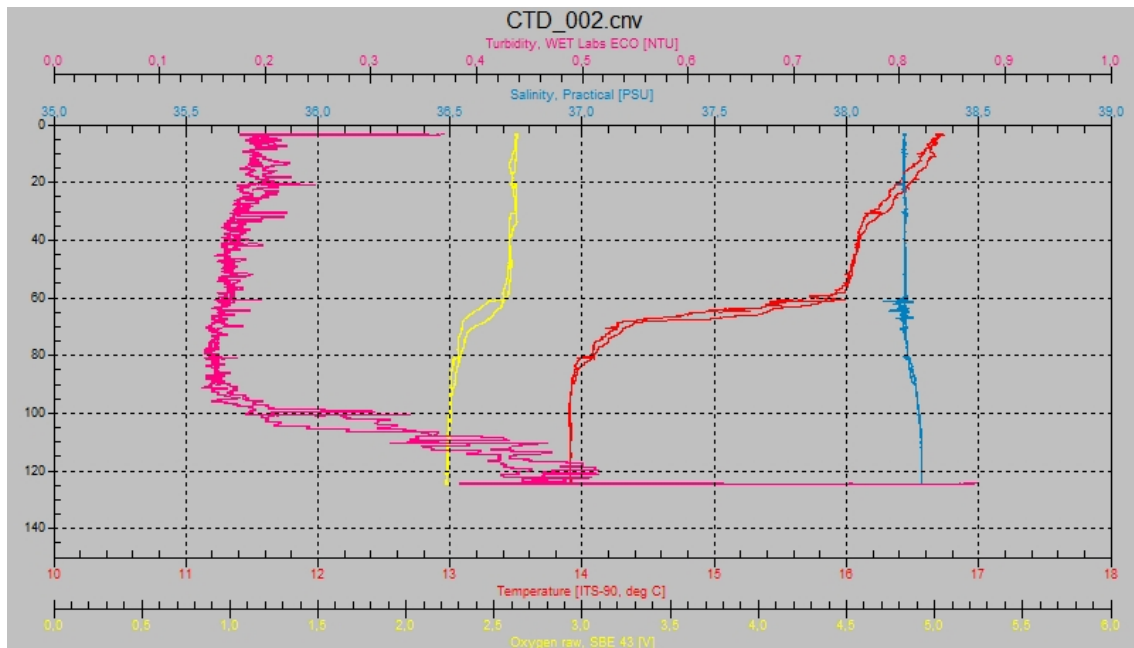


Figura 58: Perfiles de las variables fisicoquímicas registradas en el WP2

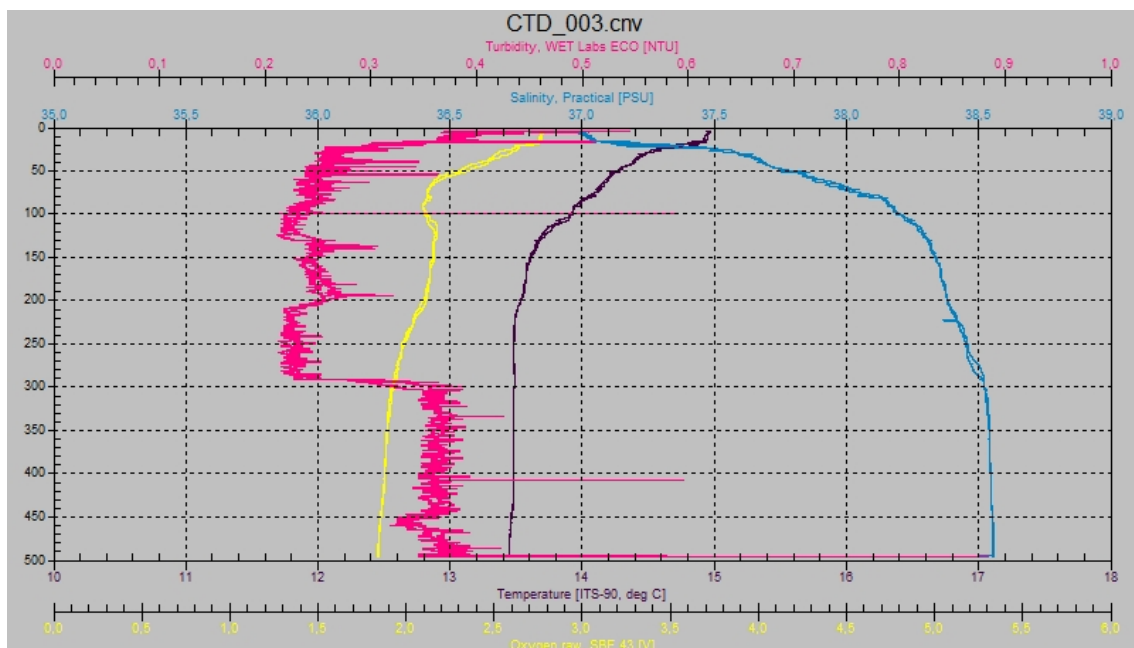


Figura 59: Perfiles de las variables fisicoquímicas registradas en el WP3

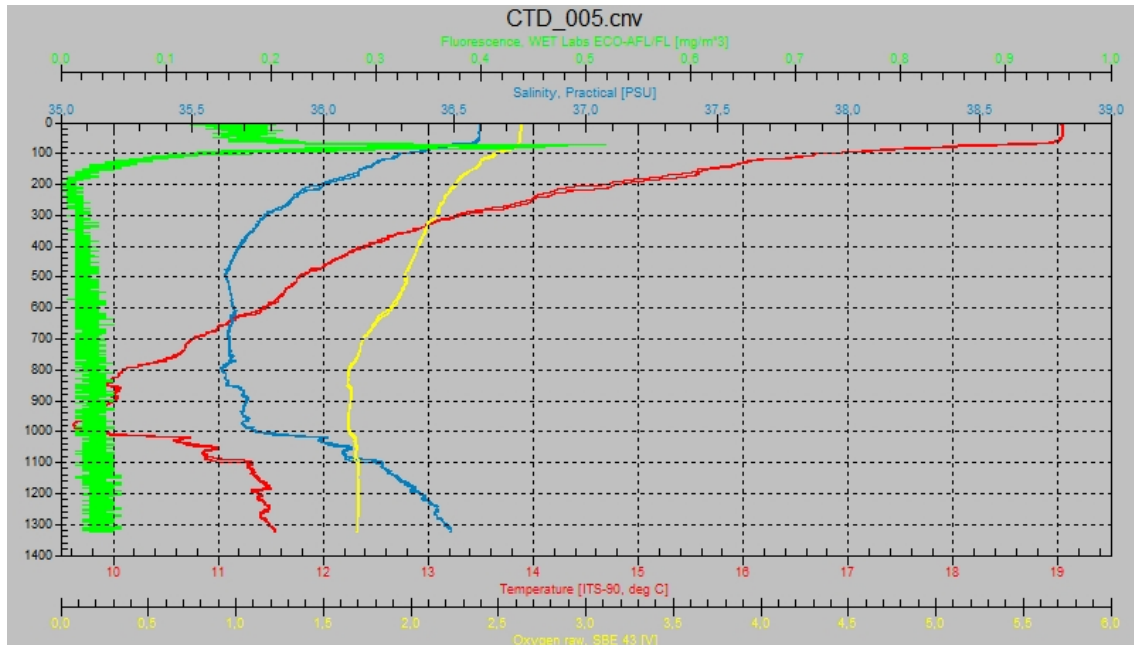


Figura 60: Perfiles de las variables fisicoquímicas registradas en el WP2

Los datos registrados en los tres puntos fueron representados con el software ODV (Schlitzer, 2018). Se muestra una vista combinada de las características de los tres puntos (Figura 61).

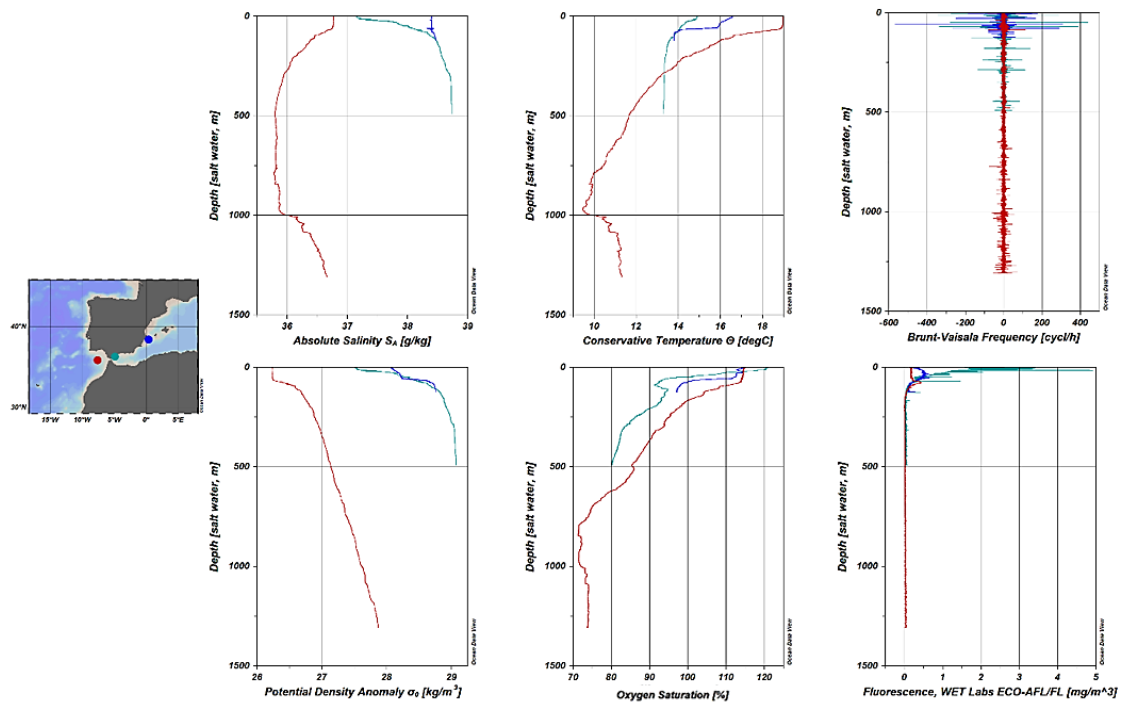


Figura 61: Representación de las variables fisicoquímicas registradas en el WP2 (azul oscuro), WP3 (turquesa) y WP5 (rojo). ODV (Schlitzer, 2018).

Desde el punto de vista de la salinidad absoluta, se observan valores elevados (38,3 g/kg) en el WP2 que se corresponden con los valores típicos del Mediterráneo. Los perfiles del WP2 y el WP3 confluyen en profundidad. En el estrecho de Gibraltar, tal y como describe Ballabrera (2014), la MW fluye en profundidad (por debajo de los 150m) en dirección al Atlántico, y la AW penetra en el mar Mediterráneo ocupando los primeros metros de la columna de agua. Este fenómeno también explica el incremento de salinidad con la profundidad que se aprecia en el WP3, que alcanza valores de 38,8 g/kg, propios de la LIW, mientras que en superficie refleja valores de salinidad inferiores, típicos de la AW (37g/kg) o la MAW (36,5 g/kg, (Millot, 1999). Por otra parte, el WP5, situado en el Atlántico, presenta valores en superficie de 36,7 g/kg, correspondientes con la AW, que presenta valores típicos de entre 36,5 y 37,5 g/kg, o con la alteración de la MW tras su paso por el Estrecho, con el que alcanza 36,5 g/kg. Estos valores disminuyen en profundidad hasta los 35,8g/kg, por la influencia de la NADW. La salinidad se mantiene estable hasta los 1000m, a partir de los cuales vuelve a aumentar hasta los 36,7 g/kg. Este aumento de salinidad puede deberse a la inyección de Agua Mediterránea en la NADW conocida como “meddies” (Tomczak y Godfrey, 2003).

En cuanto a la temperatura, el WP2 presenta valores en torno a 17°C en superficie, que disminuyen gradualmente hasta los 50m. Entre los 50 y los 100m, la temperatura disminuye drásticamente, desde los 15,6°C hasta los 13,8°C. Ese valor se mantiene constante hasta alcanzar el fondo. La disminución de temperatura puede deberse a la presencia de la WIW, con valores característicos de 12-13°C entre 100 y 300m (Balbín *et al.*, 2014). El WP3 por su parte presenta valores de entorno a los 14,8°C en superficie, que disminuyen gradualmente hasta los 190m, donde la temperatura es de 13,4°C, que también se mantiene en profundidad. El WP5 es el que más variación de temperatura refleja. En superficie, los valores registrados fueron en torno a los 19°C, que disminuyen en profundidad hasta alcanzar el mínimo de temperatura a los 970m, en el que se registraron 9,4°C. En torno a los 1000m, la temperatura vuelve a incrementarse hasta los 10,6°C. A 1100m de profundidad se alcanzan los 11°C, que se mantienen más o menos constantes hasta el fondo. A los 400m, aparecen valores de 12°C, que se corresponden con la llamada EMW, que sale del Estrecho con 13°C y disminuye su temperatura al mezclarse con la NADW, alcanzando valores de entre 11 y 12°C. La NADW es la que provoca el descenso de temperatura con la profundidad en el WP5.

