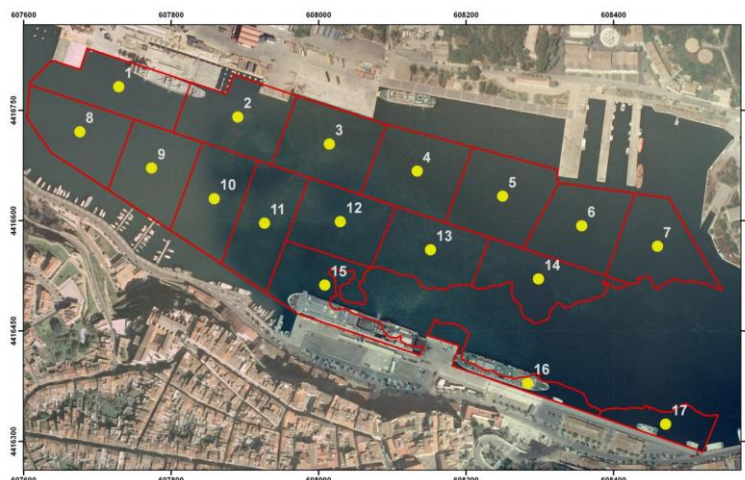


# Informe del proyecto DRAGAT-MAÓ



## Revisión y Control del Plan de Vigilancia Ambiental de las obras de dragado del Puerto de Maó

Julio 2014

Contrato entre la Autoridad Portuaria de Baleares  
y el Instituto Español de Oceanografía



**Fotos portada:**

Zona de dragado del Puerto de Maó obtenida del "Informe de la caracterización de los sedimentos del Puerto de Mahón", Octubre 2011 CBBA (Centre Balear de Biologia Aplicada).

Draga: Ana Morillas (IEO, Centro Oceanográfico de Baleares).

# AUTORES

**Coordinadores:** Enric Massutí<sup>1\*</sup> y Eladio Santaella<sup>2</sup>

## Elaboración del informe:

**Fondo marino:** Jesús Rivera<sup>2</sup>

**Hidrografía:** Jose Luis López-Jurado<sup>1</sup>, Rosa Balbín<sup>1</sup>, Alberto Aparicio<sup>1</sup> y Ricardo Sánchez<sup>3</sup>

**Praderas *Posidonia oceanica* y *Pinna nobilis*:** Salud Deudero<sup>1</sup>, Elvira Álvarez<sup>4</sup> y Margalida Cerdà<sup>4</sup>

**Fondos blandos circalitorales:** Francesc Ordines<sup>1</sup>, Jesús Rivera<sup>2</sup>, Pere Abelló<sup>11</sup>, Maria Teresa Farriols<sup>1</sup>, Covadonga Orejas<sup>1</sup>, Montserrat Ramon<sup>1</sup>, Sergi Joher<sup>13</sup> y Enric Massutí<sup>1</sup>

**Contaminantes agua:** Antonio Tovar<sup>6</sup>, Ana Massanet<sup>6</sup> y David Sánchez Quiles<sup>6</sup>

**Contaminantes sedimentos y biota y respuesta bio-marcadores en mejillón:** Juan Antonio Campillo<sup>7</sup>, Víctor León<sup>7</sup>, Victoria Besada<sup>8</sup>, Concepción Martínez-Gómez<sup>7</sup>, Víctor García<sup>7</sup>, Juliana Valdés<sup>7</sup>, Cristóbal Navarro<sup>7</sup>, Fulgencio Martínez<sup>7</sup>, Carlota Ceruso<sup>7</sup>, Inés García<sup>7</sup> y Fernando Schultze<sup>8</sup>

**Contaminantes peces interés comercial:** Victoria Besada<sup>8</sup> y Fernando Schultze<sup>8</sup>

## Recogida de datos y muestras:

**Fondo marino:** Jesús Rivera<sup>2</sup> (jefe de campaña), Francesc Ordines<sup>1</sup>, Daniel Cuñarro<sup>9</sup>, Anna Khokhlova<sup>10</sup>, Teresa Ana Sebastián<sup>10</sup> y Marc Juliá<sup>9</sup>

**Hidrografía y contaminantes agua y sedimento:** Jose Luis López-Jurado<sup>1</sup> (jefe de campaña), Alberto Aparicio<sup>1</sup>, Mariano Serra<sup>1</sup>, Eva M<sup>a</sup> Vidal<sup>1\*</sup>, Nuria Zaragoza<sup>1</sup>, Ana Massanet<sup>6</sup> y Cristóbal Navarro<sup>7</sup>

**Praderas *Posidonia oceanica*:** Elvira Álvarez<sup>4</sup> (jefa de campaña), Carmen Alomar<sup>5</sup>, Margalida Cerdà<sup>4</sup>, Salud Deudero<sup>1</sup>, Micaela García<sup>4</sup>, Carlos A. Morell<sup>4</sup>, Francesc Ordinas<sup>1</sup>, Marta Sales<sup>1\*</sup>, Piluca Sarriera<sup>4</sup>, Maite Vázquez<sup>1</sup> y Eva M<sup>a</sup> Vidal<sup>1\*</sup>

**Fondos blandos circalitorales:** Francesc Ordines<sup>1</sup> (jefe de Campaña), Pere Abelló<sup>11</sup>, Maria Teresa Farriols<sup>1</sup>, Covadonga Orejas<sup>1</sup>, Gabriel Pomar<sup>1</sup>, Montserrat Ramon<sup>1</sup>, Benjamín Reviriego<sup>12</sup> y Sergi Joher<sup>13</sup>

**Contaminantes biota y respuesta bio-marcadores en mejillón:** Marta Sales<sup>1\*</sup>, Eva M<sup>a</sup> Vidal<sup>1\*</sup>, Cristóbal Navarro<sup>7</sup> y Benjamín Reviriego<sup>12</sup>

**Contaminantes peces interés comercial:** Victoria Besada<sup>8</sup>, Olga Reñones<sup>1\*</sup>, Marta Sales<sup>1\*</sup> y Fernando Schultze<sup>8</sup>

**Edición del informe:** M<sup>a</sup> Cruz Iglesias<sup>1</sup>, Olga Reñones<sup>1\*</sup> y Enric Massutí<sup>1</sup>

## Instituciones:

- <sup>1</sup> Instituto Español de Oceanografía – Centro Oceanográfico de Baleares. Moll de Ponent s/n, 07015 Palma de Mallorca
- \* Estació d'Investigació “Jaume Ferrer”, Govern de les Illes Balears y Instituto Español de Oceanografía. La Mola, 07700 Maó
- <sup>2</sup> Instituto Español de Oceanografía – Servicios Centrales. Corazón de María 8, 28002 Madrid
- <sup>3</sup> Instituto Español de Oceanografía – Centro Oceanográfico de Cádiz. Muelle de Levante (Puerto Pesquero), Apdo. 2609, 11006 Cádiz
- <sup>4</sup> Asociación TURSIOPS. Pop 25, 07639 Sa Ràpita, Campos (Islas Baleares)
- <sup>5</sup> IPD (Investigación Planificación y Desarrollo S.A.). Paseo Imperial 10-12, 28005 Madrid
- <sup>6</sup> Institut Mediterrani d'Estudis Avançats (IMEDEA). Miquel Marquès 21, 07190 Esporles (Islas Baleares)
- <sup>7</sup> Instituto Español de Oceanografía – Centro Oceanográfico de Murcia. Varadero 1, Apdo. 22, 30740 San Pedro del Pinatar (Murcia)
- <sup>8</sup> Instituto Español de Oceanografía – Centro Oceanográfico de Vigo. Subida a Radio Faro 50, 36390 Vigo
- <sup>9</sup> Universidad de las Palmas de Gran Canaria. Juan de Quesada 30, 35001 Las Palmas de Gran Canaria
- <sup>10</sup> Universitat de les Illes Balears. Ctra. Valldemossa km 7.5, 07122 Palma de Mallorca
- <sup>11</sup> Institut de Ciències del Mar, Passeig Marítim Barceloneta 37-49, 08003 Barcelona
- <sup>12</sup> Centre Balear de Biologia Aplicada. Lluçmajor 18, 07006 Palma de Mallorca
- <sup>13</sup> Universitat de Girona, Departament de Ciències Ambientals. Campus de Montilivi, 17071 Girona.

**RESUMEN:** En este documento se presentan los trabajos científicos realizados por el Instituto Español de Oceanografía, dentro del Plan de Vigilancia Ambiental del dragado del Puerto de Maó (Menorca, Islas Baleares), para la caracterización de los ecosistema marino en el punto de vertido y área adyacente, previa al inicio de las obras. Se incluyen los resultados y las conclusiones de los estudios realizados por diversos grupos de investigación, principalmente en Enero-Marzo 2014, en relación al fondo marino, la hidrodinámica, las praderas de *Posidonia oceanica* y el molusco bivalvo *Pinna nobilis*, el macro-bentos de los fondos circalitorales blandos y los contaminantes en agua, sedimentos y biota, así como en especies de interés comercial para el consumo humano. Este informe se contempla en el contrato entre la Autoridad Portuaria de Baleares y el Instituto Español de Oceanografía, suscrito el 5 Febrero 2014, para los trabajos de asistencia técnica para la revisión y control del Plan de Vigilancia Ambiental del dragado del Puerto de Maó.

**RESUM:** En aquest document es presenten els treballs científics realitzats per l'Institut Espanyol de Oceanografia, dins del Pla de Vigilància Ambiental del dragat del Port de Maó (Menorca, Illes Balears), per a la caracterització dels ecosistemes marins en el punt de vessament i àrea adjacent, prèvia a l'inici de les obres. S'inclouen els resultats i les conclusions del estudis realitzats per diversos grups de recerca, principalment durant Gener-Març 2014, en relació al fons marí, la hidrodinàmica, les praderies de *Posidonia oceanica* i el mol·lusc bivalve *Pinna nobilis*, el macro-bentos dels fons circalitorals tous i els contaminants en aigua, sediments i biota, així com en espècies d'interès comercial pel consum humà. Aquest informe es contempla en el contracte entre l'Autoritat Portuària de Balears i el Instituto Español de Oceanografía, subscrit el 5 Febrer 2014, pels treballs d'assistència tècnica per a la revisió i control del Pla de Vigilància Ambiental del dragat de Port de Maó.

**ABSTRACT:** This document presents the scientific actions developed by the Instituto Español de Oceanografía within the Environmental Monitoring Plan of the works of dredging the Port of Maó (Minorca, Balearic Islands), for the characterization of the marine ecosystems in the point of discharge of dredged material and adjacent area, before the beginning of the dredging. The results and conclusions of the studies developed by several research groups, mainly in January-March 2014, in relation to the bottom, hydrodynamics, *Posidonia oceanica* meadows, and the bivalve mollusc *Pinna nobilis*, the macro-benthos of the circalittoral soft bottoms and the contaminants in water, sediments and biota, as well as in commercial species for human consumption, are included. This report is contemplated within the contract between the Autoridad Portuaria de Baleares and the Instituto Español de Oceanografía, signed on 5 February 2014, for the technical assistance activities to review and control the Environmental Monitoring Plan of the works of dredging the Port of Maó.



# ÍNDICE

1. Antecedentes.....	3
2. Fondo marino.....	13
2.1. Objetivos.....	13
2.2. Metodología de estudio y muestreo.....	14
2.3. Resultados y Discusión.....	17
Anexo 2.1.....	31
3. Hidrografía.....	37
3.1. Objetivo.....	37
3.2. Metodología de estudio y muestreo.....	37
3.3. Resultados y Discusión.....	42
Anexo 3.1.....	57
4. Praderas <i>Posidonia oceanica</i> .....	61
4.1. Objetivos.....	61
4.2. Metodología de estudio y muestreo.....	61
4.3. Resultados.....	79
4.4. Discusión.....	119
Anexo 4.1.....	125
Anexo 4.2.....	127
Anexo 4.3.....	128
5. Bentos de fondos circalitorales blandos.....	131
5.1. Objetivos.....	131
5.2. Metodología de estudio y muestreo.....	132
5.3. Resultados y Discusión.....	135
Anexo 5.1.....	152

6. Contaminantes.....	155
6.1. Objetivos.....	155
6.2. Metodología de estudio y muestreo.....	155
6.3. Resultados y Discusión.....	174
7. Conclusiones.....	213
8. Bibliografía.....	219



# ANTECEDENTES

---



Fuente: Autoridad Portuaria de Baleares





## 1. ANTECEDENTES

A principios de 2013, estaba previsto el dragado del Puerto de Maó, en relación al cual el Instituto Español de Oceanografía (IEO) había emitido informes el 17 Julio 2009, el 28 Marzo 2012 y el 25 Febrero 2013. Este proyecto, que había generado mucho interés y polémica en la opinión pública de Menorca, fue suspendido por Decreto de la Fiscalía Superior de las Islas Baleares del 25 Marzo 2013. Esta misma fiscalía, el 7 Octubre 2013 archivó las Diligencias de la Investigación Penal nº 20/2013 del “Proyecto de Dragado de la zona próxima a la Estación Naval y Cos Nou en el Puerto de Maó” y señaló que se tuvieran en cuenta las consideraciones incluidas en el informe sobre el asunto, elaborado por la Unidad Técnica de la Fiscalía de Medio Ambiente y Urbanismo: “Por la razones expuestas, es absolutamente necesario que antes de tomar la decisión sobre el lugar de depósito del material dragado se estudie en profundidad la potencial afección que pueda generarse sobre el ecosistema por los metales que se pudieran aportar, sugiriendo que este estudio lo lleve a cabo el IEO, en coordinación con la Unidad Técnica de esta Fiscalía, destacando que este estudio debe llevarse a cabo a la mayor brevedad posible”.

Por todo lo anterior, el 6 Noviembre 2013 la Autoridad Portuaria de Baleares (APB) solicitó al IEO, la revisión y el control del “Plan de Vigilancia Ambiental (PVA) de las obras de dragado del Puerto de Maó y posterior vertido al mar del material dragado”, elaborado a principios de 2013 por la empresa CBBA (Centre Balear de Biologia Aplicada). Según la APB, el proyecto se debía reanudar a principios de 2014, para terminarlo antes de la temporada turística. Con las mismas condiciones para que se pudiera llevar a cabo el vertido al mar del material dragado, impuestas por Capitanía Marítima en 2013 (no trabajar con vientos del este de más de 5 nudos de velocidad), se estimaba que la duración del proyecto podría ser de 2 a 4 meses.

Este PVA se redactó en cumplimiento de lo establecido en el punto 17 de las “Recomendaciones para la gestión del material dragado en los puertos españoles”, elaboradas por el CEDEX en 1994. Se trata de un documento técnico para incorporar a la Dirección de la Obra del proyecto. Su estructura es cronológica, con el fin de facilitar su coordinación con el Plan de Obra que elabora la empresa encargada de la ejecución del proyecto, seguimiento y cumplimiento. La finalidad es establecer un sistema de medidas protectoras y correctoras durante la obra, con el fin de: (i) garantizar que los niveles de impacto no superen las evaluaciones de las hipótesis previas; (ii) medir el grado de ajuste entre los impactos previstos y los reales; (iii) definir, en su caso, medidas adicionales; (iv) seguir el grado de comportamiento de las variables ambientales a corto, medio y largo

plazo; (iv) reaccionar oportunamente frente a impactos inesperados; y (v) corregir los impactos residuales. El PVA propone las actuaciones previstas, en relación al medioambiente, durante la adecuación del calado del Puerto de Maó, que implican el dragado del material sedimentario de dicho Puerto y su vertido posterior en mar abierto, a más de una milla de costa y a 52 m de profundidad (Figura 1.1). La caracterización previa del sedimento a dragar, puso de manifiesto la existencia de niveles muy altos de metales pesados, que en algunos puntos llegaban hasta la categoría III del CEDEX para el mercurio. Según las propias recomendaciones del CEDEX, los sedimentos de nivel III deben ser aislados del medio marino o bien sometidos a tratamientos específicos. Es decir, no se pueden verter al mar sin un procesado previo. Hay que tener en cuenta, también, la existencia en las zonas próximas al dragado y vertido del material, de áreas de interés ambiental, zonas de baño, marisqueo, acuicultura y caladeros tradicionales de pesca.

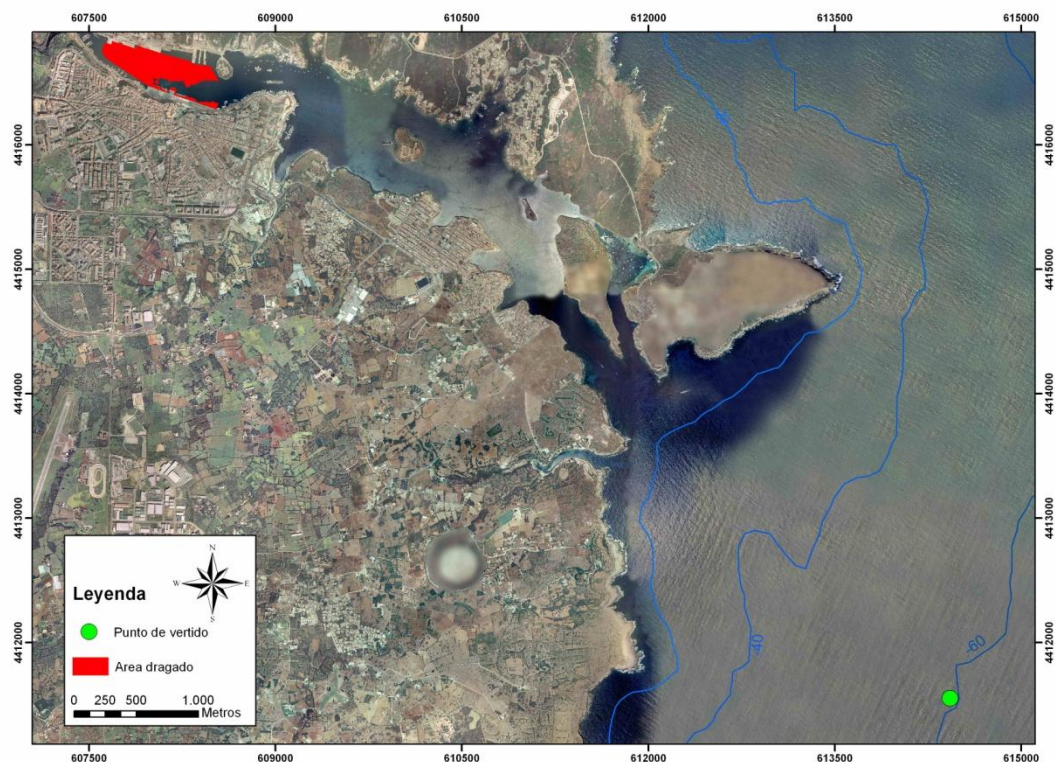


Figura 1.1. Localización de la zona de dragado del Puerto de Maó y el punto de vertido de los materiales. Fuente: “Plan de Vigilancia Ambiental (PVA) de las obras de dragado del Puerto de Maó y posterior vertido al mar del material dragado”, de 30 Enero 2014, elaborado por CBBA (Centre Balear de Biologia Aplicada).

Para atender esta solicitud de la APB, el IEO configuró un equipo de expertos en contaminación, hidrografía, cartografía del fondo marino y hábitats bentónicos

vulnerables, a partir de cuya aportación el 16 Diciembre 2013 se elaboró el primer documento “Revisión y control del Plan de Vigilancia Ambiental de las obras de dragado en el Puerto de Maó”. El objetivo era aportar la información preliminar necesaria para que se pudieran delimitar los términos de la colaboración del IEO con la APB. Se realizaron también las consideraciones generales al proyecto de dragado, que se detallan a continuación:

- El estudio propone una gestión conjunta de todas las 15 sub-áreas en la que se ha dividido el área de dragado del Puerto de Maó. Sin embargo, el estudio de caracterización del material de dragado de que se dispone (CBBA, 2011), revela la existencia de algunas sub-áreas donde la contaminación por metales es especialmente alta, llegándose a superar los niveles II propuestos por las Recomendaciones del CEDEX (cuadrículas 7, 8 y 9; Figura 1.2). Por todo ello se recomienda una gestión diferente de los sedimentos de estas sub-áreas más contaminadas, preferentemente en tierra, con el objetivo de disminuir la toxicidad del material que se va a verter al mar.

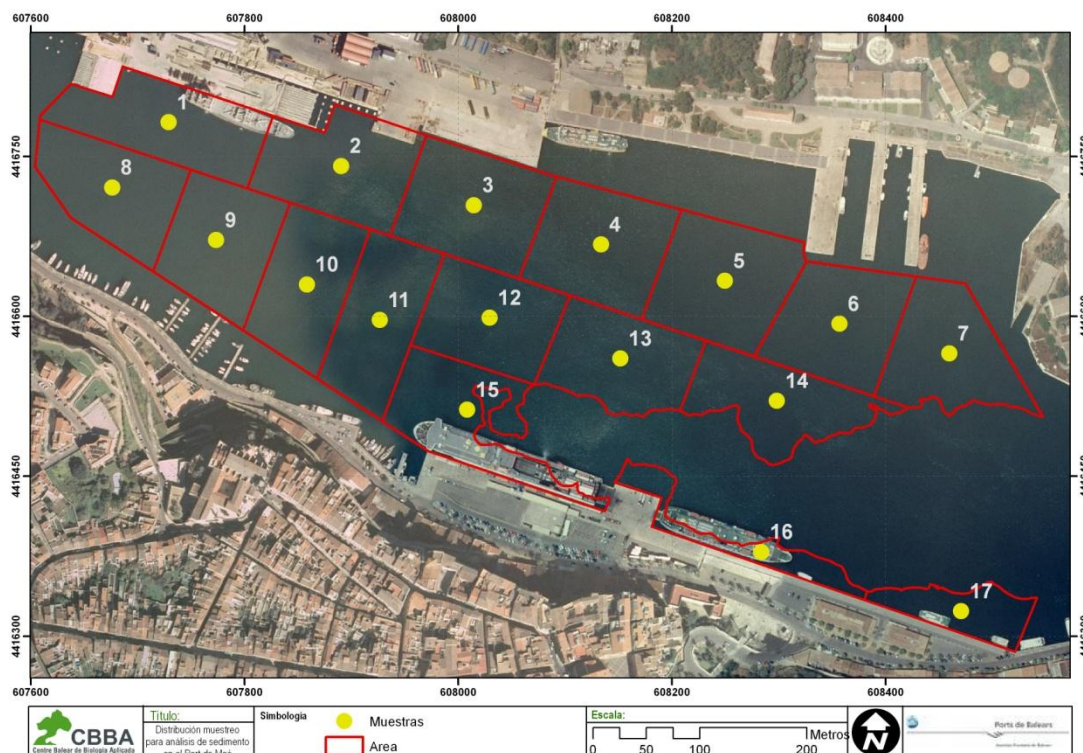


Figura 1.2. Cuadrículas consideradas en la zona de dragado del Puerto de Maó, para la caracterización de los sedimentos, realizada en Octubre 2011 por CBBA (Centre Balear de Biologia Aplicada).

- Los datos reales de corrientes de que se dispone sobre la hidrodinámica marina en la zona de vertido<sup>1</sup>, sugieren la predominancia de una corriente en dirección norte a sur, de intensidad considerable (casi 1.5 nudos) y mayor a la de otras zonas de las islas Baleares (~1 nudo). Por ello, y a pesar de que los estudios de corrientes realizados (ICA, 2012), garantizan la no afección del LIC ES5310073 (“Àrea marina Punta Prima - Illa de l’Aire”); Figura 1.3), situado al sur del punto de vertido, por parte del material de dragado, se recomienda que durante el dragado se realice la obtención de datos, en continuo, sobre las corrientes marinas en la zona de vertido, que permita verificar los modelos aportados.

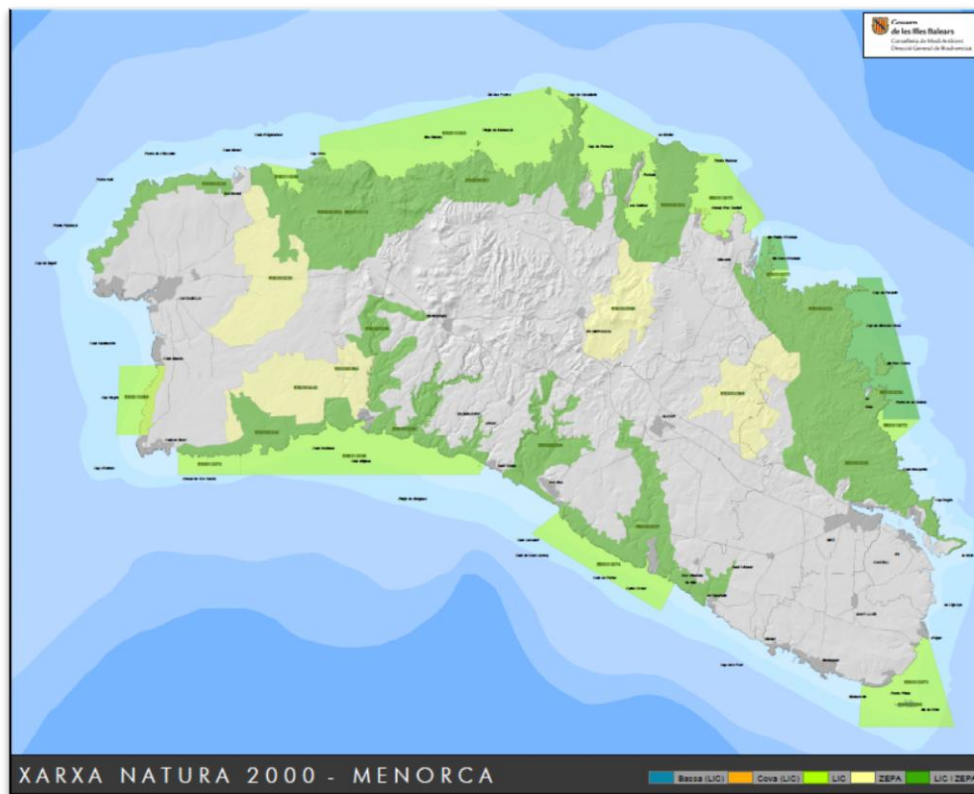


Figura 1.3. Áreas incluidas en la Red Natura 2000 en la isla de Menorca.

En este documento también se recogieron propuestas de modificación y mejora del PVA, por lo que respecta a contaminantes (p.ej. incorporación de contaminantes orgánicos u órgano-metálicos, como PCBs, PAHs y TBT, también presentes en sedimentos portuarios), el estudio de la incidencia del efecto biológico conocido como Imposex en el

<sup>1</sup>Observaciones realizadas durante las campañas RADMED, que realiza el “Grupo Mediterráneo de Cambio Climático” del IEO (<http://www.ma.ieo.es/gcc/>), y la estación submarina del SOCIB (Sistema de Observación y Predicción Costera de las Islas Baleares), situada en la bocana del Puerto de Maó, frente a la Estación “Jaume Ferrer”, del Govern de les Illes Balears y el IEO: [www.socib.es/?seccion=observingFacilities&facility=mooring](http://www.socib.es/?seccion=observingFacilities&facility=mooring).



molusco gasterópodo *Stramonita haemastoma* (especie presente en la zona de marisqueo BAL 1/02; Figura 1.4), las praderas de *Posidonia oceanica* (p.ej. incorporación de nuevos métodos de estimación de la cobertura de la pradera y del molusco bivalvo *Pinna nobilis*, una especie endémica del Mediterráneo, que por su elevada vulnerabilidad a impactos antrópicos ha sido protegida por la Directiva Hábitat debido), hidrodinámica (realización de una campaña de investigación previa al dragado, para elaborar un mapa geostrófico de corrientes marinas en el área de vertido y zonas adyacentes, y fondeo de un correntímetro perfilador *Doppler* en el área de vertido, que trasmita en tiempo real información sobre las corrientes marinas durante los trabajos de dragado y vertido) y batimetría y comunidades bentónicas (realización de una campaña previa para el levantamiento cartográfico del fondo marino en el punto de vertido y área adyacente, con ecosonda multi-haz y sísmica de reflexión, y de la bionomía bentónica, mediante muestreos con patín epi-bentónico sobre fondos blandos, lo que además permitirá mejorar los inventarios florístico y faunístico), entre otros aspectos. Además, se propuso ampliar la caracterización del medio marino en el punto de vertido y área adyacente, por lo que respecta a los contaminantes en el agua, sedimentos, organismos bio-indicadores (p.ej. *S. haemastoma*) y especies pesqueras de interés comercial (rape *Lophius* spp., salmonetes *Mullus* spp. y cabracho *Scorpaena scrofa*), e incorporar la evaluación del estado fisiológico y citológico de los mejillones en el Puerto de Maó, utilizando dos biomarcadores de estrés general: tiempos de supervivencia en condiciones aéreas y de estabilidad de la membrana lisosomal.