La LIW (15°C y 39 psu, 300-500m) y la WIW (12,5°C-13°C y 37,9 – 38,3 psu) pueden confundirse en la interpretación. En épocas invernales, las WIW desplazan hacia abajo

a las LIW, situándose por encima de ellas a profundidades intermedias (Pinot *et al.*, 2002). Parece ser que este fenómeno es el reflejado en los valores del WP2.

Los perfiles que representan la frecuencia de Brunt-Väisälä muestran picos en los primeros 100m de profundidad, que pueden ser considerados como ruido. Obviando los valores atípicos o *outliers*, puede verse que la tendencia de los tres puntos está centrada en valores en torno a 0, que indican estabilidad neutra (Stewart, 2008). Las condiciones meteorológicas de los meses de invierno (actividad eólica, temporales y baja radiación solar) favorecen los procesos de mezcla y homogenización de la columna de agua, y por lo tanto valores bajos de Frecuencia de Brunt-Väisälä (Ramis y Monserrat, 1991). En el WP3, el giro de Alborán influye en la mezcla de aguas superficiales. Pese a ello, no se observa una homogenización acusada debido a la presencia de diferentes masas de agua con características propias. Los picos que se observan coinciden con eventos reseñables reflejados en los perfiles de las demás variables (por ejemplo, en el perfil del WP5, aparece un valor de -150 ciclos/h en torno a 970m, que coincide con el mínimo de temperatura mencionado anteriormente). Los datos históricos (Gouretski y Koltermann, 2004) y modalizados reflejan una estratificación más evidente en estos puntos.

Los perfiles de Anomalía de la Densidad Potencial reflejan la estabilidad vertical de los puntos de muestreo. En el WP2, los valores aumentan en el rango de los 28 kg/m<sup>3</sup>. En el WP3 se observa una variación más acusada, donde se pasa de los 27,5 kg/m<sup>3</sup> en la superficie, a los 29 kg/m<sup>3</sup> a 450m de profundidad. En el WP5, se pasa de los 26,2 kg/m<sup>3</sup> a los 27,8 kg/m<sup>3</sup>. Las variaciones coinciden con el aumento de salinidad en profundidad de los WP3 y 5, y los valores elevados de densidad en el WP2 coinciden con los valores de salinidad elevados registrados en ese punto. Si se comparan ambos perfiles (Anomalía de la Densidad Potencial y Salinidad Absoluta), puede observarse que muestran tendencias prácticamente idénticas.

La saturación de oxígeno en superficie en los tres puntos es muy elevada, con valores superiores al 100%. En el WP2, en torno a los 60m, la saturación de oxígeno desciende al 90%. En el WP3, a los 90m se registran valores del 80%, y a los 120 vuelve a haber un pico de oxígeno con una saturación del 90%. Conforme aumenta la profundidad, la saturación va disminuyendo hasta alcanzar el 70% a los 490m. En el WP5 hay un mínimo de saturación (60%) entre los 800 y los 1000m, tras lo cual aumenta ligeramente (65%) hasta llegar al fondo. La inyección de agua superficial en las capas más profundas

es la responsable del aumento del oxígeno en profundidad. También se relaciona con las altas salinidades en superficie (Tomczak y Godfrey, 2003).

La concentración de oxígeno disuelto es dependiente de la temperatura, ya que en aguas más cálidas la tasa de disolución será mayor (Bain y Stevenson, 1999). En el WP5, comparando los perfiles de Temperatura Conservativa y de Saturación de Oxígeno, puede observarse que comparten una tendencia similar.

La fluorescencia refleja la presencia de clorofila A, que a su vez se puede utilizar para estimar la biomasa planctónica y la productividad (Delgadillo Rodríguez *et al.*, 2016). En el WP2, hay un pico de fluorescencia a los 34m, de  $0,52 \text{ mg/m}^3$ . En el WP3 se aprecia un pico de productividad en superficie ( $5 \text{ mg/m}^3$ ) que contrasta con los bajos valores registrados en los demás puntos. Este pico se debe a que el punto está situado en una zona de afloramiento (Figura 62).

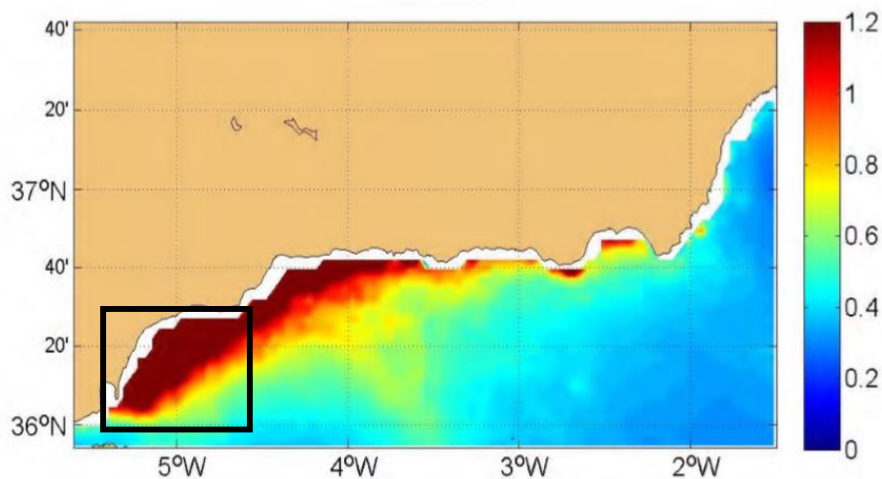


Figura 62: Clorofila A superficial promediada en el periodo 2002-2009 en la mitad norte del mar de Alborán. Las mayores concentraciones de clorofila se encuentran asociadas a las áreas costeras donde son más frecuentes los afloramientos. Fuente: IEO (2012), modificada.

Las zonas de afloramiento son aquellas en las que se produce un ascenso de agua subsuperficial que fertiliza las aguas superficiales. Además de la productividad, estos fenómenos se relacionan con ciertas características como pueden ser: temperatura baja, salinidad alta, oxígeno disuelto bajo y concentraciones de nutrientes elevado

Cabe mencionar que la medición de clorofila con el fluorómetro es más precisa y sensible que tomar muestras de agua y analizarlas con el espectrofotómetro, y puede ser utilizado en mediciones in situ (e in vivo), aunque en ocasiones sobre o bajo estima la concentración de clorofila A (Delgadillo Rodríguez *et al.*, 2016).

Se representó además la turbidez del agua en los tres puntos (Figura 63). Puesto que algunos foraminíferos son simbiotes con organismos fotosintéticos, la turbidez es un factor condicionante para la aparición de estas especies.

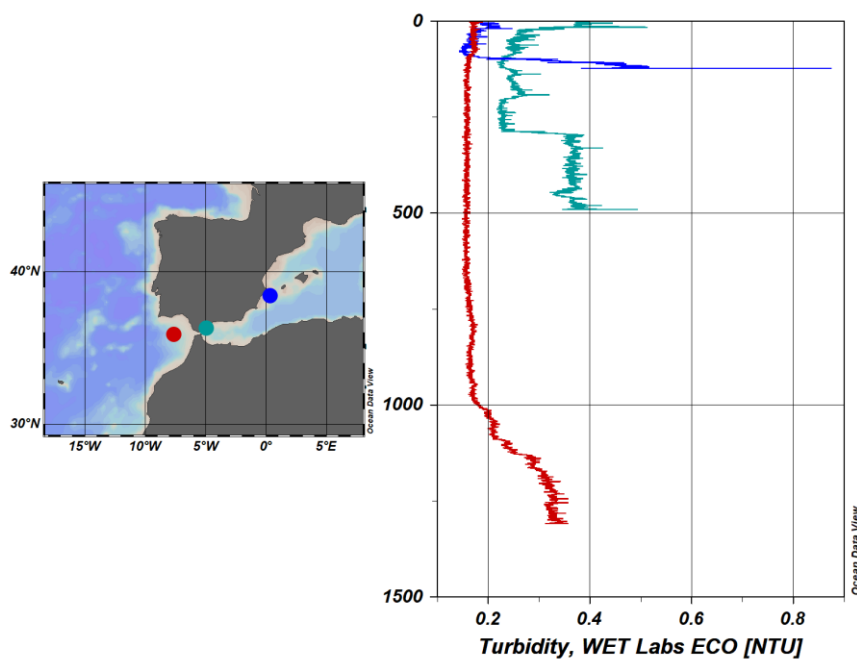


Figura 63: Representación gráfica de la turbidez en los tres puntos. ODV (Schlitzer, 2018).

En general, en los tres puntos los valores de turbidez son bajos, y aumentan ligeramente en profundidad. Esto probablemente se deba a la hidrodinámica del fondo.



### 4.3 Análisis estadístico. Distribución de especies.

El análisis estadístico se realizó a la asociación de foraminíferos bentónicos y planctónicos por separado.

Los resultados de la prueba  $\chi^2$  mostraron que la distribución de las especies no era homogénea en las tres zonas, tanto en los foraminíferos planctónicos (P-valor:  $2 \cdot 2e^{-16}$ ) como en los bentónicos (P-valor:  $<0,0001$ ).

Los resultados del conglomerado jerárquico de los foraminíferos planctónicos son:

**Matriz de distancias**

Caso	Archivo matricial de entrada		
	A	B	C
A	,000	4710,000	8226,000
B	4710,000	,000	4798,000
C	8226,000	4798,000	,000

Figura 64: Conjunto de datos para el Conglomerado Jerárquico. Matriz de distancias.

**Historial de conglomeración**

Etapa	Conglomerado que se combina		Coeficientes	Etapa en la que el conglomerado aparece por primera vez		Próxima etapa
	Conglom erado 1	Conglom erado 2		Conglom erado 1	Conglom erado 2	
	1	1		2	2355,000	
2	1	3	5911,333	1	0	0

Figura 65: Vinculación de Ward. Historial de conglomeración.

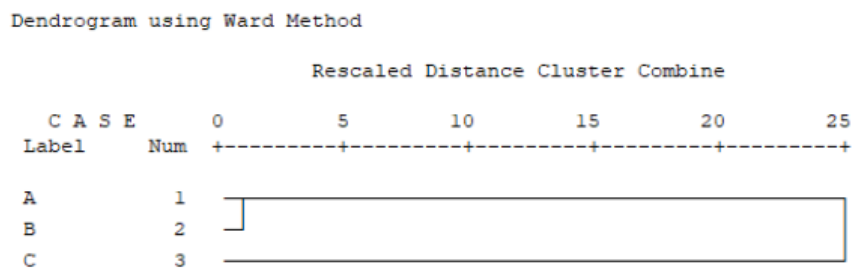


Figura 66: Dendrograma. Distancia de semejanza.

Los resultados del conglomerado jerárquico de los foraminíferos bentónicos son:

**Matriz de proximidades**

Entrada de archivo matricial

Caso	A	B	C
A	,000	8754,000	10066,000
B	8754,000	,000	8640,000
C	10066,000	8640,000	,000

Figura 67: Conjunto de datos para el Conglomerado Jerárquico. Matriz de distancias.

**Historial de conglomeración**

Etapa	Clúster combinado		Coeficientes	Primera aparición del clúster de etapa		Etapa siguiente
	Clúster 1	Clúster 2		Clúster 1	Clúster 2	
1	2	3	4320,000	0	0	2
2	1	2	9153,333	0	1	0

Figura 68: Vinculación de Ward. Historial de conglomeración.

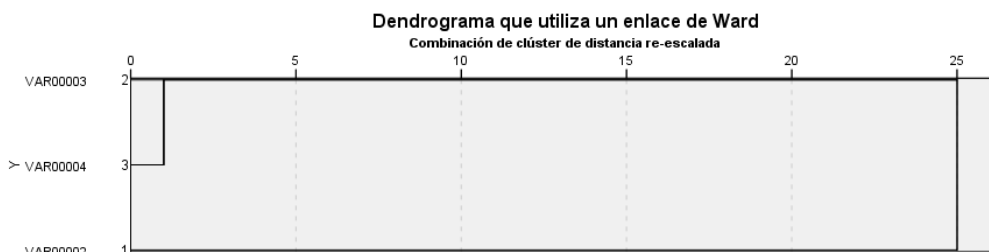


Figura 69: Dendrograma. Distancia de semejanza.

Los resultados del conglomerado jerárquico (Figuras 64-66) de foraminíferos planctónicos muestran que los datos del WP2 y el WP3 son similares, y ambos muy diferentes de los del WP5. Los resultados del conglomerado jerárquico (Figuras 67-69) de los foraminíferos bentónicos muestran que los datos del WP3 y WP5 son muy similares, y ambos muy diferentes del WP2. En cuanto a los resultados para las asociaciones de foraminíferos planctónicos, reflejó una alta semejanza entre los puntos WP2 y WP3, y una gran diferencia de ambos puntos con respecto al WP5.

Posteriormente se realizó un test de proporciones por parejas para comprobar la distribución de los foraminíferos por zonas. Los resultados de la asociación bentónica se muestran en la Tabla I.1 (Anexo), y los de la asociación planctónica se muestran en la Tabla I.2 (Anexo). Los resultados están ordenados y agrupados en función de la distribución.