Figura 1.4. Zonas de producción de moluscos y otros invertebrados en Menorca, declaradas por la Orden, de 2 Julio 2009, de la Conselleria d'Agricultura i Pesca del Govern de les Illes Balears.



Los comentarios y propuestas incluidas en este documento “Revisión y control del Plan de Vigilancia Ambiental de las obras de dragado en el Puerto de Maó”, que también incluía las actividades que el propio IEO podría llevar a cabo en el marco del PVA, fue revisada conjuntamente con la APB y CBBA, mediante documentos (p.ej. Comentarios de CBBA sobre el documento del IEO titulado “Revisión y control del Plan de Vigilancia Ambiental de las obras de dragado en el Puerto de Maó”, de 24 Diciembre 2013), reuniones presenciales y video-conferencias. Como resultado de todo ello fue la elaboración por parte de CBBA del “Plan de Vigilancia Ambiental (PVA) de las obras de dragado del Puerto de Maó y posterior vertido al mar del material dragado”, de 30 Enero 2014, que fue el PVA definitivo, a aplicar durante las obras de dragado. Además de la incorporación en este PVA de la mayoría de las propuestas del IEO, destacar también el hecho de la puesta en marcha por parte de la APB con la colaboración del IEO, de un sistema automático de alertas en relación al vertido al mar del material procedente del dragado, basado en la información suministrada por el correntímetro y las condiciones de velocidad y dirección de la corriente, impuestas por el Capitán Marítimo de Palma de Mallorca y basadas en un informe de la Demarcación de Costas en las Islas Baleares que trasladaba las condiciones de viento, impuestas en 2013, a corriente. Asimismo, el proyecto de dragado fue modificado sustancialmente, por el hecho de que la APB decidiera que de las cuadrículas con niveles más altos de contaminantes, algunas no se dragaran (las más interiores del Puerto, que no afectan al tráfico marítimo), mientras que el material del dragado de las otras se depositara en un vertedero en tierra. De esta forma, se redujo muy considerablemente el material de dragado con niveles altos de contaminantes a verter en el medio marino por el método de confinamiento blando. Destacar también la creación de una comisión técnica para el seguimiento de las obras de dragado, a propuesta del IEO, compuesta por la APB, IDOM, la empresa contratada para la dirección técnica del proyecto, CBBA y el propio IEO, a la que se incorporaron posteriormente técnicos de la Conselleria d’Agricultura, Medi Ambient i Territori i de la Conselleria de Salut del Govern de les Illes Balears, administraciones competentes en materia de marisqueo y seguridad alimentaria, respectivamente.

Señalar, por último, que el 7 Marzo 2014, el IEO, a la vista de los resultados de los trabajos previos desarrollados por el IEO y los demás organismos implicados en el proyecto de dragado del Puerto de Maó y según lo acordado en la comisión técnica de seguimiento celebrada el 6 Marzo 2014, comunicó a la APB que no encontraba impedimentos para que se procediera al inicio de las obras. Previamente, a través de reuniones y mediante escrito del 21 Febrero 2014, el IEO había informado a la Fiscalía de



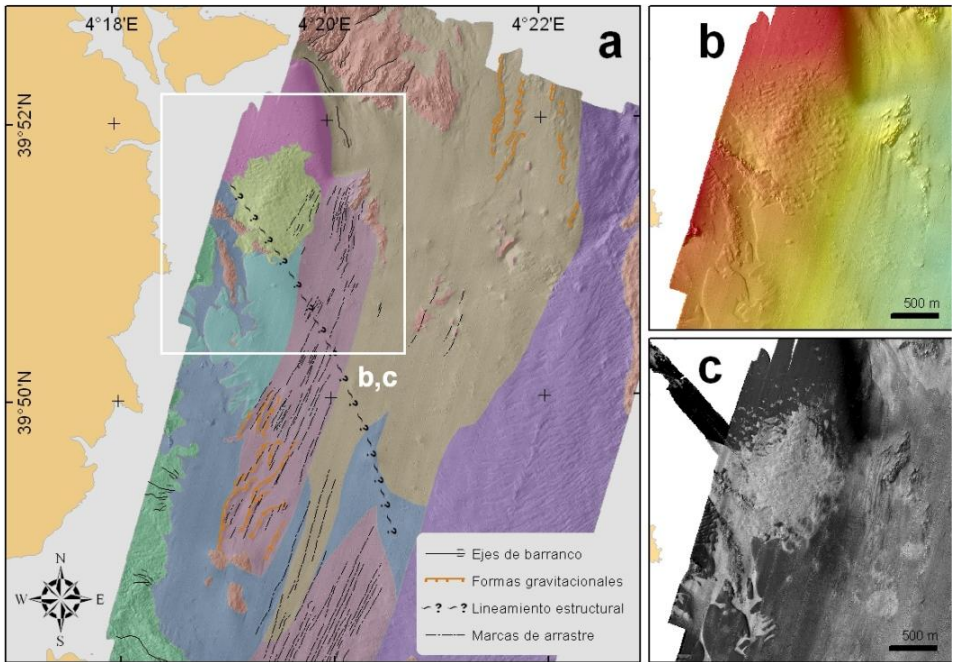


Medio Ambiente sobre el desarrollo del proyecto y aclarado algunas de sus dudas, planteadas por oficio del 14 Febrero 2014.

Con fecha 5 Febrero 2014, la APB y el IEO formalizaron el “Contrato para encargos de los trabajos de asistencia técnica para la revisión y control del plan de vigilancia ambiental de las obras de dragado en el Puerto de Maó”, con el objetivo de encargar al IEO los trabajos de asistencia técnica, con el fin de asegurar la no afección a los ecosistemas marinos del vertido del material procedente del dragado. En este documento se definen los trabajos a realizar por el IEO, motivo del encargo, que entre otros son supervisar la elaboración definitiva del PVA y el análisis de las muestras, seguimiento aleatorio de la toma de muestras y de los análisis que se realicen y llevar a cabo diversas actuaciones de estudio de los posibles efectos del dragado y el correspondiente vertido. El presente informe es el compendio de los diferentes informes parciales que se han ido elaborando con los resultados de los estudios realizados por el IEO, previos al comienzo de las obras de dragado, con el objetivo de caracterizar el medio marino y sus ecosistemas en el punto de vertido y área adyacente. Estos informes parciales se han ido facilitado a la APB, a medida que se elaboraban, y además se han presentando en las reuniones de la comisión técnica de seguimiento del proyecto de dragado.



# FONDO MARINO





## 2. FONDO MARINO

### 2.1. OBJETIVOS

Con motivo del dragado del Puerto de Maó, la APB ha solicitado al IEO, entre otras cosas, la caracterización del medio físico y biológico del punto de vertido del material extraído y área adyacente, situadas en aguas exteriores del Puerto. Uno de los primeros objetivos a abordar fue el cartografiado batimétrico y la descripción geológica de los fondos de la plataforma insular del este de Menorca, entre las isobatas de 40 y 80 m, que en esta área discurren en dirección nordeste-suroeste, entre la península de La Mola al norte y la isla del Aire al sur (Figura 2.1). Para ello, del 13 al 22 Enero 2014 se llevó a cabo la campaña MAO1401\_GEOBentos a bordo del B/O *Francisco de Paula Navarro*, con los siguientes objetivos parciales: (i) levantamiento batimétrico de la zona; (ii) adquisición de perfiles sísmicos para la corrección de la batimetría; (iii) toma de muestras de sedimento; y (iv) realizar transectos de video del fondo marino. En esta parte del informe se detallan los trabajos realizados, los resultados obtenidos y su interpretación, en relación a estos objetivos.

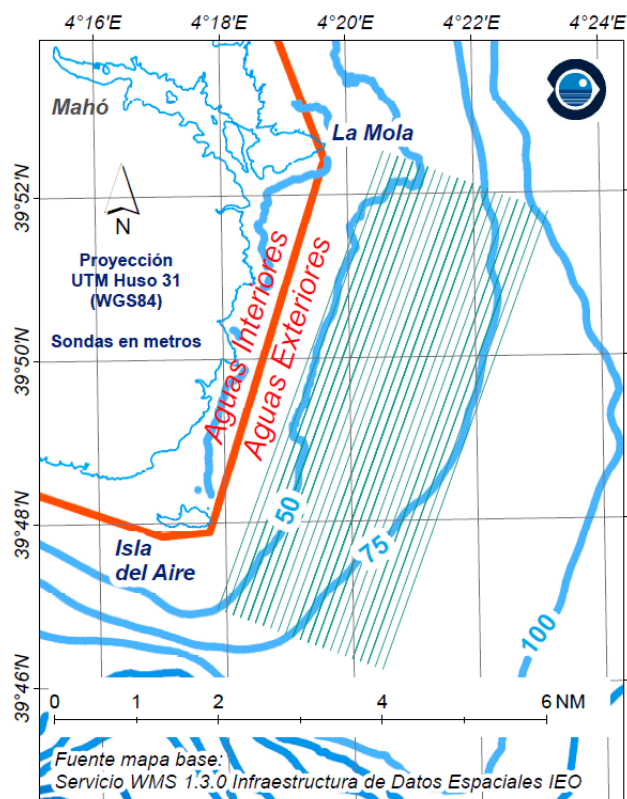


Figura 2.1. Área de estudio de la campaña de investigación MAO1401\_GEOBentos, realizada por el IEO dentro del PVA del dragado del Puerto de Maó. Se indican las isobatas (m), el plan de adquisición de datos con los radiales de prospección acústica y la delimitación entre aguas interiores y exteriores.



## 2.2. METODOLOGÍA DE ESTUDIO Y MUESTREO

Los equipos de geofísica empleados en la campaña MAO1401\_GEOBentos componen el Sistema Modular de Adquisición Cartográfica (SMAC), que consta de una góndola de transductores (fija a la quilla del buque) y un contenedor ISO 10', que conforma el laboratorio de adquisición y aloja los transceptores, unidad de procesado, seapath 200 y demás electrónica de cubierta de los sistemas. En esta campaña, el SMAC ha sido configurado por primera vez para dar servicio a bordo del B/O *Francisco de Paula Navarro*, por lo que antes del desarrollo de la campaña, fue necesario el montaje y calibración del SMAC en esta nueva plataforma.

Estos trabajos, que se realizaron del 13 al 17 Enero 2014 en Palma de Mallorca, con la colaboración de la empresa SIMRAD, constaron de: (i) comprobación de las modificaciones realizadas en la configuración de sensores; (ii) comprobación con ayuda de un buzo del estado de la góndola; (iii) comprobación del perfilador de sonido SVP Applied Microsystems; (iv) calibración de la ecosonda multihaz EM3002D; (v) ajustes de piloto automático Helmsman Display para la adquisición de multihaz; (vi) comprobación del perfilador paramétrico TOPAS PS40; y (vii) verificación de la tarjeta de recepción TOPAS PS40. Una vez concluidos estos trabajos, el B/O zarpó del Puerto de Palma de Mallorca, para navegar durante la noche del 17 al 18 Enero 2014 hasta Menorca para iniciar la campaña.

El 18 Enero 2014, el B/O llegó a la zona de trabajo al amanecer y, tras realizar un perfil de velocidad de sonido, comenzó el levantamiento batimétrico, que se continuó sin interrupción hasta las 17:50 GMT del 19 Enero 2014. En ese momento se dejó la adquisición de datos con ecosonda multi-haz, para realizar una serie de líneas sísmicas hasta las 21:00 GMT del mismo día, cuando las condiciones del mar en la zona de estudio impidieron continuar el trabajo, por lo que se optó por recalar en el Puerto de Maó. El 20 Enero 2014 no fue posible salir del Puerto, debido a las malas condiciones meteorológicas. Se inició el pre-procesado de los datos adquiridos y se realizó una primera interpretación de los mismos.

El día 21 Enero 2014 se reanudó la adquisición de multi-haz, completándose la geofísica del área de trabajo con líneas de sísmica, aunque debido a unas condiciones meteorológicas desfavorables la adquisición de datos en algunas de estas líneas no fue la adecuada. El 22 Enero 2014 el estado de mar mejoró durante el transcurso del día, lo que permitió iniciar el muestreo de sedimento con draga, completándose las 30 estaciones previstas, y repetir algunas las líneas de geofísica adquiridas en condiciones



de mar desfavorables. A medianoche se dio por concluida la campaña MAO1401\_GEOBentos, en la que finalmente se pudieron completar los principales objetivos planteados, a excepción de la realización de transectos de video con cámara submarina, debido a que no se dieron las condiciones necesarias de luz (La iluminación del sistema es insuficiente y requiere de buena luz natural), viento (el B/O no dispone de Posicionamiento Dinámico y derivaba a más de 1.5 nudos), ni oleaje (olas de 1 m de altura impidieron acercar la cámara al fondo con seguridad).

En la Figura 2.2 se resumen las actividades llevadas a cabo durante la campaña MAO1401\_GEOBentos. Debido a unas condiciones meteorológicas muy desfavorables, no fue posible trabajar todos los días, pero gracias a poder contar con tripulación y equipo científico suficiente para poder trabajar 24 horas ininterrumpidas, se pudieron aprovechar las ventanas de buen tiempo y completar los objetivos. Del tiempo que se pudo dedicar a actividades de investigación, 50 horas fueron para la adquisición de batimetría multi-haz, 20 horas para realización de perfiles sísmicos y 10 horas para toma de muestras de sedimento y realización de perfiles de velocidad de sonido.

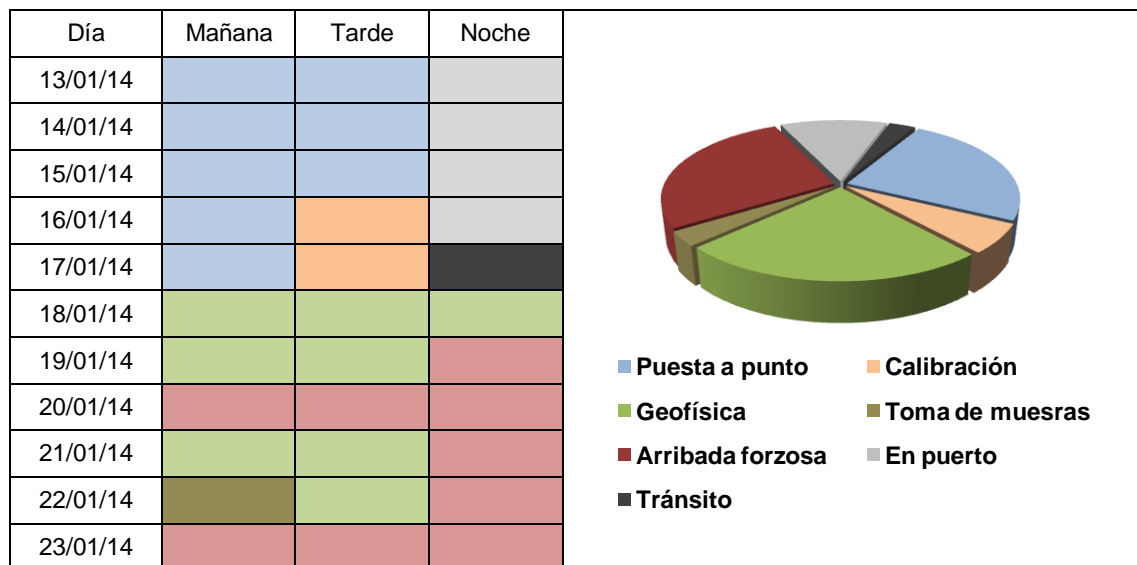


Figura 2.2. Resumen de las actividades diarias realizadas durante la campaña de investigación MAO1401\_GEOBentos y diagrama sectorial con la distribución porcentual de estas actividades.

A continuación se detallan algunas cifras que muestran los trabajos de la campaña (Figura 2.3):

- Se realizó el levantamiento batimétrico de una superficie de 5958,80 Ha, con cobertura del 100% y un solapamiento entre líneas del 25%. Para ello fue necesario navegar 178,71 millas náuticas.



- Se completaron 15 transectos de perfiles sísmicos paralelos y perpendiculares a las isobatas, que totalizaron un total de 104 km.
- Se obtuvieron 30 muestras de sedimento con draga Van Veen.
- Se realizaron 3 perfiles de velocidad de propagación del sonido.

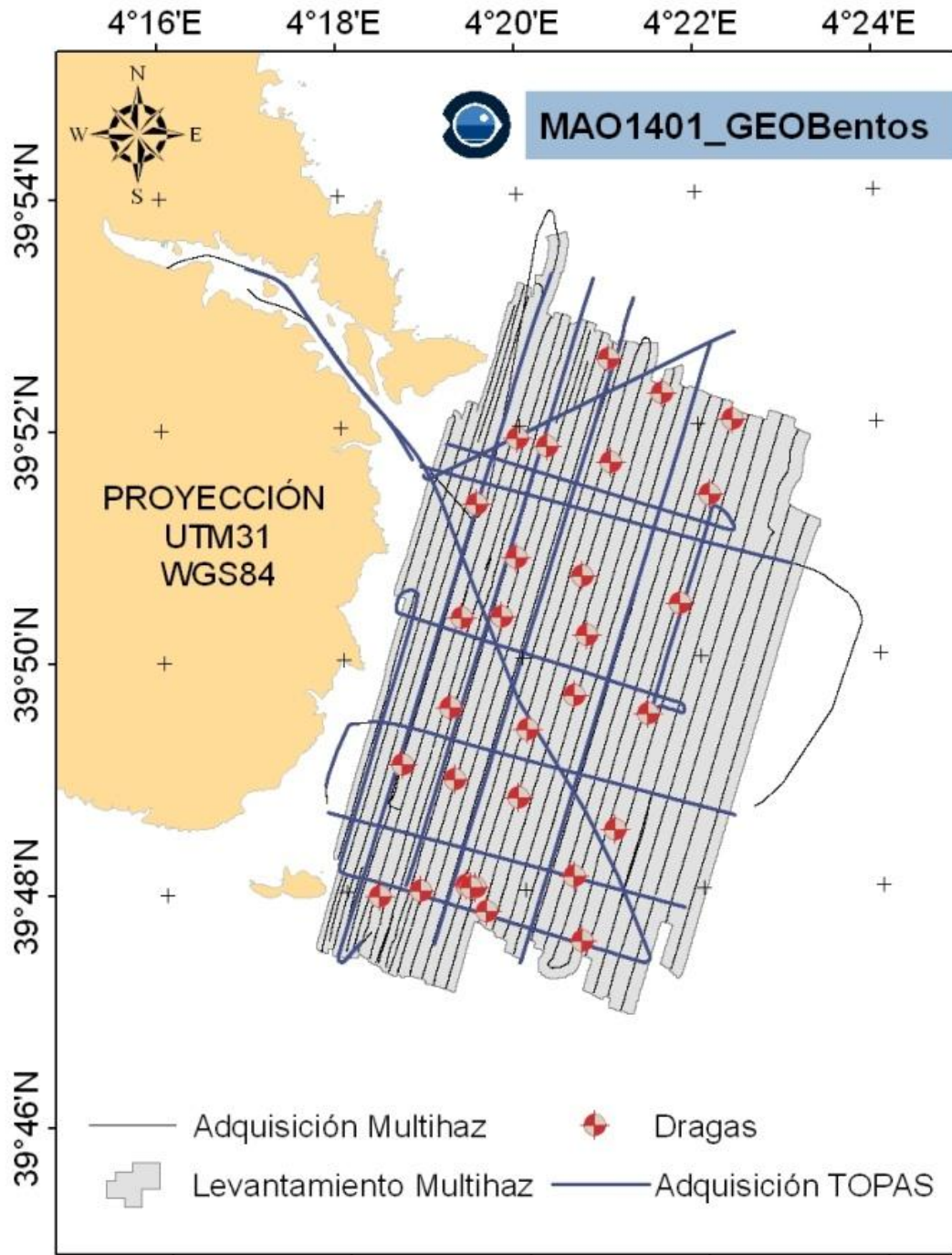


Figura 2.3. Mapa con los trabajos (transectos y estaciones de recogida de datos y muestras) realizados durante la campaña de investigación MAO1401\_GEOBentos, para la caracterización geofísica del punto de vertido y área adyacente.





En el Anexo 2.1 se detalla la metodología de las tres técnicas aplicadas durante la campaña MAO1401\_GEOBentos, dos de geofísica (multi-haz y sísmica paramétrica) y una de muestreo directo, así como el análisis de calidad de datos en el caso de la batimetría multi-haz. Los datos adquiridos con estas metodologías no sólo sirvieron para la caracterización geo-morfológica del fondo marino en la zona de estudio sino también, tras una primera interpretación, ayudaron a planificar la toma de muestras de la campaña de caracterización biológica del bentos. Además, La batimetría multi-haz servirá como cartografía base de todos los trabajos que se desarrollen en el marco del proyecto y como referencia para futuros trabajos en la zona. La información sísmica y las muestras de sedimento servirán para la interpretación geomorfológica y textural del fondo y, junto con los datos adquiridos en la campaña de muestreo biológico, servirá para la identificación y cartografiado de hábitats bentónicos.

Los datos obtenidos con ecosonda multi-haz son los de mayor utilidad para los objetivos del proyecto, ya que tanto el relieve del fondo como la reflectividad aportados por esta técnica son los dos parámetros más relevantes para la caracterización del fondo marino, de cuantas técnicas han sido aplicadas. Por esta razón, tanto en el diseño de la campaña como en su desarrollo, el levantamiento batimétrico de la zona de estudio tuvo siempre prioridad.

### 2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pese al mal tiempo, los artefactos presentes en los datos debidos a la actual configuración del sistema y la avería del sensor de sonido en superficie, su procesado hizo posible obtener un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) y un Modelo Digital del Terreno de la reflectividad (MDTr), con suficiente calidad como para realizar la interpretación de los mismos (Figura 2.4).

El MDE contiene una profundidad mínima registrada de 20,6 m y una máxima de 105,6 m, siendo la profundidad media de 63,6 m (Figura 2.5a), con una desviación típica de 14,09. La zona prospectada se localiza sobre la plataforma insular oriental de Menorca. En general, se trata de una zona de escaso relieve, con una pendiente media de  $0,79^\circ$  (Figura 2.5b) y una orientación media sur-sudeste (dirección  $116^\circ\text{N}$ ; Figura 2.5c). Al norte se encuentra La Punta de s'Esperó, que es el cabo más oriental de la isla. Bajo el agua, las estribaciones rocosas de La Mola se extienden hasta los 60 m de profundidad, alcanzando el meridiano  $4^\circ 21'\text{E}$  y delimitando el margen septentrional de la zona de estudio. El margen occidental lo marca un relieve convexo, que corresponde al límite

inferior de las praderas de fanerógamas marinas y que termina bruscamente a una profundidad de 40 m. El margen meridional lo marca la isla del Aire, no existiendo bajo el agua ningún accidente geográfico destacable. En el margen oriental destaca un campo de ondas de sedimento, de al menos 1400 Ha, que se extiende más allá de la zona cartografiada.

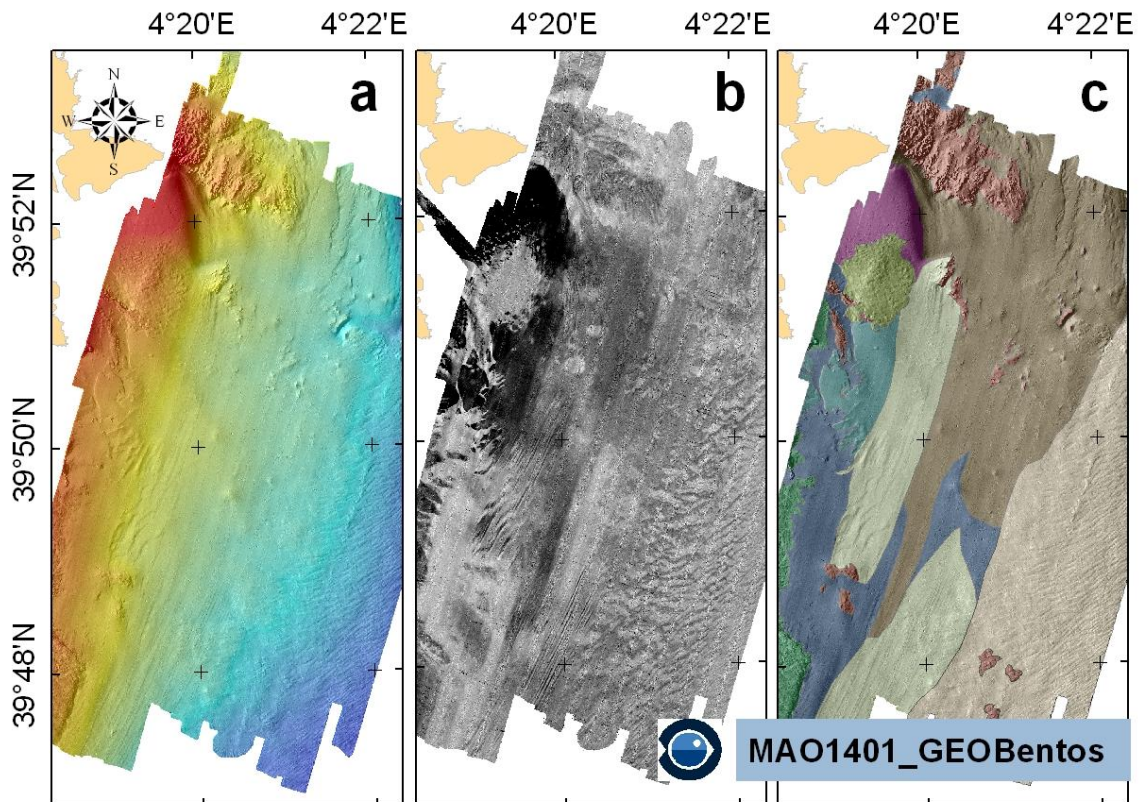


Figura 2.4. Modelos digitales del fondo marino (a: elevaciones con sombreado; b: reflectividad; c: interpretación con sombreado), elaborados con los datos obtenidos durante la campaña de investigación MAO1401\_GEOBentos.