En cuanto a los foraminíferos bentónicos, 29 especies tienen distribución homogénea. Las otras 20 especies tienen distribución no homogénea, de las cuales:

- Tres especies tienen una proporción homogénea en el WP2 y WP3, y que es menor que la proporción en el WP5.
- Una especie tiene una proporción homogénea en el WP2 y WP3, y que es mayor que la proporción en el WP5.
- Cinco especies tienen una proporción homogénea en el WP2 y WP5, y que es menor que la proporción en el WP3.
- Tres especies tienen una proporción homogénea en el WP2 y WP5, y que es mayor que la proporción en el WP3.
- Una especie tiene una proporción homogénea en el WP3 y WP5, y que es mayor que la proporción en el WP2.
- Cuatro especies tienen una proporción homogénea en el WP3 y WP5, y que es menor que la proporción en el WP2.
- Una especie tiene una proporción menor en el WP2 que en el WP3, y este a su vez menor que en el WP5.
- Una especie tiene una proporción menor en el WP2 que en el WP3, y este a su vez menor que en el WP5.
- Una especie tiene una proporción menor en el WP5 que en el WP2, y este a su vez menor que en el WP3.

En total, hay 5 especies que mantienen la premisa del Análisis de conglomerados que dice que WP3 y 5 son muy similares, y ambos muy diferentes del WP2.

López-Belunze *et al.*, (2014) concluyeron que las asociaciones de foraminíferos bentónicos dependían de las características del sustrato, y no tanto de las condiciones fisicoquímicas del agua. Este podría ser el motivo por el que el Análisis de Conglomerados Jerárquicos de los foraminíferos bentónicos (Figura 69) asoció las muestras del WP3 y del WP5, y no encontró apenas semejanzas con el WP2.

Por el contrario, el test de proporciones reflejó que 29 especies demostraron presentar una distribución homogénea, lo que concuerda con los datos obtenidos de EMODNET (Figuras 11, 12, 22, 23, 32, 33), sobre materiales con dominancia de arenas fangosas. Sin embargo, cabe destacar que parece que en el WP2 hay más material arenoso, y que en el WP3 y 5 predominan más los fangos, lo que podría justificar el resultado del Análisis de Conglomerados.

En cuanto a los resultados para las asociaciones de foraminíferos planctónicos, el Análisis de Conglomerados (Figura 66) reflejó una alta semejanza entre los puntos WP2 y WP3, y una gran diferencia de ambos puntos con respecto al WP5. Esto podría deberse a que los dos primeros puntos se encuentran en aguas mediterráneas, mientras que el último punto se localiza en el Atlántico, a mayor profundidad.

El test de proporciones (Tabla I.2) de foraminíferos planctónicos reveló que 5 especies se distribuyen de manera homogénea entre los tres puntos, y que 8 especies tienen una distribución no homogénea, de las cuales:

- Cuatro especies tienen una proporción homogénea en el WP2 y WP3, y que es menor que la proporción en el WP5.
- Una especie tienen una proporción homogénea en el WP2 y WP5, y que es menor que la proporción en el WP3.
- Una especie tienen una proporción homogénea en el WP2 y WP5, y que es mayor que la proporción en el WP3.
- Una especie tienen una proporción homogénea en el WP3 y WP5, y que es menor que la proporción en el WP2.
- Una especie tiene una proporción mayor en el WP2 que en el WP3, y este a su vez mayor que en el WP5.

En este caso hay más especies con distribución no homogénea, y de ellas, predominan aquellas especies con distribución homogénea en los puntos WP2 y WP3, diferente del WP5, lo que coincide con los resultados del Análisis de Conglomerados.

Asimismo, los resultados del test de proporciones para comprobar la variación de las características fisicoquímicas registradas también se muestran en el Anexo (Tablas I.3 y I. 4). Indican que no hay variaciones significativas de las condiciones fisicoquímicas del agua. La única diferencia significativa se ve en los valores de turbidez de los primeros 50m en la columna de agua. La turbidez tiene la misma proporción en el WP2 y el WP5, que es inferior a la proporción del WP3. Esto coincide con la información mostrada en los perfiles (Figura 61), donde los valores de fluorescencia eran más acusados en este punto. Se debe a que una mayor fluorescencia indica mayor proporción de clorofila A, y por lo tanto mayor biomasa planctónica (Delgadillo Rodríguez *et al.*, 2016).

Pese a esta coincidencia, el estudio estadístico de la variabilidad de las condiciones fisicoquímicas no debe tenerse muy en cuenta, ya que a pesar de que los valores no muestran diferencias significativas estadísticamente hablando, son valores que pertenecen a masas de agua muy diferentes, y que podrían tener implicaciones en la distribución de los foraminíferos planctónicos. Un test de proporciones puede no ser la prueba idónea para determinar la diferencia significativa de las condiciones ambientales.

En cuanto a la correlación de parámetros con la asociación de foraminíferos, Miró (1971) indicó que los foraminíferos planctónicos no tienen movimiento propio y habitan en capas de agua con determinadas características físico-químicas, por lo que se puede conocer la preferencia o resistencia de algunas especies con respecto a los diversos parámetros ambientales como la temperatura, la salinidad, tipo de sedimento, materia orgánica, oxígeno o los nutrientes (Murray, 2001).

Se ha estudiado la relación de foraminíferos con parámetros como la temperatura superficial (Sejrup *et al.*, 2004), la salinidad (Leorri y Cearreta, 2009), la profundidad (Hayward 2004; Horton *et al.*, 2007; Rossi y Horton 2009; Milker *et al.*, 2011) y con el relieve marino (Horton y Edwards, 2006; Callard *et al.*, 2010; Leorri *et al.*, 2010; Kemp *et al.*, 2013). Esto ocurre tanto en zonas costeras como en la plataforma oceánica (Benito, *et al.*, 2016).

Estudios de foraminíferos recientes llevados a cabo en el mar Adriático muestran que las variaciones en productividad y en temperatura no tienen efecto sobre la ratio de profundidad / porcentaje de foraminíferos planctónicos descrito por Van der Zwaan *et al.*, (1990), y que, por lo tanto, el efecto de la variación de las características fisicoquímicas del agua está subordinado al efecto de la profundidad.

Sin embargo, otros autores como Blanco *et al.* (2017) demostraron diferencias marcadas entre las variables abióticas y bióticas y las especies dominantes en cada período, en los mismos puntos de profundidad, tras realizar estudios de variación anuales. Blanco *et al.* (2017) constataron además diferencias anuales en la abundancia de los organismos, siendo mayor en los meses de octubre y noviembre, e inferior en mayo-abril.

La abundancia tanto de los foraminíferos planctónicos como los bentónicos parece estar influenciada en gran medida por la disponibilidad de nutrientes. Otros factores como la temperatura, la salinidad, el sustrato y los patrones de circulación también juegan un

papel fundamental en la distribución, pero en la mayoría de los casos estas condiciones están subordinadas a la presencia de alimento disponible (Van der Zwaan *et al.*, 1990; Pearson y Rosenberg, 1987).

La productividad en distintas estaciones del año (verano-invierno) ha sido tema de estudio de los foraminíferos planctónicos actuales (Pujol y Vergnaud Grazzini, 1995). Algunos fenómenos como el *upwelling* debido a las corrientes del Atlántico se han podido observar gracias al estudio de los foraminíferos planctónicos vivos, dado que este efecto afecta a la productividad en distintos periodos del año (Bárcena *et al.*, 2004).

Otros estudios sobre los niveles de productividad, eutrofización del medio y cambios estacionales, han sido estudiados por Hernández-Almeida *et al.* (2011). Al igual que Bazzicalupo *et al.* (2018) que estudiaron las dinámicas hidrológicas, productividad, temperaturas, etc.

González-Donoso *et al.*, (2000), utilizan en su estudio los diferentes porcentajes de especies planctónicas a lo largo del año, para inferir las diferencias de temperatura entre el verano y el invierno. González-Mora *et al.* (2008) observaron el límite de calcificación de las conchas en dos especies actuales de foraminíferos planctónicos, relacionándolo con la temperatura del medio.

También hay estudios realizados con foraminíferos bentónicos. Sánchez-Ariza (1983) calculó índices de diversidad y su relación con la profundidad en las zonas costeras de Motril y Nerja (Málaga), en el área del Mar de Alborán. En esa misma área, a partir de la fauna de foraminíferos bentónicos en los alrededores de la isla de Alborán, Milker *et al.* (2009) identificaron, según las especies presentes y el tamaño de grano del sedimento, el ambiente en el que vivían estas especies. Van der Zwaan y Jorissen (1989) sugirieron que los géneros bentónicos *Bulimina* d'Orbigny, 1826; *Globobulimina* Cushman, 1927; *Bolivina* d'Orbigny, 1839; *Uvigerina* d'Orbigny, 1826 y *Fursenkoina* Loeblich & Tappan, 1961 comparten un hábitat infaunal y no dependen directamente del aporte de materia orgánica que precipita de la columna de agua. Propusieron que tenían una alimentación sedimentívora, por lo que podrían alcanzar proporciones elevadas a profundidades de entre 50 y 800m. Esto coincide con los resultados del presente estudio, ya que estos géneros suponen el 30% de los individuos encontrados.

Murray (1991) señala que en aquellas zonas donde el sustrato es fangoso, aparecen los géneros *Cassidulina* d'Orbigny, 1826, *Bulimina* y *Bolivina*. En este estudio el material es fangoso y las asociaciones mayoritarias pertenecen a estos géneros.

Analizando los resultados por zonas, en el Atlántico los estudios de asociaciones de foraminíferos bentónicos vivos son escasos, ya que los caparazones bentónicos tienen una ínfima representación respecto a los planctónicos en sedimentos de aguas profundas (Murray, 1991).

Mackensen *et al.* (1985) y Murray (1991) observaron que la presencia de *Cibicides lobatulus* (ahora género *Cibicidoides*), *Uvigerina peregrina* y *Trifarina angulosa* se correlacionaba con sustratos arenosos y con la NAW (*North Atlantic Water*). En el presente estudio, las muestras se tomaron en fondos de arena fangosa y la presencia de estas tres especies coincide con la descripción de Mackensen *et al.*, (1985): *Cibicidoides lobatulus* se encontró únicamente en el WP5 (10 ejemplares), *T. angulosa* se halló en la misma proporción en el WP3 y WP5 (10 ejemplares) y *U. peregrina* se registró en el WP3 y el WP5 (2 y 3 ejemplares). La presencia de estas especies en aguas mediterráneas (WP3) podría explicarse debido a la influencia de las aguas atlánticas que penetran por el Estrecho. Estudios sobre tanatocenosis del mismo autor establecen que las distribuciones de *C. lobatulus* y *U. peregrina* están considerablemente extendidas por el talud, que también fue el área de muestreo del WP3 y WP5. *Uvigerina peregrina* también se correlaciona con sedimentos ricos en carbono orgánico (Lutze y Coulbourn 1984; Coulbourn y Lutze, 1988) aunque comúnmente se piensa que habita aguas de bajo contenido de oxígeno. Esta información no pudo ser contrastada completamente, puesto que no se realizaron pruebas complementarias en el sedimento de las muestras. El porcentaje de saturación de oxígeno en los dos puntos donde se hallaron individuos de esta especie fue 80% y 73%, lo cual no se considera un contenido bajo en oxígeno, pero habría que realizar una determinación de materia orgánica en el sedimento.

En el talud también está descrita la presencia de *Melonis barleeaanum* (ahora *M. affinis*), correlacionada con la presencia de sedimentos fangosos que contenían 15-30% de CaCO<sub>3</sub>, a profundidades de 600 y 1200m, además de *Cassidulina laevigata*. En este estudio, ambas especies se han encontrado en aguas tanto atlánticas como mediterráneas. Pese a que la presencia en el WP2 y el WP3 no coincide con el rango de profundidades habituales descrita para estas especies, el sedimento en estos puntos es fango o arenas fangosas, el hábitat habitual de las mismas (Mackensen *et al.*, 1985). Otros estudios establecen que la asociación de *M. barleeaanum* se extiende desde el Mar de Noruega hasta el noroeste de África en un rango de temperatura de -0.5 a 9 °C, un rango de profundidad de 466-2710 m. Mackensen *et al.*, (1985) consideran que el sustrato es el factor determinante y Weston y Murray (1984) observaron que era abundante en áreas de corrientes de fondo activas. El rango de temperaturas tampoco

coincide con el descrito por otros autores, lo que sugiere que *M. barleeenum* es una especie eurioica en cuanto a distribución en profundidad y condiciones ambientales, y que su presencia está condicionada por el sustrato. Esto coincide con lo publicado en López-Belzunce (2014) y Usera y Blázquez, (1997).

*Cassidulina laevigata* también aparece descrita en la plataforma exterior, y en aguas mediterráneas (Murray, 1991). Del mismo modo, *Uvigerina mediterranea* se ha hallado en la plataforma exterior y en el talud, tanto en aguas atlánticas como en aguas mediterráneas. En este estudio *U. mediterranea* tiene distribución homogénea en el WP2 y 5, y una proporción menor en el mar de Alborán.