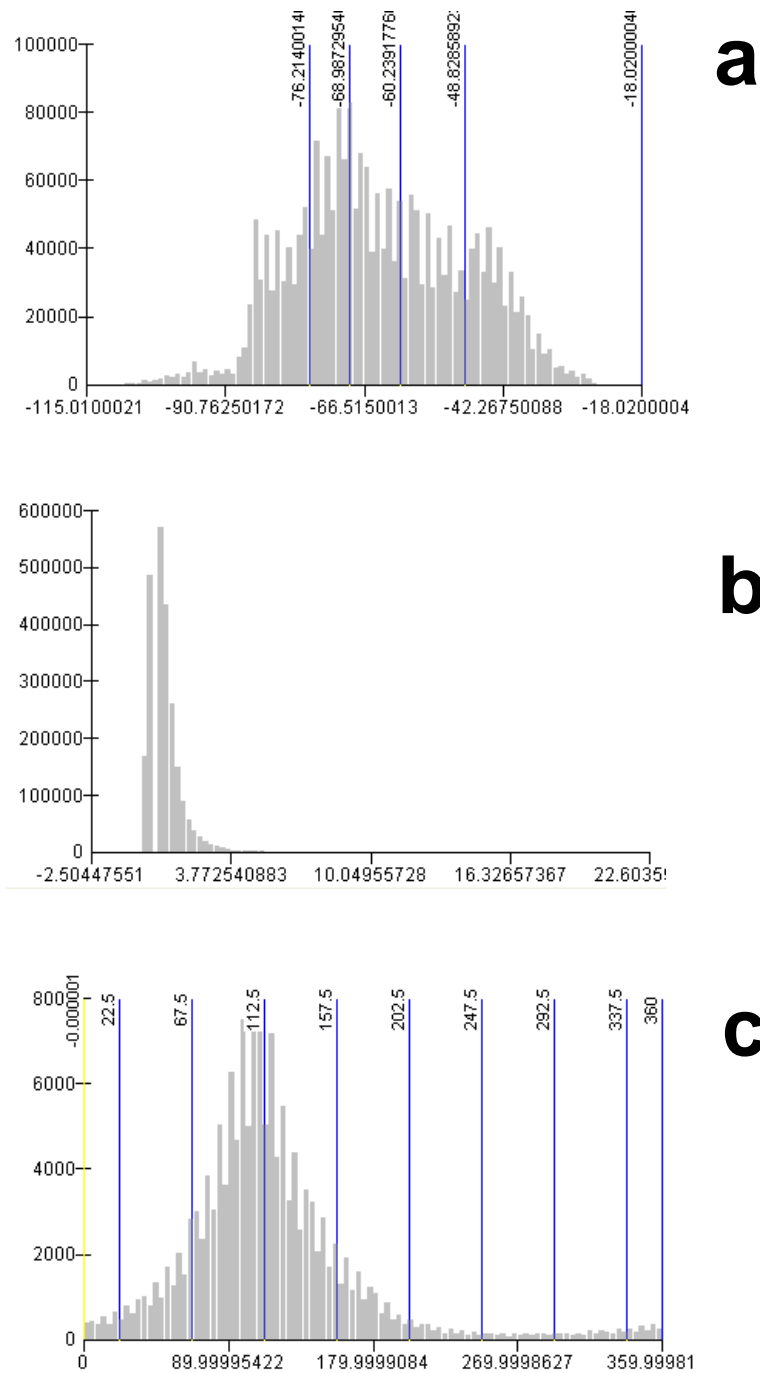


Figura 2.5. Histograma de valores de profundidad (a), pendiente (b) y orientación (c) del fondo marino, elaborados con los datos obtenidos durante la campaña de investigación MAO1401\_GEOBentos.

Dentro de la homogeneidad que caracteriza la zona de estudio, cabe destacar algunos elementos geomorfológicos singulares naturales y antrópicos. Estos últimos son los más llamativos, ya que implican la acción humana sobre un volumen de sedimentos muy



grande para que pueda ser detectable por las técnicas geofísicas empleadas a la escala de trabajo. A continuación se describen estos elementos:

- o **Campo de ondas de sedimento:** En el este de la zona levantada se extiende un campo de ondas de sedimento parcialmente cartografiado (Figura 2.6). Las ondas sedimentarias comienzan a ser apreciables a partir de los 70 m de profundidad hasta, por lo menos, 90 m. Este campo es más estrecho en el margen septentrional y se va ensanchando hacia el sur, hasta salir del marco del levantamiento realizado. Las ondas presentan amplitudes sub-métricas y una longitud de onda en torno a los 80 m de media. La naturaleza de las crestas es de un material menos reflectivo que las de los valles, por lo que probablemente se corresponda con sedimentos finos desplazándose sobre sedimentos de mayor grano.
- o **Afloramientos rocosos:** Aunque representan un pequeño porcentaje del área prospectada, se localizan en varias zonas (Figura 2.7). La más importante es la situada al norte, como continuación de La Mola. Los canales y fracturas fácilmente reconocibles en la batimetría y las arenas de alta reflectividad que discurre entre ellos indican una energía alta en esta zona.
- o **Formas gravitacionales:** Se aprecian en dos localizaciones distintas del área levantada (Figura 2.8). Una zona se encuentra al este de La Mola, a partir de los 65 m de profundidad. La otra zona se encuentra en un fondo de 55 m a la altura del paralelo 39°49'N. Este grupo presenta formas erosivas marcadas, pero no se aprecian lóbulos de deslizamiento claros. Sobre ellas son apreciables marcas de artes de arrastre, también presentes en otras zonas del levantamiento. Probablemente sea la pesca de arrastre el mecanismo de disparo de estos pequeños deslizamientos, algo que ya ha sido descrito en la bibliografía como un proceso a mayor escala (Puig *et al.*, 2012).
- o **Vertido de dragados:** Próximo a la zona prevista para depositar el material de dragado, en el MDE se puede apreciar un acúmulo de material vertido en dragados anteriores, identificable por un relieve positivo de mayor rugosidad que el fondo circundante (Figura 2.9). Su forma es lenticular, con un diámetro de unos 1400 m y su reflectividad es elevada. Al norte de este depósito se encuentra un cuerpo sedimentario progradante, cuya capa más superficial probablemente esté compuesta por material fino, ya que su reflectividad es menor. Al este hay un afloramiento rocoso de unos 500 m y entre los depósitos de vertido y este

afloramiento son reconocibles también marcas de artes de arrastre. Al sur se puede identificar una costra de sedimento menos reflectivo, surcada por canales erosivos con un fondo de mayor reflectividad.

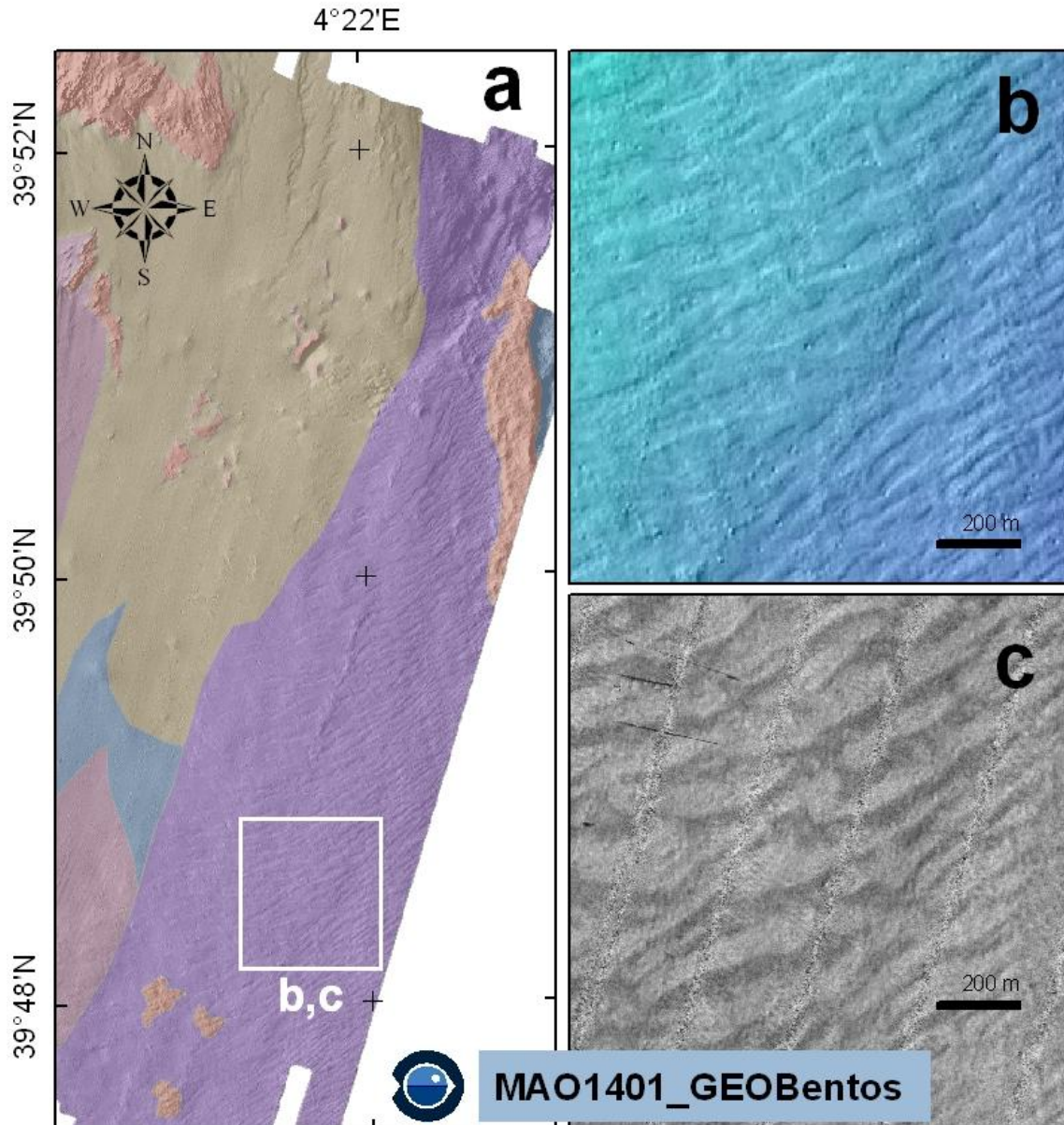


Figura 2.6. Campo de ondas de sedimento detectadas en los modelos digitales del fondo marino, elaborados con los datos obtenidos durante la campaña de investigación MAO1401\_GEOBentos. a: Situación en el marco de la zona de trabajo, el área morada delimita la extensión del campo de ondas; b: Detalle del Modelo Digital de Elevaciones (MDE); c: Modelo Digital del Terreno de la reflectividad (MDTr) en escala de grises, desde blanco (más reflectivo) a negro (menos reflectivo).

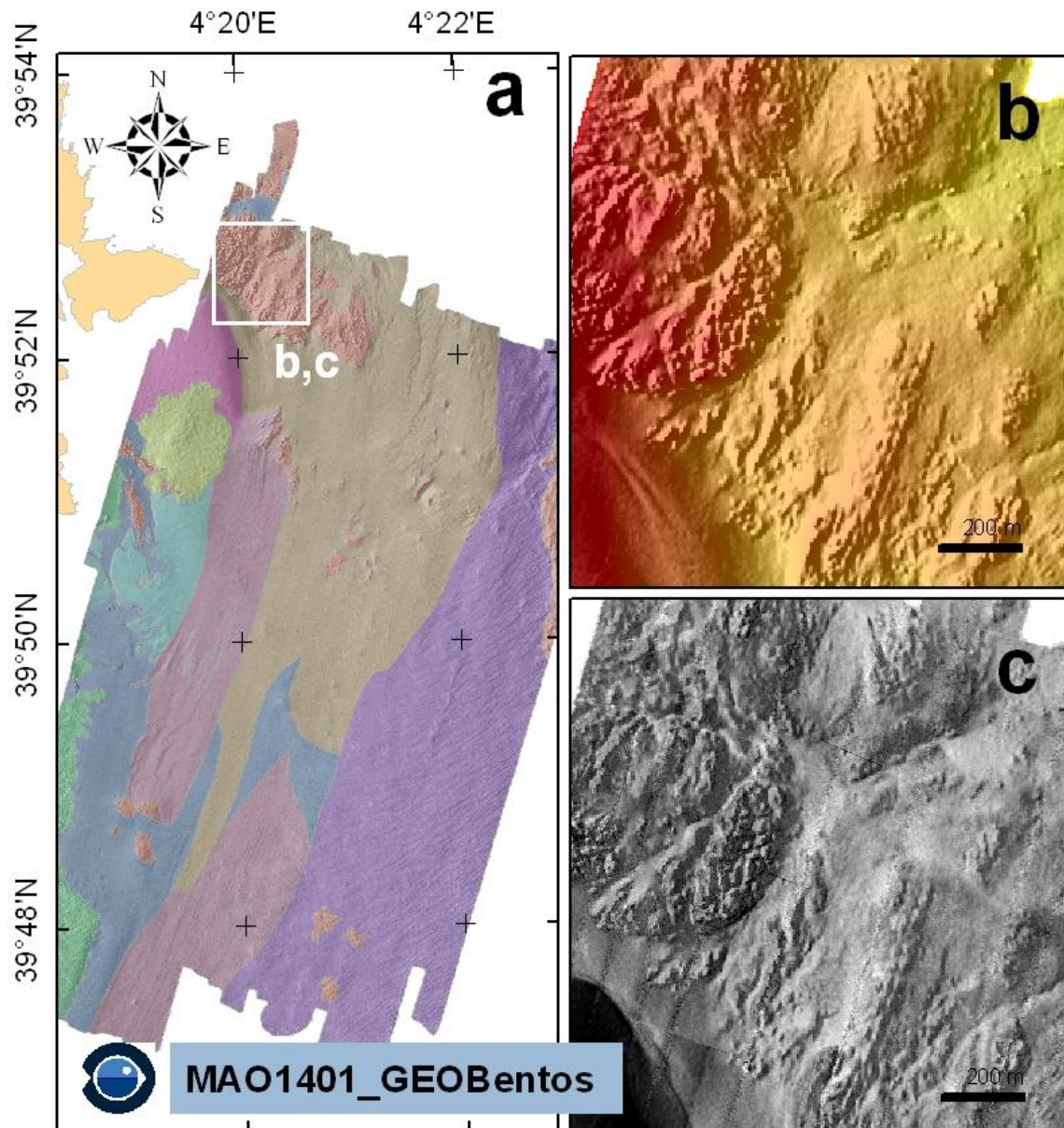


Figura 2.7. Afloramiento rocoso detectado en los modelos digitales del fondo marino, elaborados con los datos obtenidos durante la campaña de investigación MAO1401\_GEOBentos. a: Situación en el marco de la zona de trabajo; b: Detalle del Modelo Digital de Elevaciones (MDE) con la batimetría en escala de color y sombreado; c: Modelo Digital del Terreno de la reflectividad (MDTr) en escala de grises, desde blanco (más reflectivo) a negro (menos reflectivo) y sombreado.

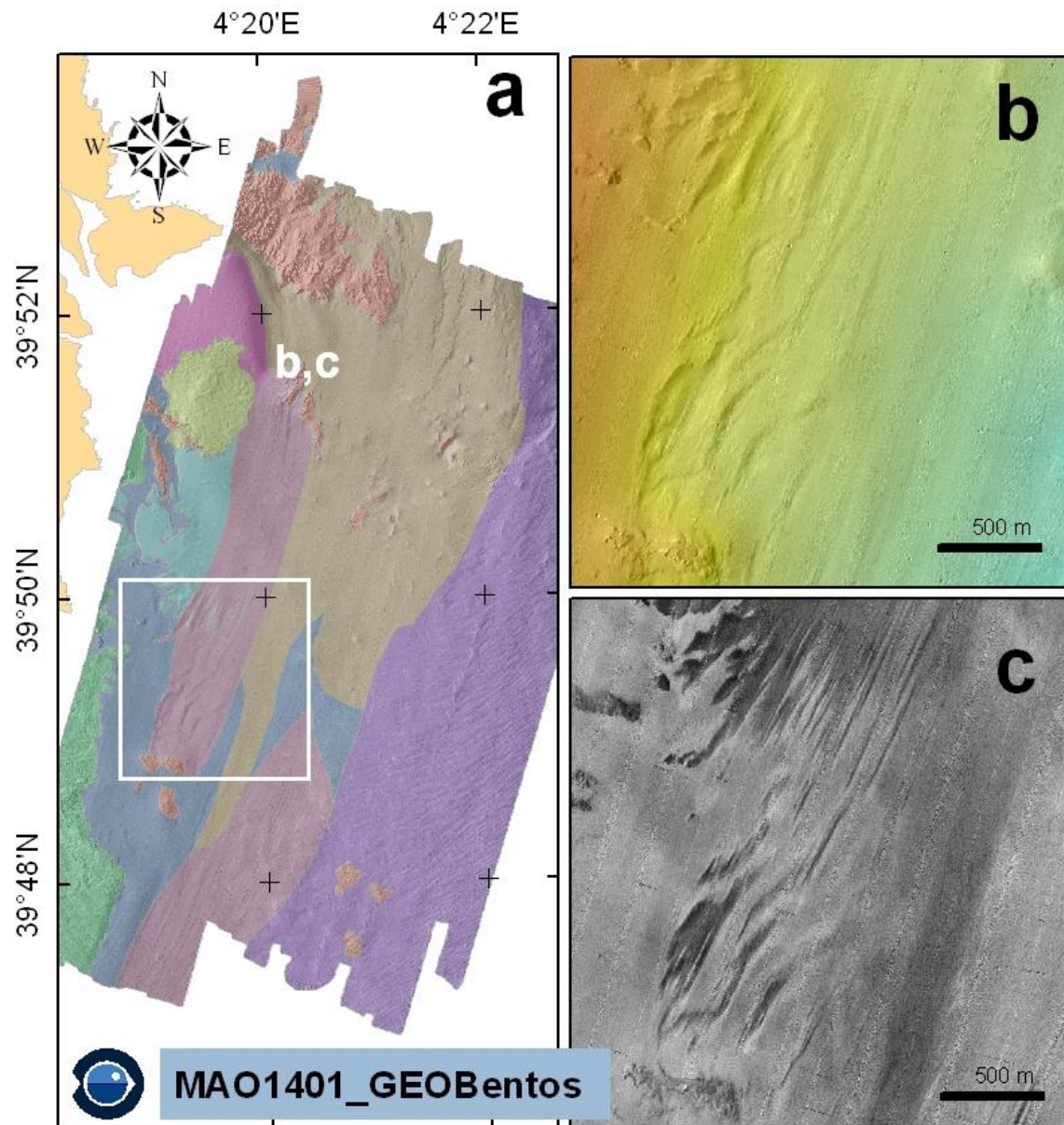


Figura 2.8. Formas gravitacionales detectadas en los modelos digitales del fondo marino, elaborados con los datos obtenidos durante la campaña de investigación MAO1401\_GEOBentos. a: Situación en el marco de la zona de trabajo; b: Detalle del Modelo Digital de Elevaciones (MDE) con la batimetría en escala de color y sombreado; c: Modelo Digital del Terreno de la reflectividad (MDTr) en escala de grises, desde blanco (más reflectivo) a negro (menos reflectivo) y sombreado, donde son visibles las marcas de artes de arrastre.

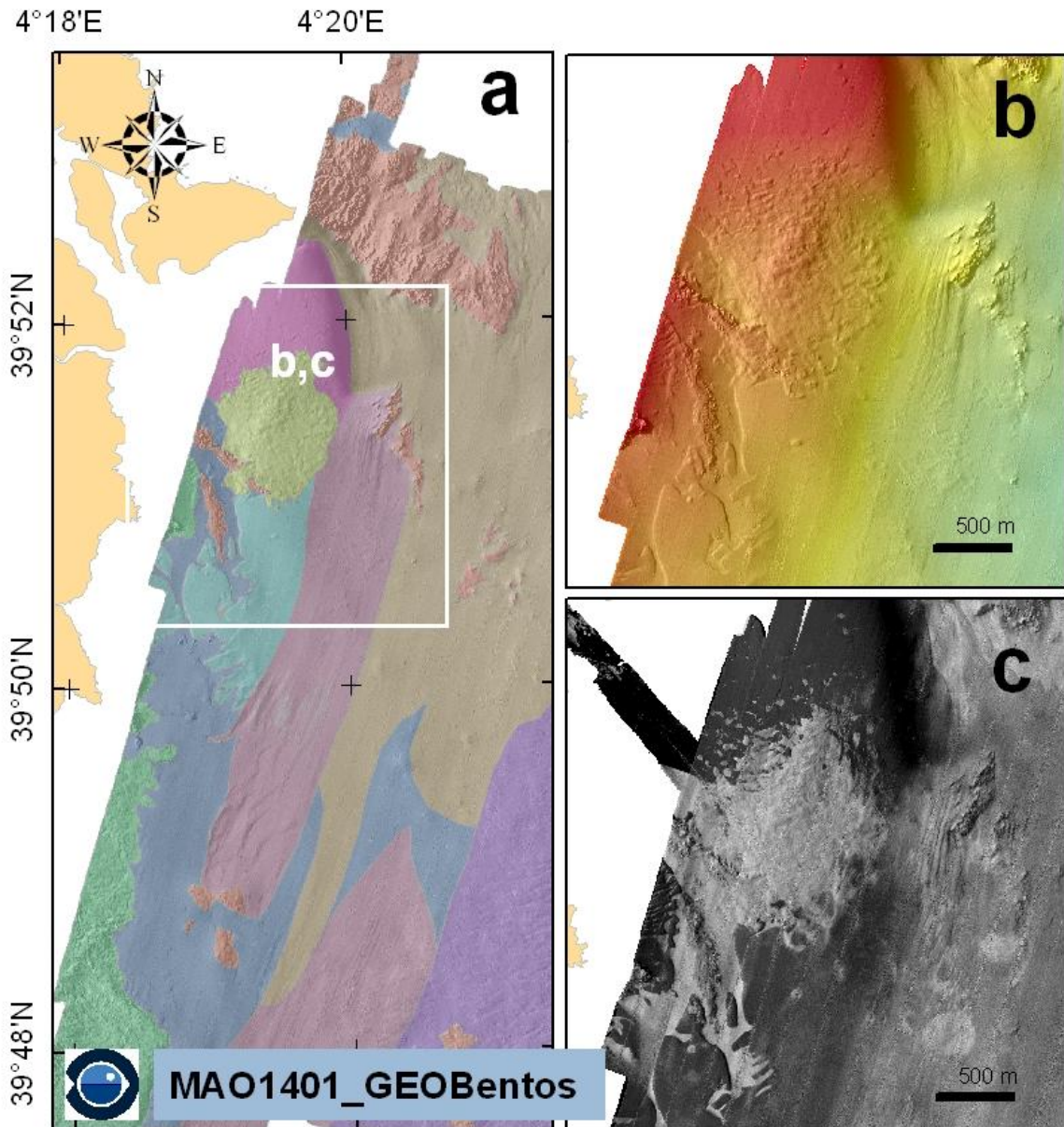


Figura 2.9. Depósito de dragado detectado en los modelos digitales del fondo marino, elaborados con los datos obtenidos durante la campaña de investigación MAO1401\_GEOBentos. a: Situación en el marco de la zona de trabajo; b: Detalle del Modelo Digital de Elevaciones (MDE) con la batimetría en escala de color y sombreado; c: Modelo Digital del Terreno de la reflectividad (MDTr) en escala de grises, desde blanco (más reflectivo) a negro (menos reflectivo) y sombreado.

El modelo de concavidad y convexidad del fondo marino, en el que también se han representado las marcas de artes de arrastre, muestra que el punto propuesto para el vertido es cóncavo y evidencia una posible actividad de pesca de arrastre en esta zona (Figura 2.10). A pesar de que esta concavidad del fondo en el punto de vertido es adecuada para el confinamiento blando de los sedimentos dragados más contaminados,

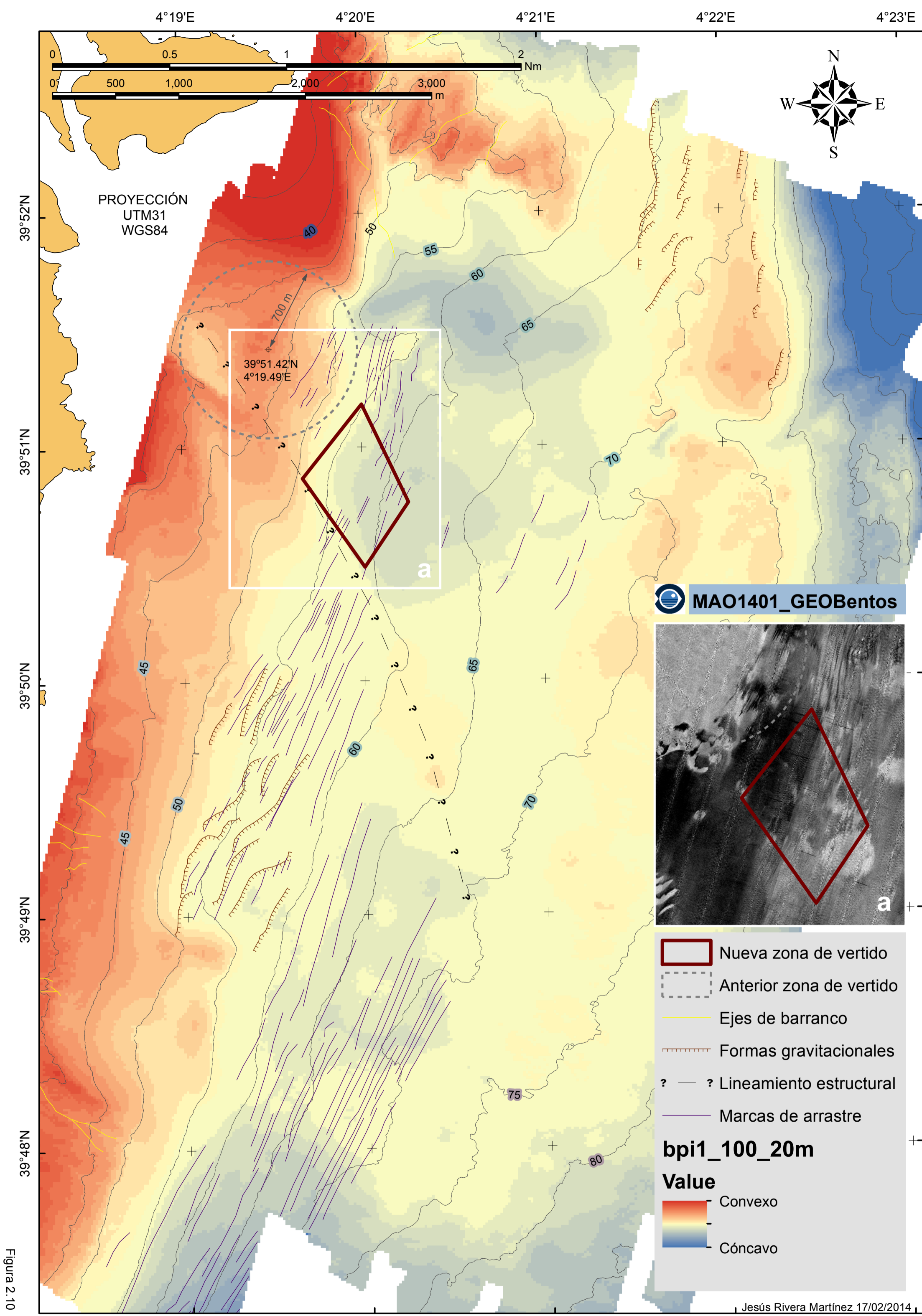





las evidencias de actividad de pesca de arrastre en esta zona hacen conveniente que durante el dragado y hasta que los sedimentos vertidos no estén bien consolidados (un período por determinar), se debería suprimir la pesca de arrastre en esta área, para evitar la re-suspensión de sedimentos. Por las dimensiones reducidas del área, esta medida no debería suponer un gran impacto sobre la actividad normal de esta pesquería.