Los foraminíferos algutinados como los pertenecientes al género *Reophax* se asocian con las aguas cálidas de la NAW (Murray, 1991).

En cuanto a organismos descritos en estudios realizados en aguas mediterráneas también se han encontrado y establecido asociaciones entre las especies y las condiciones ambientales.

*Globocassidulina subglobosa* puede mostrar una correlación con la MW (*Mediterranean Water*) (Weston, 1985) como sugieren las condiciones registradas de temperatura (4-9°C) y salinidad (>35‰), pero también podría estar relacionada con el agua pobre en oxígeno (Lutze, 1980). Sin embargo, esta última afirmación no parece ser muy adecuada, ya que el rango de profundidad descrito para esta especie es amplio (377-4095 m) (Murray, 1991). En este estudio, se hallaron ejemplares en aguas mediterráneas (23), aunque también se hallaron en el golfo de Cádiz (6). Esto puede deberse a la influencia de la MW que fluye a través del Estrecho.

El Mediterráneo tiene un papel como área re-mineralizadora, y un comportamiento concentrador, ya que la alcalinidad total es superior a la del Atlántico (Rivaro *et al.*, 2010). La alcalinidad total y la salinidad están altamente relacionadas (correlación positiva) en el Mediterráneo occidental, de acuerdo con la siguiente relación ( $AT = 95.25 S - 1089.3 \mu\text{molkg}^{-1}$ ) (Rivaro *et al.*, 2010; Touratier y Goyet, 2009). Es por ello que la riqueza del Mediterráneo destaca sobre otros ambientes.

Con respecto a los organismos planctónicos, *G. bulloides* presenta máximos de abundancia en invierno, ya que es una de las pocas especies que prosperan cuando los procesos bruscos de mezcla vertical afectan al ambiente. A medida que las aguas se van estratificando, la diversidad va aumentando (Domingo de Miró, 1971).



Según este autor, la distancia a la costa parece afectar a las especies predominantes en el área. En niveles someros (hasta 200-400m de profundidad), se establece que son características de aguas costeras: *G. bulloides* y *O. universa*. Pertenecen a las aguas oceánicas especies como *G. ruber* y *G. glutinata*. A niveles profundos (más de 400m), son características especies como *T. quinqueloba*, relacionadas con aguas frías y profundidades de en torno a los 700m. También son características de zonas frías *Globorotalia truncatulinoides*, *Globigerina falconensis*, *Globoconella hirsuta*, *Globoconella inflata*, *Globigerinella sp.* y *Globigerinita glutinata* (Li et al., 1998). En este estudio se ha encontrado una mayor proporción de individuos de estas especies en aguas atlánticas, confirmando la información citada.

A modo de resumen, se puede establecer que:

Estudios anuales como el llevado a cabo por Blanco *et al.*, (2016) sugieren que la abundancia de foraminíferos mostraba diferencias temporales, pero se mantenía constante en la vertical.

Sin embargo, Miro (1971) y Miller (2004) apuntan que las poblaciones de foraminíferos varían mucho durante el año, tanto en cantidad como las especies que las componen y el grado de organización del sistema. Casanova *et al.*, (2007) establecen que la presencia de los foraminíferos en la columna de agua se debe a un proceso de circulación vertical, además de la interacción con depredadores, exposición al oleaje y la complejidad del hábitat y finalmente a la diversidad de recursos y tolerancia fisiológica (Chavanich y Wilson, 2000).

Es decir, la asociación de foraminíferos planctónicos encontrada en un lugar y momento determinados es el producto de una interacción compleja entre factores biológicos y factores físico-químicos (Hemleben *et al.*, 1989). Entre los factores biológicos, complejos de medir, se encuentran la disponibilidad de alimento, la depredación, la reproducción y la presencia de simbiosis. Este último factor parece ser el más determinante en cuanto a la distribución de los foraminíferos planctónicos, puesto que condiciona su posición dentro de la columna de agua, ya que muchos de estos simbiosis son fotosintéticos, por lo que están restringidos a la zona fótica (Be y Hutson 1977; Hemleben *et al.*, 1989).

Por lo tanto, intentar correlacionar los cambios en la abundancia de las especies de foraminíferos con las variaciones de un factor ecológico/biológico particular es muy difícil debido a la complejidad en la interacción de los factores que los controlan (Arenillas, 2011).

Además, como ya ha comentado anteriormente, la sinonimia entre especies y las variaciones morfológicas durante los diferentes estadios dificultan la identificación de las especies.

Por último, debido a la declaración del Estado de Alarma para la gestión de la situación de crisis sanitaria ocasionada por el COVID-19 (Real Decreto 463/2020, de 14 de marzo) (España, 2020), las identificaciones de los individuos tuvieron que ser supervisadas a través de fotografías, por lo que se pudo omitir algún detalle clave que implicase la asociación de un individuo a otro grupo taxonómico.

## 5. CONCLUSIONES.

### 1. Colección de foraminíferos

- Hay una proporción mayor de foraminíferos bentónicos que planctónicos.
- Planctónicos: el WP5 es el que presenta mayor riqueza de especies. Las especies mayoritarias son: *G. siphoniphera*, *G. falconensis* y *G. bulloides*.
- Bentónicos: todos los puntos son homogéneos en cuanto al número de especies diferentes. El WP2 es el que tiene mayor proporción de individuos. Las especies mayoritarias son: *G. crassa*, *B. aculeata*, *B. marginata*, *B. spathulata* y *G. ruber*.

### 2. Variables ambientales:

- Salinidad:
  - WP2: valores típicos de la MW (38'5 g/kg) y la LIW (38'8g/kg).
  - WP5: valores típicos de la AW (37g/kg) y la NADW (35'5g/kg)
  - WP3: confluencia de las aguas de ambos puntos.
- Temperatura:
  - WP2: paso de 17°C en superficie a 13'8°C en profundidad.
  - WP3: paso de 14'8°C en superficie a 13'4°C en profundidad.
  - WP5: paso de 19°C en superficie a 9'8°C en profundidad.
- Frecuencia de Brunt-Väisälä: Valores en torno a 0 indican estabilidad neutra de la columna de agua.
- Oxígeno disuelto: Saturación del 100% en superficie en todos los puntos.
  - WP2: saturación en profundidad de 90%.
  - WP3: saturación en profundidad de 80%.
  - WP5: saturación en profundidad de 70%.
- Fluorescencia: sólo es reseñable un pico en el WP3, correspondiente con una posible zona de afloramiento.
- Turbidez. Valores muy bajos. Aumenta ligeramente en el fondo.

### 3. Análisis estadístico de correlación entre especies y variables.

- La distribución de especies entre los tres puntos no es homogénea.
- El patrón de distribución de los organismos planctónicos es (WP2=WP3) ≠ WP5.
- En los organismos planctónicos, 5 especies tienen distribución homogénea y 8 especies distribución no homogénea, de las cuales 4 siguen el patrón de distribución descrito.
- El patrón de distribución de los organismos bentónicos es (WP3=WP5) ≠ WP2.
- En los organismos bentónicos, 29 especies tienen distribución homogénea y 20 especies distribución no homogénea, de las cuales 5 siguen el patrón de distribución descrito.
- Las variables fisicoquímicas son estadísticamente homogéneas, pero las variaciones afectan en gran medida a la presencia y distribución de las especies planctónicas.
- La presencia y distribución de las especies bentónicas depende del sustrato y no tanto de las condiciones fisicoquímicas del agua.
- La asociación de foraminíferos planctónicos encontrada en un lugar y momento determinados es el producto de una interacción compleja entre factores biológicos y factores físico-químicos, por lo tanto, intentar correlacionar los cambios en la abundancia de las especies de foraminíferos con las variaciones de un factor ecológico/biológico particular es muy difícil debido a la complejidad en la interacción de los factores que los controlan.

## 6. LÍNEAS FUTURAS.

Como líneas futuras, sería interesante reproducir el estudio tomando un mayor número de muestras a diferentes profundidades, y un mayor número de estaciones. Se analizarían los datos cuantitativamente, calculando los índices de diversidad (Shannon y Wiener, 1949), equitatividad, test de Fisher's alpha (Fisher *et al.*, 1943) y otros índices descritos y utilizados por Bellier *et al.*, (2010) Además, idealmente, habría que realizar un muestreo anual para realizar un seguimiento de la variación de las poblaciones de foraminíferos con respecto a la variación de los valores de las diferentes características fisicoquímicas.

Como análisis extra, en estas muestras se podría estudiar además la fracción de tanatocenosis para comprobar la semejanza o diferencia de ambas fracciones, y así dilucidar los efectos del transporte.

## 7. BIBLIOGRAFÍA.

Alley, R. B., Meese, D. A., Shuman, C. A., Gow, A. J., Taylor, K. C., Grootes, P. M., White, J. W. C., Ram, M., Waddington, E. D., Mayewski, P. A. and Zielinski, A. G. A., (1993). Abrupt increase in Greenland snow accumulation at the end of the Younger Dryas event. *Nature* 362, 527-529. <https://doi.org/10.1038/362527a0>

Angell, R.W., (1980) Test morphogenesis (chamber formation) in the foraminifer *Spiroloculina hyalina* Schulze. *Journal of Foraminiferal Research*, 10, 89–101.

Arenillas, I., (2011). Análisis paleoecológico de foraminíferos planctónicos del tránsito Daniense-Selandiense en el Tetis y sus implicaciones taxonómicas. *Rev. Española Micropaleontol.* 43 (1-2): 55-108

Bain, M.B. & N.J. Stevenson (ed.), (1999). Aquatic habitat assessment: common methods. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.

Balbín, R., J.L. López-Jurado, J. L., (1995) An introduction to the western mediterranean water masses and oceanic circulation.

Balbín, R., López-Jurado, J.L., Aparicio-González, A., Serra, M., (2014). Seasonal and interannual variability of dissolved oxygen around the Balearic Islands from hydrographic data. *Journal of Marine Systems*, 138, pp. 51-62. Doi: 10.1016/j.jmarsys.2013.12.007

Balbín, R., López-Jurado, J.L., Flexas, M.M., Reglero, P., Vélez Velchí, P., González-Pola, C., Rodríguez, J.M., García, A., Alemany, F., (2014). Interannual variability of the early summer circulation around the Balearic Islands: Driving factors and potential effects on the marine ecosystem. *Journal of Marine Systems*, 138, pp. 70-81. DOI: 10.1016/j.jmarsys.2013.07.004

Ballabrera, J., (2014). Circulación oceánica y Clima. Módulo I: Motores de la Biosfera. Capítulo 14. El Mar Mediterráneo. Máster Cambio Global. Institut de Ciències del Mar, CSIC, Barcelona. Disponible en: [https://imedea.uib-csic.es/master/cambioglobal/Modulo\\_I\\_cod101601/clases\\_Ballabrera\\_2010/Modulo-I.1.3.14.pdf](https://imedea.uib-csic.es/master/cambioglobal/Modulo_I_cod101601/clases_Ballabrera_2010/Modulo-I.1.3.14.pdf) [Consulta: 28-04-2020].

Ballester, A., y Zavatti, J., (1983). Aspectos químicos del afloramiento de Alborán. Resultados del Proyecto 793020 del Comité Hispano-Norteamericano CHN: 334-355.

Ballesteros, M., Rivera, J., Muñoz, A., Muñoz-Martín, A., Acosta, J., Carbó, A., Uchupi, E., (2008). Alboran Basin, southern Spain-Part II: Neogene tectonic implications for the orogenic float model. *Marine and Petroleum Geology* 25, 75-101.

Bárcena, M.A., Flores, J.A., Sierro, F.J., Perez-Folgado, M. Fabres, J., Calafat, A., Canals, M., (2004). Planktonic response to main oceanographic changes in the Alboran Sea (Western Mediterranean) as documented in sediment traps and surface sediments. *Marine Micropaleontology*. Vol. 53, 3-4, pp: 423-445.

Be, A. W. H. y Hutson, W. H., (1977). Ecology of planktonic foraminifera and biogeographic patterns of life and fossil assemblages in the Indian Ocean. *Micropaleontology*, 23: 369-414

Bellier, J.P., Mathieu, R. y Granier, B., (2010). Short Treatise on Foraminiferology (Essential on modern and fossil Foraminifera) [Court traité de foraminiférologie (L'essentiel sur les foraminifères actuels et fossiles)].- Carnets de Géologie - Notebooks on Geology, Brest, Book 2010/02 (CG2010\_B02), 104 p., 15 figs, 10 pls.

Benito, X., Trobajo, R., Cearreta, A., Ibáñez, C., (2016). Benthic foraminifera as indicators of habitat in a Mediterranean delta: Implications for ecological and palaeoenvironmental studies. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. doi: 10.1016/j.ecss.2016.06.001.

Berger, W.H. y Diester-Haass, L., (1988). Paleoproductivity: the benthic/planktonic ratio in foraminifera from the western continental shelf of Western Australia. *Contrib. Cushman Found. Foraminiferal Res.*, 20:119-138.

Bett, B. J., (2001). UK. Atlantic Margin Environmental Survey: introduction and overview of bathyal benthic ecology. *Continental Shelf Research* 21, 917-956.