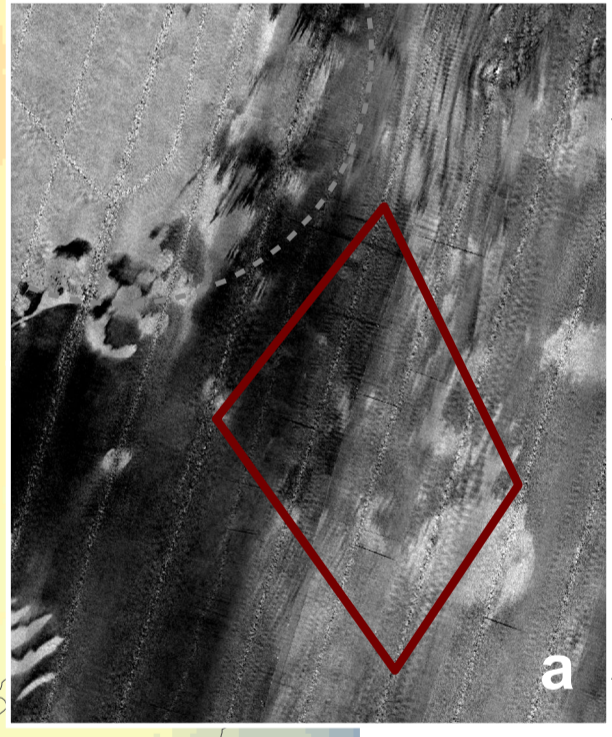
A modo de síntesis, se han elaborado mapas en mayor formato, que incluyen los elementos geomorfológicos singulares, naturales y antrópicos, descritos anteriormente (Figuras 2.10 y 2.11), así como un mapa morfológico (Figura 2.12) y mapas morfométricos (Figura 2.13). Señalar, por último, que los resultados obtenidos confirman la información existente sobre el punto de vertido, en relación a que se trata de un área previamente impactada por el vertido de obras de dragado anteriores. La pesca de arrastre de fondo y los procesos de advección que actúan sobre el material resuspendido, tienen el efecto de difuminar los contornos de las formas sedimentarias del fondo, dejando una huella característica, que identifica ese fondo como impactado por la acción humana. Mediante la geofísica se ha podido reconocer los depósitos de vertidos de dragados anteriores y determinar su extensión. Por ello, la repetición de esta campaña una vez finalizadas las obras de dragado, permitirá valorar el impacto de los nuevos vertidos y, si es necesario, hacer su seguimiento durante los años siguientes.





PROYECCIÓN  
UTM31  
WGS84

 MAO1401\_GEOBentos



**bpi1\_100\_20m**

**Value**

-  Convexo
-  Cóncavo

-  Nueva zona de vertido
-  Anterior zona de vertido
-  Ejes de barranco
-  Formas gravitacionales
-  Lineamiento estructural
-  Marcas de arrastre

Figura 2.10

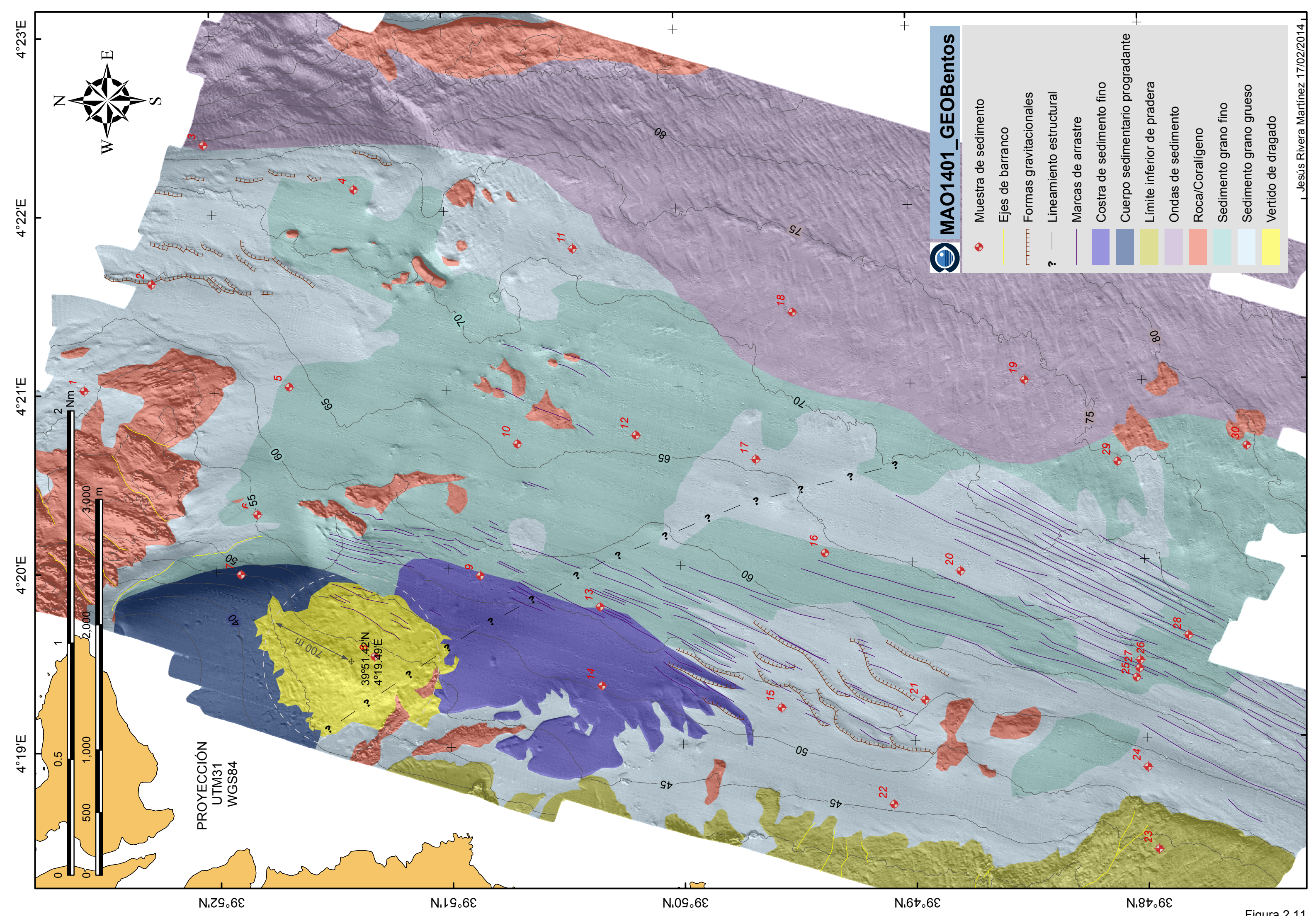


Figura 2.11

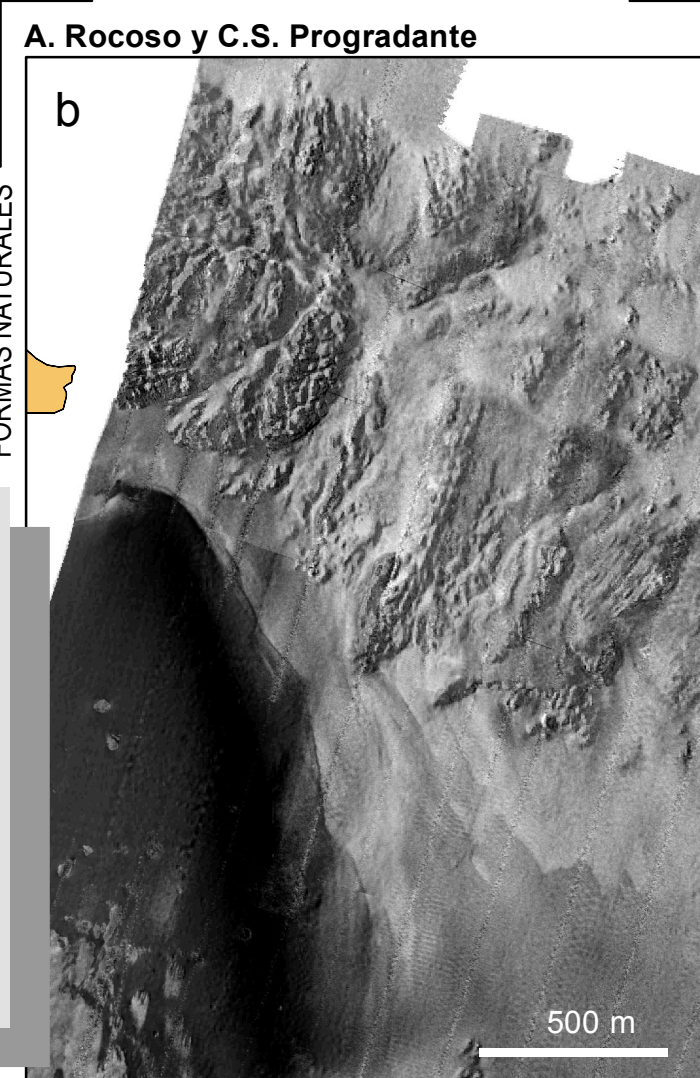
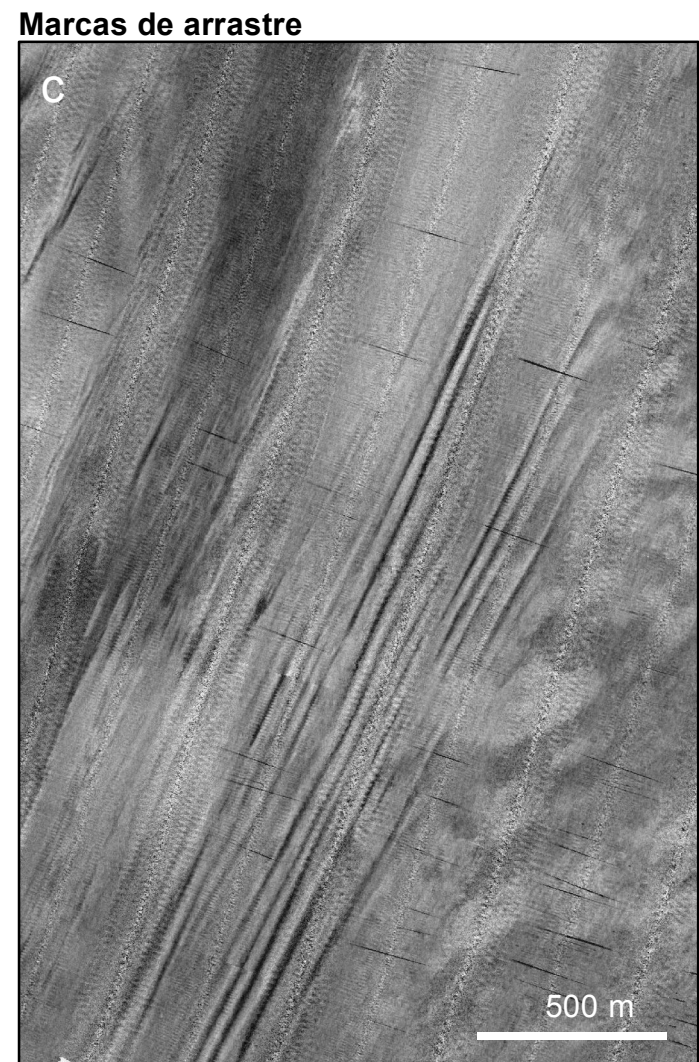
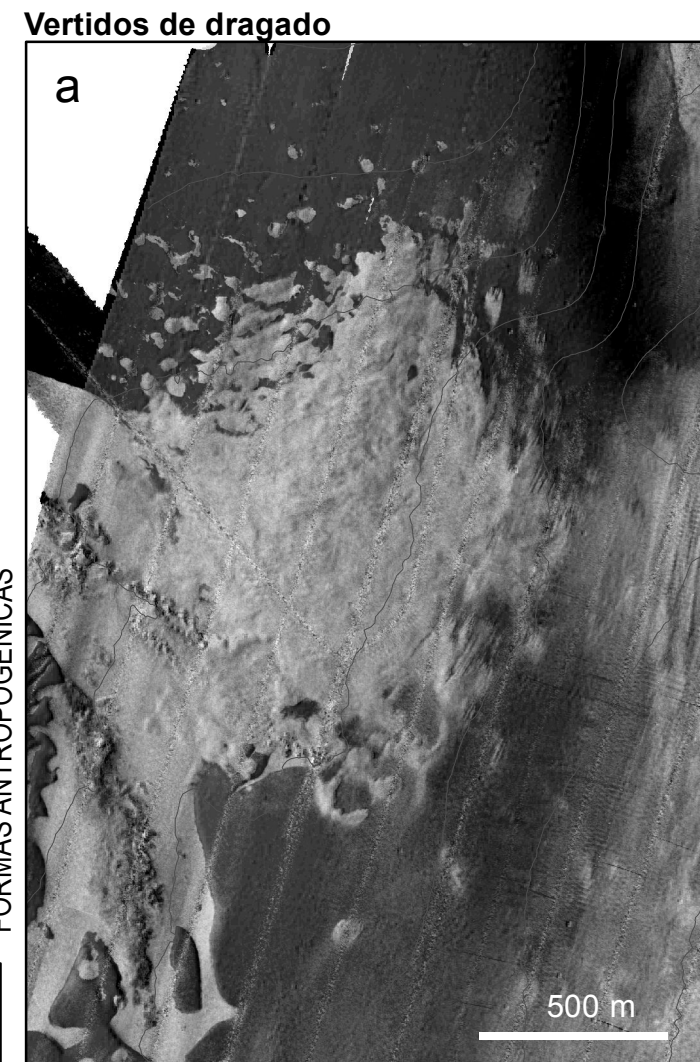
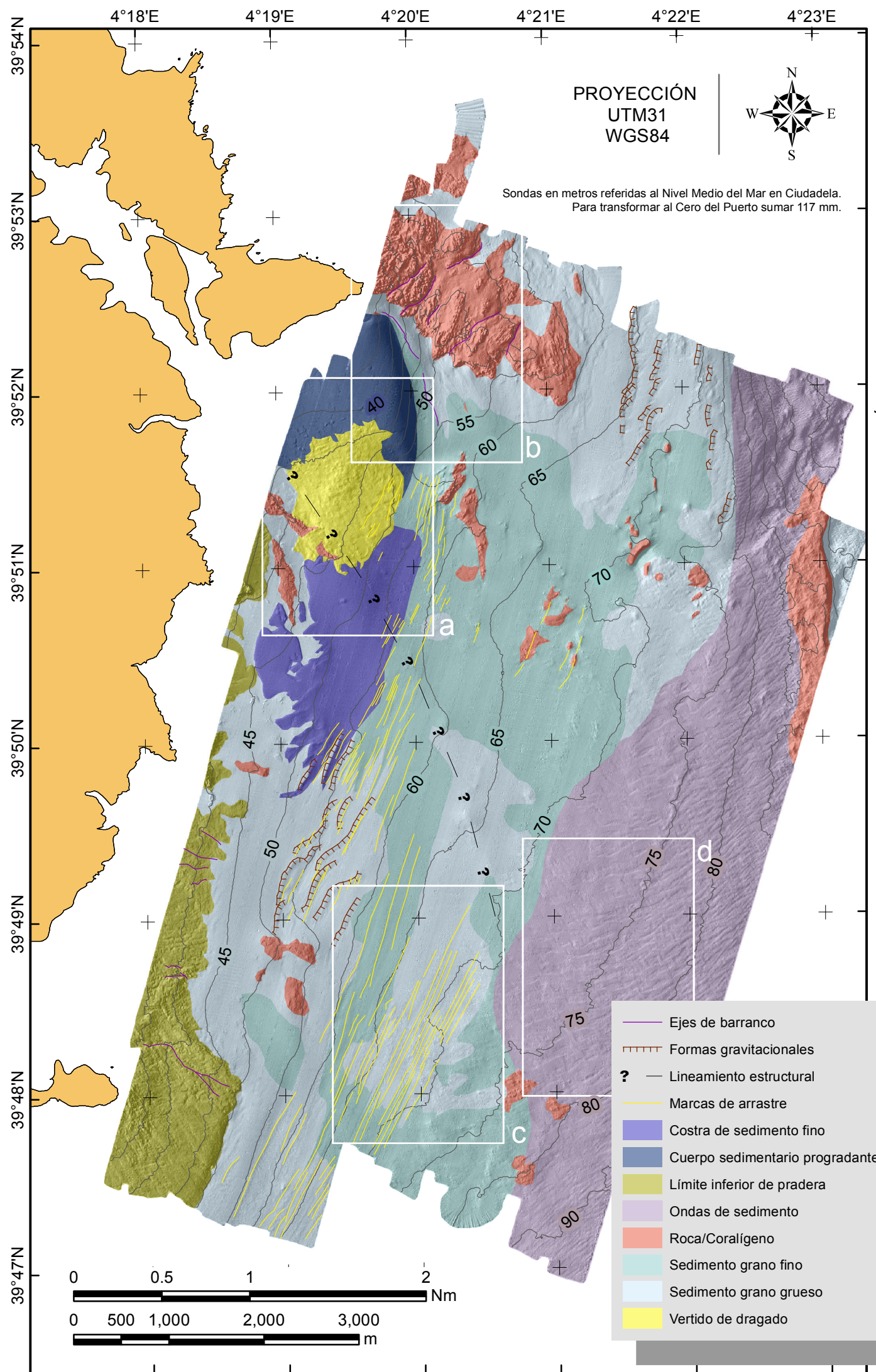
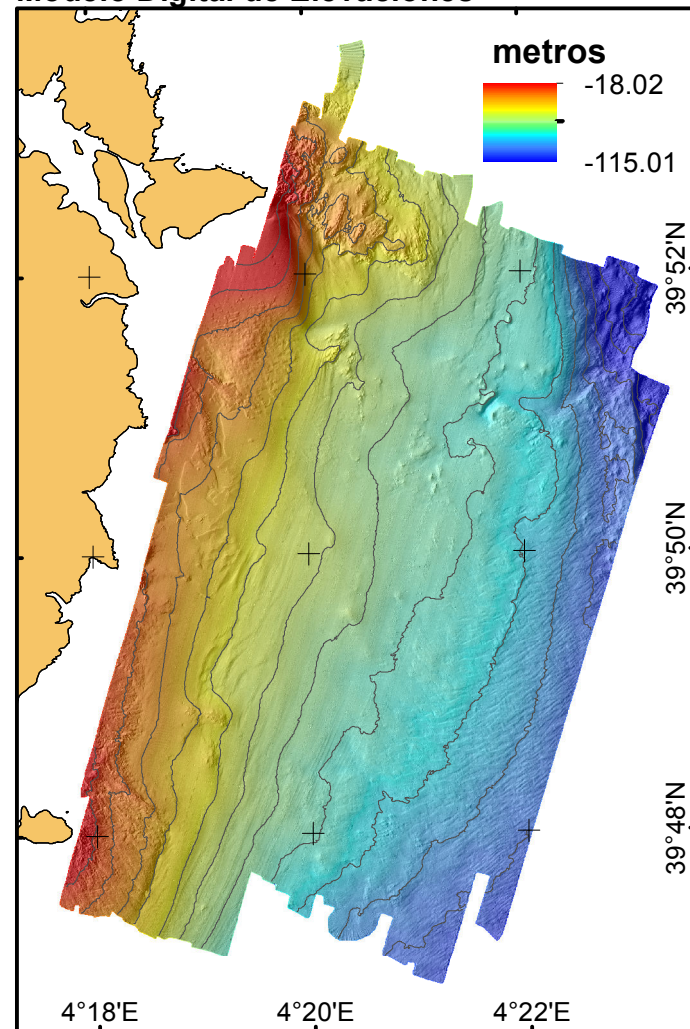
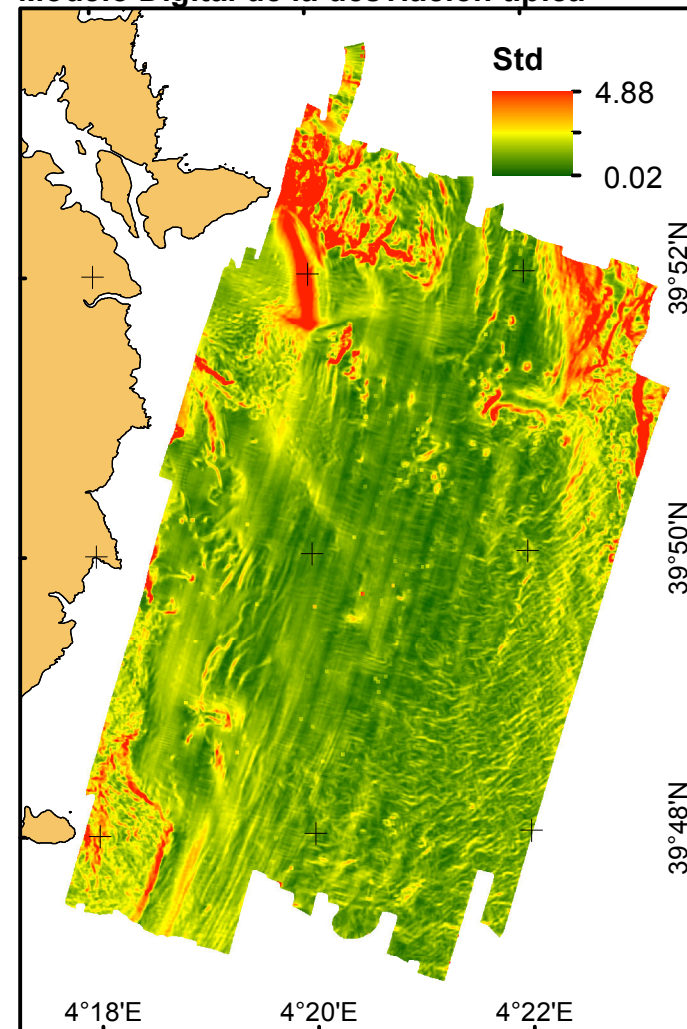