Bizziaculpo, P., Maiorano, P., Girone, A., Marino, M. Combourieu-Nebout, N., Incarbona, A., (2018). High-frequency climate fluctuations over the last deglaciation in the Alboran Sea, Western Mediterranean: Evidence from calcareous plankton assemblages. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Volume 506, 1 October 2018, Pages 226-241

Blanco, A., Márquez, B., Díaz-Díaz, O., (2017). Abundancia y distribución de los foraminíferos planctónicos, en la ensenada de Turpialito, golfo de Cariaco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela*, 55 (2): 60-71.

Blázquez Morilla, A., (1999). Geomorfología continental y submarina del espacio costero entre Denia y Benidorm (Alicante): notas bibliográficas. *Investigaciones Geográficas*, 0(22), 111-128. doi:<https://doi.org/10.14198/INGEO1999.22.02>

Blázquez, A.M., Alcántara –Carrió, J., (2009). Foraminíferos bentónicos actuales como indicadores de la dinámica sedimentaria en el tramo costero entre los puertos de Sagunto y Siles (Valencia): Resultados preliminares. En: II International Symposium in Marine Sciences. Vigo, España.

Blázquez, A.M., Usera, J., (201). Paleoenvironments and Quaternary foraminifera in the Elx coastal lagoon (Alicante, Spain). *Quat.Int.* 221, 68-90.

Boyer, T.P., Antonov, J. I., Baranova, O.K., Coleman, C., Garcia, H. E., Grodsky, A., Johnson, D. R., Locarnini, R.A., Mishonov, A.V., O'Brien, T.D., Paver, C.R., Reagan, J.R., Seidov, D., Smolyar, I. V., Zweng, M. M., (2013). World Ocean Database 2013, NOAA Atlas NESDIS 72, S. Levitus, Ed., A. Mishonov, Technical Ed.; Silver Spring, MD, 209 pp., <http://doi.org/10.7289/V5NZ85MT>

Callard, S.L., Gehrels, W.R., Morrison, B.V., and Grenfell, H.R., (2010). Suitability of salt-marsh foraminifera as proxy indicators of sea level in Tasmania. *Marine Micropaleontology* 79: 121–131.

Calonge, A., Caus, E. & García, J., (2001). Los Foraminíferos: Presente Y Pasado. *Enseñanzas de las Ciencias de la Tierra*, 9(2), pp.144-150.

Cano, N., y García Lafuente, (1991). Corrientes en el litoral malagueño. Baja frecuencia. *Boletín del Instituto Español de Oceanografía* 7(2): 59-77.

Carreras, P., (2018). Revisión del índice oceanográfico IDEA. Trabajo de fin de grado. Física. Facultad de Ciencias de la Universitat de les Illes Balears.

Casanova, E., Zoppi, E. y Montiel, E., (2007). Caracterización espacial y temporal del zooplancton en el Archipiélago los Roques, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela*, 46: 51-65.

Chavanich, S. y Wilson, K., (2000). Rocky intertidal zonation of Gammaridean Amphipods in Long island sound, Connecticut. *Crustaceana*, 73: 835-846

Cheney, R.E., Doblar, R. A., (1982). Structure and variability of the Alboran Sea frontal system. *Journal of Geophysical Research* 87: 585-594

Colom, G., (1974). Introducción al estudio de las especies bentónicas recientes. Barcelona: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Patronato Juan de la Cierva, 1974.

Committee on abrupt Climate Change, (2002). Capítulo 4, p.112. Disponible en: <https://www.nap.edu/read/10136/chapter/1#ix> [Consulta: 8-02-2020]



Conferencia de las Naciones Unidas Cambio Climático, (2020). Disponible en: <https://www.un.org/es/climatechange/un-climate-summit-2019.shtml> [Consulta: 20-04-2020]

Congreso Internacional para el Estudio del Mar Mediterráneo, (2001). (36th CIESM Congress, Monte Carlo, 26 September). Disponible en: <http://ciesm.org/events/RT5-WaterMassAcronyms.pdf> [Consulta: 20-04-2020]

Contreras-Rosales, L.A., Koho, K.A., Duijnste, I.A.P., de Stiger, H.C., Garcia, R., Koning, E., Epping, E., (2012). Living Deep-sea benthic foraminifera from the Cap de Creus Canyon (western Mediterranean): faunal-geochemical interactions. *Deep-Sea Res.* 64, 22-42.

Cortés, M.D., Gil, J., García, A., (1985). General distribution of chlorophyll, temperature and salinity in the NW sector of the Alboran Sea (August, 1982). *Rapport Commission Institut Mer Méditerranéenne* 29(9): 135-136.

Coulbourn, W. T., Lutze, G. F., (1988). Benthic foraminifera and their relation to the environment offshore of northwest Africa: a multivariate statistical analysis. *Revue de Paléobiologie*, vol spéc 2: 755-64

Coulbourn, W. T., Lutze, G. F., (1988). Benthic foraminifera and their relation to the environment offshore of northwest Africa: a multivariate statistical analysis. *Revue de Paléobiologie*, vol spéc 2: 755-64

De Oliveira, P., Rubín, J. P., Sampaio de Souza, C., (2008). Relación entre las masas de agua y la composición y distribución de las larvas de peces en el mar de Alborán (Mediterráneo occidental) y estrecho de Gibraltar. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 43(1): 41-50.

Dean, W.E., (1974) Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition; comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Research*, 44(1):242-248.

Delgadillo Rodríguez, I.P., Montenegro Ruíz, L.C., Pinilla Agudelo, G.A., Melgarejo, L.M., (2016). Medición de la fluorescencia de la clorofila a en algas encapsuladas en alginato de calcio. *Acta biol. Colomb.* 2017; 22 (2): 199-208. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v22n2.56166>

Dokken, T. M., Jansen, E., (1999). Rapid changes in the mechanism of ocean convection during the last glacial period. *Nature* 401, 458-461.

Domingo de Miró, M., (1971). Los foraminíferos planctónicos vivos y sedimentados del margen continental de Venezuela. *Acta Geológica Hispánica* t. VI. Nº 4, págs. 102-108

Douglas, R. G. y Woodruff, F., (1981). Deep-sea benthic foraminifera. In "The Oceanic Lithosphere. The Sea, Vol. 7" (E. Emiliani, ed.), pp. 1233-1327, John Wiley and Sons, New York.

Environmental Literacy and Inquiry, ELI, (2020). Tectonics. Disponible en: <http://gisweb.cc.lehigh.edu/tectonics/>. [Consulta: 17-02-2020]

España, (2020). Real Decreto 463/2020, de 14 de marzo, por el que se declara el estado de alarma para la gestión de la situación de crisis sanitaria ocasionada por el COVID-19. Boletín Oficial del Estado, 14 de marzo de 2020 (64), pp. 25390 - 25400.

EXTRACT XYZ GRID. Disponible en: [https://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get\\_data.cgi](https://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi). [Consulta: 17-02-2020]

Fatela, F. & Taborda, R., (2002). Confidence limits of species proportions in microfossil assemblages. *Marine Micropaleontology*, 45, 169-174.

Fox, J., Bouchet-Valat, M., (2020). *Rcmdr: R Commander*. R package version 2.6-2, <http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Misc/Rcmdr/>.

García Lafuente, J., Cano, N., Vargas, M., Rubín, J. P., Hernández-Guerra, A., (1998). Evolution of the Alborán Seahydrographic structures during July 1993. *Deep-Sea Research I* 45: 39-65.

García, I., (2018). Foraminíferos del Cuaternario reciente del Mar de Alborán. Memoria para optar al grado de Doctor en Biodiversidad. Universidad de Valencia, Facultad de Ciencias Biológicas. Departamento de Botánica y Geología, Valencia.

GEBCO, General Bathymetric Chart of the Oceans, (2014). GEBCO chart archive. Disponible en: <https://www.gebco.net/>. [Consulta: 23-05-2020]

Gil, J., (1985). Hidrología de la costa suroccidental entre Motrily Estepona, en marzo de 1982. Informes Técnicos del Instituto Español de Oceanografía 33: 1-7.

Gofas, S., Goutayer, J., Luque, Á. A., Salas, C., Templado, J., Sagarminaga, R., (2014). Espacio Marino de Alborán. Áreas de estudio del proyecto LIFE+INDEMARES. Disponible en: [https://www.indemares.es/sites/default/files/espacio\\_marino\\_de\\_alboran.pdf](https://www.indemares.es/sites/default/files/espacio_marino_de_alboran.pdf). [Consulta:17-03-2020].

Goldstein, S. T., (1999). Foraminifera: a biological overview. En: 'Modern Foraminifera' (B.K. Sen Gupta, ed.), pp. 37-55, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.

Goldstein, S.T. and Barker, W.W., (1988) Test ultrastructure and taphonomy of the monothalamous agglutinated foraminifer *Cribothalammina* n. gen. *alba* (Heron-Allen and Earland). *Journal of Foraminiferal Research*, 18, 130–6.

Gómez, F., González, N., Echevarría, F., García, C. M., (2000). Distribution and fluxes of dissolved nutrients in the Strait of Gibraltar and its relationships to microphytoplankton biomass. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 51 (4): 439-449.

González-Donoso, J. M., Serrano, F., Linares, D., (2000). Sea surface temperature during the Quaternary at ODP Sites 976 and 975 (western Mediterranean). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Volume 162, Issues 1–2, 15 September 2000, Pages 17-44

González-Mora, B., Sierro, F. J., Flores, J. A., (2008). Controls of shell calcification in planktonic foraminifers. *Quaternary Science Reviews*. Volume 27, Issues 9–10, May 2008, Pages 956-961

Gooday A. J., (1986) Soft-shelled foraminifera in meiofaunal samples from the bathyal northeast Atlantic.

Gooday, A. J. y Lamshead, P. J. D., (1989). Influence of seasonally deposited phytodetritus on benthic foraminiferal populations in the bathyal northeast Atlantic: the species response. *Marine Ecology Progress Series* 58, 53-67.

Gooday, A. J. y Rathburn, A. E., (1999). Temporal variability in living deep-sea foraminifera: a review. *Earth Sciences Reviews* 46, 187-212.

Gooday, A. J., Bett, B. J., Shires, R., D. Lamshead, P. J., (1998). Deep-sea benthic foraminiferal species diversity in the NE Atlantic and NW arabian sea: a synthesis. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. Vol. 45, issues 1-3, January 1998, pag. 165-201.

Gooday, A.J, (2003). Benthic Foraminifera (Protista) as Tools in Deep-water Paleooceanography: Environmental Influences on Faunal Characteristics. *Advances in Marine Biology*, Vol.46, 0-12-026146-4.

Gooday, A.J., Levin, L.A., Linke, P. and Heeger, T., (1992) The role of benthic foraminifera in deep-sea food webs and carbon cycling, in *Deep Sea Food Chains and the Global Carbon Cycle*, (eds G. Rowe and V. Pariente), Nato ASI series C, 360, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, pp. 63–92.

Google Earth Pro, (2020). Landsat/Copernicus.

Gouretski, V. V. y Koltermann, K. P., (2004). Global Hydrographic Climatology. A Technical Report. Revista *Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie* Nr. 35/2004

Gross, O., (2001). Foraminifera, in: Costello, M.J. et al. (Ed.) (2001). European register of marine species: a check-list of the marine species in Europe and a bibliography of guides to their identification. *Collection Patrimoines Naturels*, 50: 60-75.

Guillem, J., (2006). Tafonomía, Taxonomía y ecología de los foraminíferos de la albufera de Torreblanca. 62-64.

Hale, W. y Pflaumann, U., (1999). Sea-surface temperature estimations using a modern analogue technique with foraminiferal assemblages from Western Atlantic Quaternary sediments. In "Use of Proxies in Paleoceanography" (G. Fischer and G. Wefer, eds.), pp. 69-90, Springer, Berlin, Heidelberg.

Hansen, H.J., (1999). Shell construction in modern calcareous Foraminifera. En K. Barun & S. Gupta, eds. *Modern Foraminifera*. Kluwer Academic Publishers, pp. 57-70.

Hayward, B.W., (2004). Foraminifera-based estimates of paleobathymetry using Modern Analogue Technique, and the subsidence history of the early Miocene Waitemata Basin. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics* 47: 749–767

Hayward, B.W., Le Coze, F., Vachard, D., Gross, O., (2020). World Foraminifera Database. Disponible en <http://www.marinespecies.org/foraminifera> on 2020-06-20. doi:10.14284/305 [Consulta:07-06-2020]

Hayward, B.W., Tendal, O.S., Carter, R., Grenfell, H.R., Morgans, H.E.G., Scott, G.H., Strong, C.P., Hayward, J.J., (2012). Phylum Foraminifera. Foraminifera and Xenophyophores. In: Gordon, D.P. (ed.). *New Zealand Inventory of biodiversity: A Species 2000 Symposium Review*. Canterbury University Press, Christchurch. Pp. 242-287

Hemleben, C., Spindler, M., Anderson, O. R., (1989). *Modern Planktonic Foraminifera*. Springer-Verlag, New York Inc., USA, 363 pp.

Hernández- Molina, F.J., (1993). Dinámica sedimentaria y evolución durante el Pleistoceno terminal-Holoceno del margen noroccidental del mar de Alborán. Modelo de estratigrafía secuencial de muy alta resolución en plataformas continentales. Tesis Doctoral Universidad de Granada, Granada, 617 págs.

Hernández-Almeida, I., Bárcena, M. A., Flores, J. A., Sierro, F. J., Sanchez-Vidal, A., Calafat, A., (2011). Microplankton response to environmental conditions in the Alboran Sea (Western Mediterranean): Oneyear sediment trap record. *Marine Micropaleontology*. Volume 78, Issues 1–2, Pages 14-24

Horton, B.P., Culver, S.J., Hardbattle, M.I.J., Lacombe, P., Milne, G.A., Morigi, C., Whittaker, J.E., and Woodroffe, S.A., (2007). Reconstructing Holocene sea-level change for the central great barrier reef (Australia) using subtidal foraminifera. *Journal of Foraminiferal Research* 37: 327–343

Horton, B.P., y Edwards, R.J., (2006). Quantifying Holocene sea level change using intertidal foraminifera: lessons from the British Isles. Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Spec. Pub. 40: 1–97.

IBM Corp., (2017). IBM SPSS Statistics for Windows, Version 25.0. Armonk, NY: IBM Corp.

IEO, Instituto Español de Oceanografía, (2012). Estrategia marina. Demarcación marina del Estrecho y Alborán. Parte I. Marco general. Evaluación inicial y buen estado ambiental. Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente (división para la protección del mar). Secretaría General Técnica. NIPO: 280-12-175-8 p.14.

IGN, (2020). Centro Nacional de Información Geográfica. Alborán. Disponible en: [https://www.ign.es/web/resources/sismologia/tproximos/sismotectonica/pag\\_sismotectonicas/alboran.html](https://www.ign.es/web/resources/sismologia/tproximos/sismotectonica/pag_sismotectonicas/alboran.html). [Consulta: 18 04-2020]

IGN, (2020). Centro Nacional de Información Geográfica. Golfo de Cádiz. Disponible en: [https://www.ign.es/web/resources/sismologia/tproximos/sismotectonica/pag\\_sismotectonicas/golfocadiz.html](https://www.ign.es/web/resources/sismologia/tproximos/sismotectonica/pag_sismotectonicas/golfocadiz.html). [Consulta: 18 04-2020]

Kaminski, M. A., (2004). The Year 2000 Classification of the Agglutinated Foraminifera. In: M. K. Bubik, Ma. (ed). Proceedings of the Sixth International Workshop on Agglutinated Foraminifera. Grzybowski Foundation Special Publication. Pp. 237-255.

KC Denmark, (2020). Research equipment. Multi corer 6 x Ø110 mm. Disponible en: <http://www.kc-denmark.dk/products/sediment-samplers/multi-corer/multi-corer-6-x-oe110-mm.aspx>. [Consulta: 02-04-2020]

Kemp, A.C., Telford, R.J., Horton, B.P., Anisfeld, S.C., and Sommerfield, C.K., (2013). Reconstructing Holocene sea level using salt-marsh foraminifera and transfer functions: lessons from New Jersey, USA. *Journal of Quaternary Science* 28: 617–629.

Kerns, G. J., Boye, T., Drombosky, T., (2019). RcmdrPlugin.IPSUR, version 0.2-1.1. License GPL-2, GPL-3. Youngstown State University (2019-01-26) Disponible en: <https://cran.r-project.org/package=RcmdrPlugin.IPSUR>. [Consulta: 21-06-2020]

Kinoshita, R.K., Bernhard, J.M., Hayden, J.H. and Bowser, S.S., (1996) Shell morphogenesis in the giant Antarctic protist, *Astrammia rara*. *Molecular Biology of the cell*, 7S, 63a.

Langer, M.R., (1993): Epiphytic foraminifera. *Marine Micropaleontology*, 20(3-4), pp.235-265. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037783989390035V> [Consulta: 09-06-2020]

Latif, M., Roeckner, E., Mikolajewicz, U., Voss, R., (2000). Tropical stabilization of the thermohaline circulation in a greenhouse warming simulation. *Journal of Climate*. Doi: 13:1809-1813.

Lee, J.J., Sang, K., ter Kuile, B., Strauss, E., Lee, P.J., Faber Jr., W. W., (1991). Nutritional and related experiments on laboratory maintenance of three species of symbiont-bearing, large foraminifera. *Marine Biology*, 109(3), pp.417-425.

Leorri, E., Gehrels, W.R., Horton, B.P., Fatela, F., and Cearreta, A., (2010). Distribution of foraminifera in salt marshes along the Atlantic coast of SW Europe: Tools to reconstruct past sea-level variations. *Quaternary International* 221: 104–11

Leorri, E., y Cearreta, A., (2009). Quantitative assessment of the salinity gradient within the estuarine systems in the southern Bay of Biscay using benthic foraminifera. *Continental Shelf Research* 29: 1226–1239

Levin, L. A., Etter, R. J., Rex, M. A., Gooday, A. J., Smith, C.R., Pineda, J., Stuart, C.T., Hessler, R.R, Pawson, D., (2001) Environmental influences on regional deep-sea species diversity. *Annu. Rev. Ecol. Systemat.*, 32, pp. 51-93. Doi: 10.2307/2678635

Levin, L. A., Gage, J. D., Martin, C. and Lamont, P. A., (2000). Macrobenthic community structure within and beneath the oxygen minimum zone, Arabian Sea. *Deep-Sea Research II* 47, 189-226.

Li, Q., James, N. P., McGowran B., Bone, Y., y Cann, J., (1998) Synergetic influence of water masses and Kangaroo Island barrier on foraminiferal distribution, Lincoln and

Lacepede shelves, South Australia: A synthesis, Alcheringa: *An Australasian Journal of Palaeontology*, 22:2, 153-176, DOI: 10.1080/03115519808619198

Loeblich, A.R.Jr. y Tappan, H., (1964) Foraminiferal facts, fallacies, and frontiers. *GSA Bulletin*, 75 (5): 367–392. Doi :[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1964\)75\[367:FFFAF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1964)75[367:FFFAF]2.0.CO;2)

Loeblich, A. J. R. y Tappan, H., (1987). "Foraminiferal Genera and their Classification. Vol. I-2". Van Nostrand Reinhold, New York.

Loeblich, A. J. R. y Tappan, H., (1989). Implication of wall composition and structure in agglutinated foraminifers. *Journal of Paleontology* 63, 169-717.

Loeblich, A.R.Jr. y Tappan, H., (1992). *Foraminiferal Genera and Their Classification*, New York: Van Nostrand Reinhold Company, 970 pp.

López-Belzunce, M., Blázquez, A.M., Pretús, J.L., (2014). Recent benthic foraminiferal assemblages and their relationship to environmental variables on the shelf and inner shelf off Valencia (Western Mediterranean). *Marine Environmental Research* 101, 169-183.

Loubere, P., (1991). Deep-sea benthic foraminiferal assemblage response to a surface ocean productivity gradient: a test. *Paleoceanography* 6, 193-204.

Lutze, G. F., (1980). Depth distribution of benthic foraminifera on the continental margin off NW Africa. 'Meteor Forschungs-Ergebnisse C32: 31-80

Lutze, G. F., Coulbourn, W. T., (1984). Recent benthic foraminifera from the continental margin of northwest Africa: community structure and distribution. *Marine Micropaleontology* 8: 361-401

Lutze, G.F., Wefer, G., (1980). Habitat and sexual reproduction of *Cyclorbiculina compressa* (d'Orbigny), Soritidae.

Luzuriaga de Cruz, M., (2014) Foraminíferos planctónicos vivos en el Mar Ecuatoriano: Taxonomía y Distribución, II Edición. *Acta Oceanográfica del Pacífico*. INOCAR, Ecuador, 19(1), 2014

Mackensen A., Sejrup, H. P., Jansen, E., (1985). The distribution of living benthic foraminifera on the continental slope and rise southwest Norway. *Marine Micropaleontology* 9: 275-306

Maldonado, A. y Zamarreño, I., (1983): Modelos sedimentarios en las plataformas continentales del Mediterráneo español: factores de control, facies y procesos que rigen su desarrollo. En: Castellví, K. (Ed): *Estudio Oceanográfico de la Plataforma Continental española*, Seminario Científico. Cádiz, pp. 15-52.

Mateu, G., (1970). Estudio sistemático y bioecológico de los foraminíferos vivientes de los litorales de Cataluña y Baleares. *Trab. Inst. Esp. Oceanogr.* 38, 1-81.

Mateu-Vicens, G., Box, A., Deudero, S., Rodriguez, B., (2010). Comparative analysis of epiphytic foraminifera in sediments colonized by seagrass *Posidonia oceánica* and invasive macroalgae *Caulerpa* spp. *J. Foraminifer. Res.* 40, 134-147.

Mellor, C. A., y Paull, C. K., (1994). Sea beam bathymetry of the Manteo 467 lease block off Cape Hatteras, North Carolina. *Deep-Sea Research* 141, 7 11-718.

Milker, Y., Schimiedl, G., Betzler, C., Römer, M., Jaramillo-Vogel, D., Siccha, M., (2009). Distribution of recent benthic foraminifera in shelf carbonate environments of the Western Mediterranean Sea. *Marine Micropaleontology*. Volume 73, Issues 3–4, Pages 207-225

Milker, Y., Schmiedl, G., Betzler, C., (2011). Paleobathymetric history of the Western Mediterranean Sea shelf during the latest glacial period and the Holocene: Quantitative reconstructions based on foraminiferal transfer functions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 307: 324–338

Miller, C. B., (2004). *Biological Oceanography*. Wiley Blackwell. 402 pp.

Millot, C., (1999). Circulation in the western Mediterranean Sea. *Journal of Marine Systems* 20, 423-442.

Miró, M. D., (1971). Los foraminíferos planctónicos vivos y sedimentados del margen continental de Venezuela. *Acta Geol. Hisp.* 6(4). 102-108.

Mittelhammer, R. C., Judge, G. G., Miller, D. J., (2000) *Econometric Foundations*. Cambridge University Press. 2000. pp. 73-74. ISBN 978-0-521-62394-0. 1ª Edición. Cambridge, UK.

Monserrat, S., López-Jurado, J.L., Marcos, M., (2018) A mesoscale index to describe the regional circulation around the Balearic Islands (2008) *Journal of Marine Systems*, 71, pp. 413–420.

Moodley, L., Middelburg, J. J., Boschker, H. T. S., Duineveld, G. C. A., Pel, R., Herman, P. M. J. and Heip, C. H. R., (2002). Bacteria and Foraminifera: key players in a short-term deep-sea benthic response to phytodetritus. *Marine Ecology Progress Series* 236, 23-29.

Murray J.W., (1984). Paleogene and neogene benthic foraminifers from rockall plateau. Initial reports of the deep sea drilling project. Vol 81, DEC, pp. 503-534.



Murray J.W., (1991).- Ecology and Palaeoecology of Benthic Foraminifera. Routledge. Taylor and Francis Group. London and New York. 397 p.

Murray, J.W. y Alve, E., (2001). Do calcareous dominated shelf foraminiferal assemblages leave worthwhile ecological information after their dissolution? In "Proceedings of the Fifth International Workshop on Agglutinated Foraminifera, Krakow (Plymouth, U.K., September 6-16, 1997)" (M. B. Hart, M. A. Kaminski and C. W. Smart, eds.), pp. 311-331, Grzybowski Foundation Special Publication No. 7, Krakow, Poland.

Murray, J.W., (2001). The niche of benthic foraminifera, critical thresholds and proxies. *Marine Micropaleontology* 41: 1-7.

Murray, J.W., (2006). Ecology and Applications of Benthic Foraminifera, Cambridge. Disponible en: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84929719744&partnerID=tZOtx3y1>. [Consulta: 20-02-2020]

Murray, J.W., (2007). Biodiversity of living benthic foraminifera: How many species are there? *Marine Micropaleontology*, 64, pp.163-176.

Orue-Etxebarria, X., (1983). Los foraminíferos planctónicos del paleógeno del Sinclinorio de Bizkaia (Corte de Sopelana-Punta de la Galea). Parte I. Revista de Ciencias, nº XIII. Diputación Foral de Vizkaia. Kobie, Bilbao.

Parada, M., Cantón, M., (1998). The spatial and temporal evolution of thermal structures in the Sea Mediterranean basin. *International Journal of Remote Sensing* 19 (11):2119-2131.

Pawlowski, J., Bolivar, I., Fahrni, J., de Vargas, C., Bowser, S. S., (1999). Naked foraminiferans revealed. *Nature* 339, 27.

Pawlowski, J., Fahrni, J. F., Brykczynska, U., Habura, A. and Bowser, S. S., (2002). Molecular data reveal high taxonomic diversity of allogromiid Foraminifera in Explorers Cove (McMurdo Sound, Antarctica). *Polar Biology* 25, 96105.

Pawlowski, J., y Holzmann, M., (2010)., Foraminifera Barcode project, Molecular Database of Foraminifera. Department of Genetics and Evolution, University of Geneva. Disponible en: <http://foraminifera.unige.ch/orders> [Consulta: 07-06-2020]

Pearson, T.H., y Rosenberg, R., (1978) Feast and famine: structuring factors in marine benthic communities. En: J.H.R. Gee y P.S. Giller (Editores). Organization of Communities, Past and Present. Blackwell, Oxford, pp.373-395.

Phleger, F. B., (1964). Foraminiferal ecology and marine geology. *Marine Geology*, 1(1), 16–43. doi:10.1016/0025-3227(64)90004-0

Pinot, J.M., López-Jurado, J.L., Riera, M. The CANALES experiment, (1996–1998). Interannual, seasonal, and mesoscale variability of the circulation in the Balearic Channels. *Progress in Oceanography* 55, 335–370.

Puertos del Estado, (2018). Datos históricos de oleaje. Armónicos de Marea calculados del periodo 2016-2018. Disponible en: <http://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx> [Consulta: 02-02-2020]

Pujol, C., y Vergnaud Grazzini, C., (1995). Distribution patterns of live planktic foraminifers as related to regional hydrography and productive systems of the Mediterranean Sea. *Marine Micropaleontology* Volume 25, Issues 2–3, June 1995, Pages 187-217

Pujos-Lamy. A., (1973). Bolivina subaenariensis Cushman, indicateur d'un milieu confiné dans le Gouf de Cap-Breton. *Comptes Rendus Académie Sciences (Paris)* m il: 2655-8

R Core Team, (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible en: <http://www.R-project.org/>. [Consulta: 10-06-2020]

Ramis, C., y Monserrat, S., (1991). Ondas gravitatorias troposféricas. Estudio de su estabilidad mediante modelos de capas. *Física de la Tierra*, núm. 3. 245-282. Ed. Univ. Compl. Madrid, 1991.

Rivaro, P., Messa, R., Massolo, S., & Frache, R., (2010). Distributions of carbonate properties along the water column in the Mediterranean Sea: Spatial and temporal variations. *Marine Chemistry*, 121(1-4), 236–245. doi:10.1016/j.marchem.2010.05.003

Rodríguez, J., (1982). Oceanografía del mar Mediterráneo. Ediciones Pirámide. Madrid.

Rodríguez, V., Bautista, B., Blanco, J. M., Figueroa, F. L., Cano, N., Ruiz, J., (1994). Hydrological structure, optical characteristics and size distribution of pigments and particles at a frontal station in the Alboran Sea. *Scientia Marina* 58: 31-41

Rossi, V. y Horton, B.P., (2009). The application of a subtidal foraminifera-based transfer function to reconstruct Holocene paleobathymetry of the Po Delta, northern Adriatic Sea. *Journal of Foraminiferal Research* 39: 180–190

Saidova, K. M., (1976) Benthic foraminifera of the world ocean (zonal and quantitative distribution). Akademia Nauk SSSR, Institúia Okeanologii pp 1-161 (in Russian)

Sanchez-Ariza, M. C., (1983). Recent benthic foraminifera associations of the neritic zone, Motril-Nerja area, Spain: relationship with calcium carbonate content of surficial sediments. In Oertli H J (ed) *Benthos '83* pp 539-44

Santana-Casiano, J.M., González-Davila, M., Laglera, L.M., (2002). The carbon dioxide system in the Strait of Gibraltar. *Deep-Sea Research II* 49, 4145-4161.

Sarhan T., García Lafuente, J., Vargas, M., Vargas, J. M., Plaza, F., (2000). Upwelling mechanisms in the northwestern Alboran Sea. *Journal of Marine Systems* 23: 317-331

Sartorio, D., y Venturini, S., (1988). Southern Tethys biofacies. Agip, San Donato Milanese, 235p.

Schaff, T., Levin, L., Blair, N., DeMaster, D., Pope, R. and Boehme, S., (1992). Spatial heterogeneity of benthos on the Carolina continental slope: large (100 km)- scale variation. *Marine Ecology Progress Series* 88, 143-160.

Schlitzer, R., (2018). Ocean Data View, [odv.awi.de](http://odv.awi.de)

Schmiedl, G., Mackensen, A. and Müller, P. J., (1997). Recent benthic foraminifera from the eastern South Atlantic Ocean: dependence on food supply and water masses. *Marine Micropaleontology* 32, 249-287.

Schönfeld, J., Alve, E., Geslin, E., Jorissen, F., Korsun, S., Spezzaferri, S., (2012). The FOBIMO (FOraminiferal Blo-MONitoring) initiative—Towards a standardised protocol for soft-bottom benthic foraminiferal monitoring studies. *Marine Micropaleontology*, 94, 1-13.

Sejrup, H., Birks, H., Klitgaard Kristensen, D., and Madsen, H., (2004). Benthonic foraminiferal distributions and quantitative transfer functions for the northwest European continental margin. *Marine Micropaleontology* 53: 197–226

Sen Gupta, B. K., (1992). *Modern Foraminifera*. Springer, Dordrecht. Springer Science+Business Media Dordrecht 2003. 978-0-306-48104-8

Sen Gupta, B.K. y Machain-Castillo, M. L., (1993). Benthic foraminifera in oxygen-poor habitats. *Marine Micropaleontology*, 20, pp.183-201.

Sen Gupta, B.K., Smith, L.E., Machain-Castillo, M.L., (2009). Foraminifera of the Gulf of Mexico, Pp. 87–129 in Felder, D.L. and D.K. Camp (eds.), *Gulf of Mexico—Origins, Waters, and Biota. Biodiversity*. Texas A&M Press, College Station, Texas.

Smith, C. R., Berelson, W., DeMaster, D. J., Dobbs, F. C., Hammond, D., Hoover, D. J., Pope, R. H. and Stephens, M., (1997). Latitudinal variations in benthic processes in the abyssal equatorial Pacific: control by biogenic particle flux. *Deep-Sea Research II* 44, 2295-2317.

Smith, W. H. F., y Sandwell, D. T., (1997). Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings, *Science*, v. 277, p. 1957-1962, 26 Sept., 1997.

Stewart, R.H., (2008) Introduction to physical oceanography.

Surfer® from Golden Software, LLC ([www.goldensoftware.com](http://www.goldensoftware.com)), (2018). Golden Software, LLC. 809 14th Street. Golden, Colorado 80401. [www.goldensoftware.com](http://www.goldensoftware.com). Updated October 16, 2018

Sverdrup, H. V., Johnson, M. W., Fleming, R. H., (1942). The Oceans, their Physics, Chemistry and General Biology. Prentice-Hall, New York 1087 pp

Tomczak, M., y Godfrey, J. S., (2003). Regional Oceanography: an Introduction. Chapters 1, 2, 14-16. Versión 1.0 en PDF. Elsevier Science Ltd, Headington Hill Hall, Oxford OX3 0BW, England. Versión PDF disponible en: <https://www.mt-oceanography.info/regoc/pdfversion.html> [Consulta: 06-02-2020].

Touratier, F., Goyet, C., (2009). Decadal evolution of anthropogenic CO<sub>2</sub> in the northwestern Mediterranean Sea from the mid-1990s to the mid-2000s. *Deep Sea Research I* 56, 1708-1716.

Tyler, P. A., (1995). Conditions for the existence of life at the deep-sea floor: an update. *Oceanography and Marine Biology, an Annual Review* 33, 221-244.

Usera, J. y Blázquez, A. M., (1997). Influencia del sustrato en la distribución y ecología de los foraminíferos bentónicos de la plataforma continental interna entre Valencia y Alicante (España). *Revista Española de Micropaleontología*. Vol. XXIX, núm. 2, 1997, pp. 85-104.

UTM, Unidad de Tecnología Marítima, (2020). Equipamiento B/O Sarmiento de Gamboa. Disponible en: [www.utm.csic.es/es/instalaciones/sdg/equipamiento/allpage](http://www.utm.csic.es/es/instalaciones/sdg/equipamiento/allpage). [Consulta: 02-04-2020]

Van der Zwaan, G., Jorissen, F., de Stigter, H., (1990). The depth dependency of planktonic/benthic foraminiferal ratios: Constraints and applications. *Marine Geology*, 95(1), 1–16. doi:10.1016/0025-3227(90)90016-d

Van der Zwaan, G.J. y Jorissen, F.J., (1989). Biofacial patterns in river-induced shelf anoxia. En: R.Tyson y T.H. Pearson (Editores), *Modern and Ancient Continental Shelf Anoxia*. *Geol. Soc. London Spec. Publ.*, submitted.

Vaquer-Sunyer, R., Reader, H. E., Muthusamy, S., Lindh, M. V., Pinhassi, J., Conley, D. J., (2016). Effects of wastewater treatment plant effluent inputs on planktonic metabolites and microbial community composition in the Baltic Sea. *Biogeosciences* 13, 4751–4765. doi: 10.5194/bg-13-4751-2016

Vargas, M.E., (2011). Foraminíferos del Golfo de Urabá y su potencial como Paleoindicadores y Bioindicadores de Cambios Ecológicos. Tesis en la Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, Medellín, Colombia.

Vickerman, K., (1992). The diversity and ecological significance of Protozoa. *Biodiversity and Conservation*, 1, 334-341. <https://doi.org/10.1007/BF00693769>

Walton, W.R., (1952). Techniques for recognition of living foraminifera. *Contributions from the Cushman Foundation for Foraminiferal Research*, 3, 56-60.

Weston, J. F., (1985) Comparison between Recent benthic foraminiferal faunas of the Porcupine Seabight and Western Approaches continental slope. *Journal of Micropalaeontology* 4(2): 165-83.

Weston, J. F., Murray, J. W., (1984). Benthic foraminifera as deep-sea water-mass indicators. In Oertli H J (ed) *Benthos '83* pp 605-10

WoRMS Editorial Board, (2020). World Register of Marine Species. Disponible en: <http://www.marinespecies.org> at VLIZ. [Consulta: 19-02-2020] doi:10.14284/170

Yanko, V., Arnold, A.J. & Parker, W.C., (1999). Effects of marine pollution on benthic Foraminifera. En Sen Gupta & K. Barun, eds. *Modern Foraminifera*. Kluwer Academic Publishers, pp. 217-235.

Young, J.R., Bown P.R., Lees J.A., (2017) Nannotax3 website. International Nannoplankton Association. Disponible en: <http://www.mikrotax.org/Nannotax3> [Consulta: 21-05-2020]

Tabla I. 1: Resultados de distribución. Asociación de especies bentónicas.

Especie	WP2	WP3	WP5	Resultados de distribución	Distribución	Test de proporciones por parejas.
<i>Alabaminella weddellensis</i> (Earland, 1936)	0	0	2	HOMOGÉNEA (P-valor: 0,05008)	WP2=WP3=WP5	
<i>Bolivina difformis</i> (Williamson, 1858)	0	4	0	HOMOGÉNEA (P-valor: 0,02942)	WP2=WP3=WP5	
<i>Brizalina subspinescens</i> (Cushman, 1922)	3	8	2	HOMOGÉNEA (P-valor: 0,1625)	WP2=WP3=WP5	
<i>Cancris auricula</i> (Fichtel & Moll, 1798)	0	0	1	HOMOGÉNEA (P-valor: 0,2241)	WP2=WP3=WP5	
<i>Cassidulina laevigata</i> d'Orbigny, 1826	12	18	7	HOMOGÉNEA (P-valor: 0,2751)	WP2=WP3=WP5	
<i>Globobulimina affinis</i> (d'Orbigny, 1839)	5	11	3	HOMOGÉNEA (P-valor: 0,1409)	WP2=WP3=WP5	
<i>Globobulimina pyrula</i> (d'Orbigny, 1846)	0	3	0	HOMOGÉNEA (P-valor: 0,07122)	WP2=WP3=WP5	
<i>Globocassidulina subglobosa</i> (Brady, 1881)	16	7	6	HOMOGÉNEA (P-valor: 0,4511)	WP2=WP3=WP5	
<i>Hansenisca soldanii</i> (d'Orbigny, 1826)	6	4	2	HOMOGÉNEA (P-valor: 0,6782)	WP2=WP3=WP5	
<i>Hyalinea balthica</i> (Schroter in Gmelin, 1791)	1	4	1	HOMOGÉNEA (P-valor: 0,2923)	WP2=WP3=WP5	
<i>Laevidentalina communis</i> (d'Orbigny, 1826)	6	3	0	HOMOGÉNEA (P-valor: 0,1259)	WP2=WP3=WP5	
<i>Laevidentalina haueri</i> (Neugeboren, 1856)	1	0	0	HOMOGÉNEA (P-valor: 0,4517)	WP2=WP3=WP5	
<i>Lagena striata</i> (d'Orbigny, 1839)	2	2	0	HOMOGÉNEA (P-valor: 0,5094)	WP2=WP3=WP5	
<i>Melonis affinis</i> (Reuss, 1851)	3	1	0	HOMOGÉNEA (P-valor: 0,2834)	WP2=WP3=WP5	
<i>Melonis pompilioides</i> (Fichtel & Moll, 1798)	1	0	0	HOMOGÉNEA (P-valor: 0,4517)	WP2=WP3=WP5	
<i>Nonionella</i> Cushman, 1926 (sp1)	7	12	2	HOMOGÉNEA (P-valor: 0,09091)	WP2=WP3=WP5	
<i>Nonionella</i> Cushman, 1926 (sp2)	9	7	1	HOMOGÉNEA (P-valor: 0,1679)	WP2=WP3=WP5	
<i>Nonionella</i> Cushman, 1926 (sp3)	4	2	1	HOMOGÉNEA (P-valor: 0,5866)	WP2=WP3=WP5	
<i>Nonionella</i> Cushman, 1926 (sp4)	3	6	0	HOMOGÉNEA (P-valor: 0,09762)	WP2=WP3=WP5	
<i>Quinqueloculina seminula</i> (Linnaeus, 1758)	5	0	0	HOMOGÉNEA (P-valor: 0,016852)	WP2=WP3=WP5	
<i>Reophax fusiformis</i> (Williamson, 1858)	4	5	3	HOMOGÉNEA (P-valor: 0,9114)	WP2=WP3=WP5	
<i>Reophax</i> Montfort, 1808	4	12	2	HOMOGÉNEA (P-valor: 0,02515)	WP2=WP3=WP5	
<i>Saracenaria</i> DeFrance, 1824(Saracenaria sp)	2	0	0	HOMOGÉNEA (P-valor: 0,2037)	WP2=WP3=WP5	
<i>Siphotextularia concava</i> (Karrer, 1868)	3	0	5	HOMOGÉNEA (P-valor: 0,02432)	WP2=WP3=WP5	
<i>Sphaeroidina bulloides</i> d'Orbigny in Deshayes, 1828	4	1	7	HOMOGÉNEA (P-valor: 0,01777)	WP2=WP3=WP5	
<i>Trifarina angulosa</i> (Williamson, 1858)	0	2	4	HOMOGÉNEA (P-valor: 0,03856)	WP2=WP3=WP5	
<i>Turborotalita</i> Blow & Banner, 1962	0	0	1	HOMOGÉNEA (P-valor: 0,2241)	WP2=WP3=WP5	
<i>Uvigerina peregrina</i> Cushman, 1923	12	14	18	HOMOGÉNEA (P-valor: 0,04095)	WP2=WP3=WP5	
<i>Valvulineria bradyana</i> (Fornasini, 1900)	0	2	3	HOMOGÉNEA (P-valor: 0,02432)	WP2=WP3=WP5	

<b>SIN IDENTIFICAR</b>	5	4	2	HOMOGENEA (P-valor: 0,8419)	WP2=WP3=WP5	
<b><i>Cibicoides lobatulus</i> (Walker &amp; Jacob, 1798)</b>	0	0	9	NO HOMOGENEA (P-valor: 0,000001282)	(WP2=WP3) < WP5	
<b><i>Cibicoides wuellerstorfi</i> (Schwager, 1866)</b>	0	0	4	NO HOMOGENEA (P-valor: 0,0005653)	(WP2=WP3) < WP5	
<b><i>Gyroidina umbonata</i> (Silvestri, 1898)</b>	5	11	18	NO HOMOGENEA (P-valor: 0,0002945)	(WP2=WP3) < WP5	WP2 = WP3 (P-valor: 0,08206) WP2 < WP5 (P-valor: 0,0001203)
<b><i>Bolivina striatula</i> Cushman, 1922</b>	13	2	0	NO HOMOGENEA (P-valor: 0,0005225)	(WP2=WP3) > WP5	WP5 < WP2 (P-valor: 0,004059) WP2=WP3 (P-valor: 0,02795)
<b><i>Cornuspira</i> Schultze, 1854 (<i>Cornuspira</i> sp1-5)</b>	2	13	0	NO HOMOGENEA (P-valor: 0,0002042)	(WP2=WP5) < WP3	WP2=WP5 (P-valor: 0,6773) WP2 < WP3 (P-valor 0,003144)
<b><i>Lotostomoides calomorpha</i> (Reuss, 1866) †</b>	3	13	0	NO HOMOGENEA (P-valor: 0,0006113)	(WP2=WP5) < WP3	WP2 = WP5 (P-valor: 0,4202) WP2 < WP3 (P-valor: 0,008141)
<b><i>Neogloboquadrina incompta</i> (Cifelli, 1961)</b>	5	23	0	NO HOMOGENEA (P-valor: 0,000001286)	(WP2=WP5) < WP3	WP2 = WP5 (P-valor: 0,1774) WP2 < WP3 (P-valor: 0,0002556)
<b><i>Rectuvigerina elongatastriata</i> (Colom, 1952)</b>	0	17	0	NO HOMOGENEA (P-valor: 0,0000002554)	(WP2=WP5) < WP3	
<b><i>Tenuitella gemma</i> (Jenkins, 1966) †</b>	2	25	1	NO HOMOGENEA (P-valor: 0,00000002516)	(WP2=WP5) < WP3	WP2 = WP5 (P-valor: 1) WP2 < WP3 (P-valor: 0,000003735)
<b><i>Fissurina marginata</i> (Montagu, 1803)</b>	16	0	10	NO HOMOGENEA (P-valor: 0,0004985)	(WP2=WP5) > WP3	WP2 = WP5 (P-valor: 1) WP2 > WP3 (P-valor: 0,0001239)
<b><i>Neolenticulina variabilis</i> (Reuss, 1850)</b>	24	1	0	NO HOMOGENEA (P-valor: 0,00000001853)	(WP2=WP5) > WP3	WP2 = WP5 (P-valor: 1)
<b><i>Uvigerina mediterranea</i> Hofker, 1932</b>	16	3	20	NO HOMOGENEA (P-valor: 0,00003896)	(WP2=WP5) > WP3	WP2 = WP5 (P-valor: 0,03058) WP2 > WP3 (P-valor: 0,004022)
<b><i>Trilobatus quadrilobatus</i> (d'Orbigny, 1846) †</b>	2	10	10	NO HOMOGENEA (P-valor: 0,009427)	WP2 < (WP3=WP5)	WP2 < WP3 (P-valor: 0,01586) WP3 = WP5 (P-valor: 0,2698)
<b><i>Bulimina aculeata</i> d'Orbigny, 1826</b>	45	5	0	NO HOMOGENEA (P-valor: 1,476e-13)	WP2 > (WP3=WP5)	WP2 > WP3 (P-valor: 0,00000002149) WP3=WP5 (P-valor: 0,07932)
<b><i>Bulimina marginata</i> d'Orbigny, 1826</b>	41	15	12	NO HOMOGENEA (P-valor: 0,0007078)	WP2 > (WP3=WP5)	WP3 = WP5 (P-valor: 0,574) WP2 > WP5 (P-valor: 0,007103)

---

<b><i>Globocassidulina crassa</i> (d'Orbigny, 1839)</b>	61	21	15	NO HOMOGÉNEA (P-valor: 0,000001686)	WP2 > (WP3=WP5)	WP2 > WP3 (P-valor: 0,00001025) WP3=WP5 (P-valor: 1)
<b><i>Reophax scorpiurus</i> Montfort, 1808</b>	7	1	0	NO HOMOGÉNEA (P-valor: 0,01609)	WP2 > (WP3=WP5)	
<b><i>Globigerinoides ruber</i> (d'Orbigny, 1839)</b>	1	12	55	NO HOMOGÉNEA (P-valor: 2,2e-16)	WP2 < WP3 < WP5	
<b><i>Amphicoryna scalaris</i> (Batsch, 1791)</b>	11	1	24	NO HOMOGÉNEA (P-valor 0,000000005806)	WP3 < WP2 < WP5	WP2>WP3 (P valor 0,006036) WP2<WP5 (P valor 0,0002699) WP3 < WP5 (P valor 0,000000001734)
<b><i>Bolivina spathulata</i> (Williamson, 1858)</b>	21	64	4	NO HOMOGÉNEA (P-valor 4.45e-12)	WP5<WP2<WP3	WP2 < WP3 (P-valor 0,0000001347) WP2 >WP5 (P-valor 0,01292) WP3 > WP5 (P-valor: 5,783e-10)

---



Tabla I. 2: Resultados de distribución. Asociación de especies planctónicas.

Espece	WP2	WP3	WP5	Resultados de distribución	Distribución	Test de proporciones por parejas
<i>Globigerina bulloides</i> d'Orbigny, 1826	7	32	53	HOMOGÉNEAS (P-valor: 0,2629)	WP2=WP3=WP5	
<i>Globigerina falconensis</i> Blow, 1959	8	31	66	HOMOGÉNEAS (P-valor: 0,09526)	WP2=WP3=WP5	
<i>Globigerinita glutinata</i> (Egger, 1893)	6	13	17	HOMOGÉNEAS (P-valor: 0,598)	WP2=WP3=WP5	
<i>Globorotalia scitula</i> (Brady, 1882)	1	0	2	HOMOGÉNEAS (P-valor: 0,3558)	WP2=WP3=WP5	
<i>Orbulina universa</i> d'Orbigny, 1839	1	1	2	HOMOGÉNEAS (P-valor: 0,7543)	WP2=WP3=WP5	
<i>Turborotalita quinqueloba</i> (Natland, 1938)	21	5	6	NO HOMOGÉNEAS (P-valor: 2,2e-16)	WP2>WP3>WP5	WP2 > WP3 (P-valor: 4.728e-10) WP2 > WP5 (P-valor: 1,3333e-15) WP3 > WP5 (P-valor: 0,4001)
<i>Globigerinoides conglobatus</i> (Brady, 1879)	0	1	15	NO HOMOGÉNEAS (P-valor: 0,006072)	(WP2=WP3) < WP5	WP2=WP3 (P-valor: 1) WP2 < WP5 (P-valor: 0,005785) WP3 < WP5 (P-valor: 0,009349)
<i>Globoconella inflata</i> (d'Orbigny, 1839)	0	8	22	NO HOMOGÉNEAS (P-valor: 0,004015)	(WP2=WP3) < WP5	WP2 = WP3 (P-valor: NA) WP2 = WP5 (P-valor 0,07902) WP3 < WP5 (P-valor: 0,00569)
<i>Globorotalia hirsuta</i> (d'Orbigny, 1839)	0	0	13	NO HOMOGÉNEAS (P-valor: 0,0005606)	(WP2=WP3) < WP5	WP2 = WP3 (P-valor: 1)
<i>Trilobatus sacculifer</i> (Brady, 1877)	1	4	35	NO HOMOGÉNEAS (P-valor: 0,00007903)	(WP2=WP3) < WP5	WP2 = WP3 (P-valor: 0,5) WP2 < WP5 (P-valor: 0,008513) WP3 < WP5 (P-valor: 0,0002468)
<i>Globigerinella siphonifera</i> (d'Orbigny, 1839)	9	65	27	NO HOMOGÉNEAS (P-valor: 1,416e-13)	(WP2 =WP5) < WP3	WP2 < WP3 (P-valor: 0,0001756)

---

						WP2 = WP5 (P-valor: 0,2203)
						WP3 > WP5 (P-valor: 1.042e-13)
<b><i>Globorotalia truncatulinoides</i> (d'Orbigny, 1839)</b>	7	1	13	NO HOMOGÉNEAS (P-valor: 0,00173)	(WP2=WP5) > WP3	WP2 > WP3 (P-valor: 0,0003328)
						WP2 = WP5 (P-valor: 0,05393)
						WP3 < WP5 (P-valor: 0,01835)
<b><i>Globigerinella calida</i> (Parker, 1962)</b>	2	0	0	NO HOMOGÉNEAS (P-valor: 0,001023)	(WP3 = WP5) < WP2	WP3 = WP5 (P-valor: NA)
						WP2 > WP3 (P-valor: 0,01158)

---

Tabla I. 3: Resultados de distribución. Variables fisicoquímicas de la columna de agua (últimos 5 metros)

<b>Variable</b>	<b>WP2</b>	<b>WP3</b>	<b>WP5</b>	<b>Distribución</b>
Temperature [ITS-90, deg C]	13,91	13,45	11,54	homogénea (P-valor: 0,891)
Salinity, Practical [PSU]	38,2838395	38,56	36,49	homogénea (P-valor: 0,9478)
Oxygen raw, SBE 43 [V]	2,2304202	1,84	1,69	homogénea (P-valor: 0,8071)
Turbidity, WET Labs ECO [NTU]	0,4580034	0,38	0,34	homogénea (P-valor: 0,2408)

Tabla I.4: Resultados de distribución. Variables fisicoquímicas de la columna de agua (primeros 50 metros)

<b>Variable</b>	<b>WP2</b>	<b>WP3</b>	<b>WP5</b>	<b>Distribución</b>	<b>Test de proporciones por parejas.</b>
Temperature [ITS-90, deg C]	16,514811	14,66	19,04	Homogéneas (P-valor: 0,559)	
Salinity, Practical [PSU]	38,2203324	37,12	36,6	Homogéneas (P-valor: 0,9603)	
Oxygen raw, SBE 43 [V]	2,61913461	2,58	2,63	Homogéneas (P-valor: 0,9807)	
Turbidity, WET Labs ECO [NTU]	0,19983231	0,34	0,17	No homogénea (P-valor: 0,005416)	WP2=WP5 (P-valor: 0,7022) WP2<WP3 (P-valor: 0,007758)