Figura 2.12

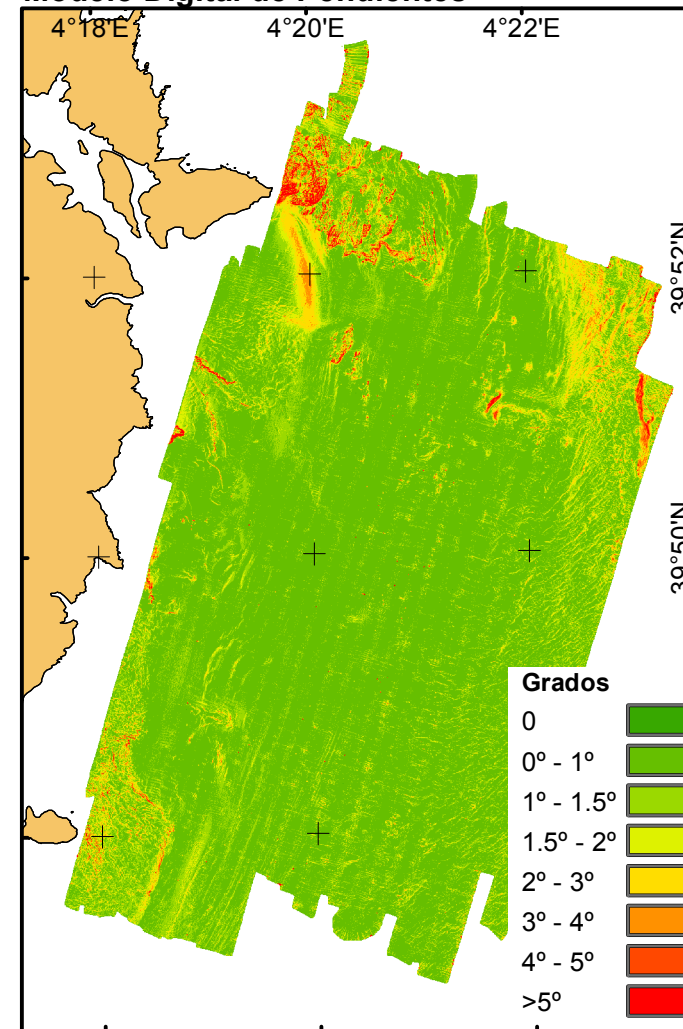
Modelo Digital de Elevaciones



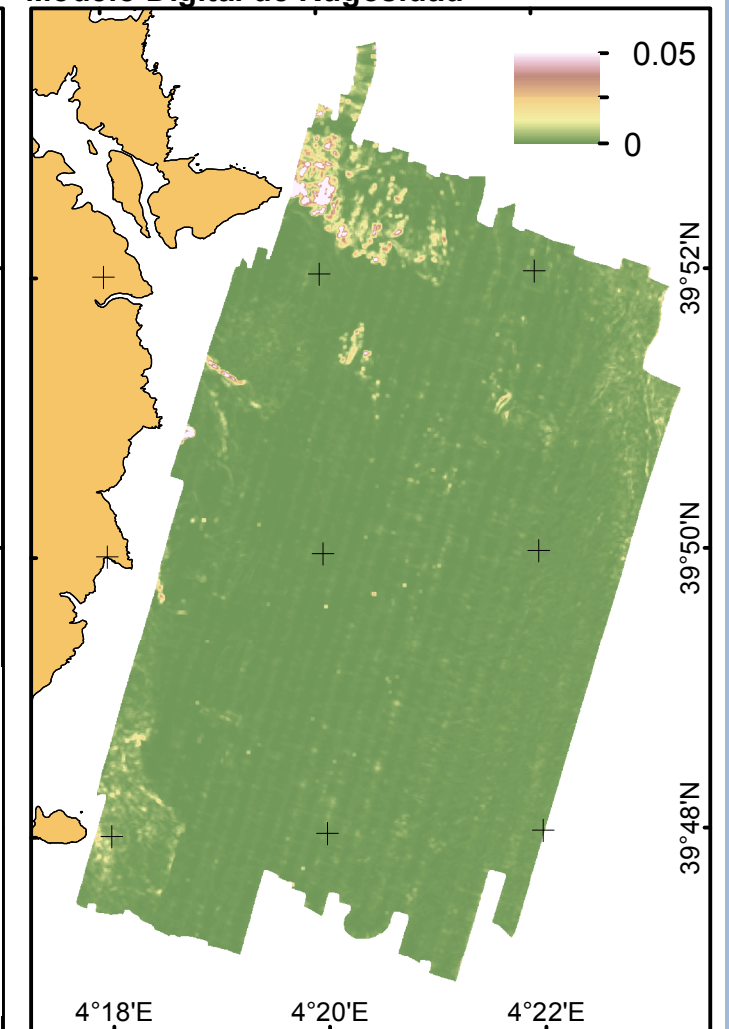
Modelo Digital de la desviación típica



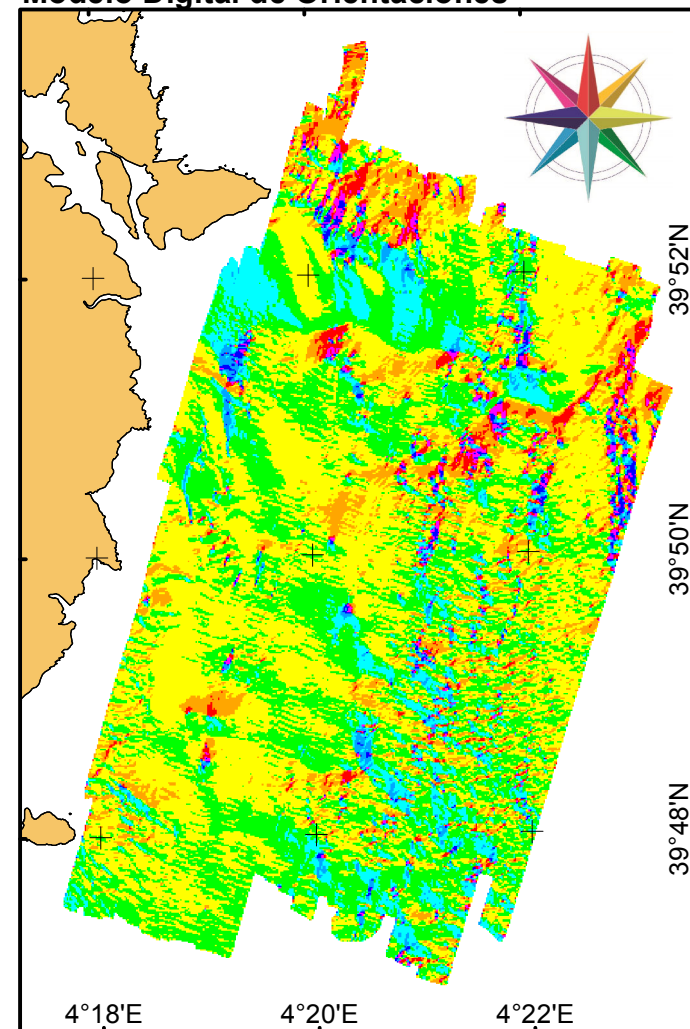
Modelo Digital de Pendientes



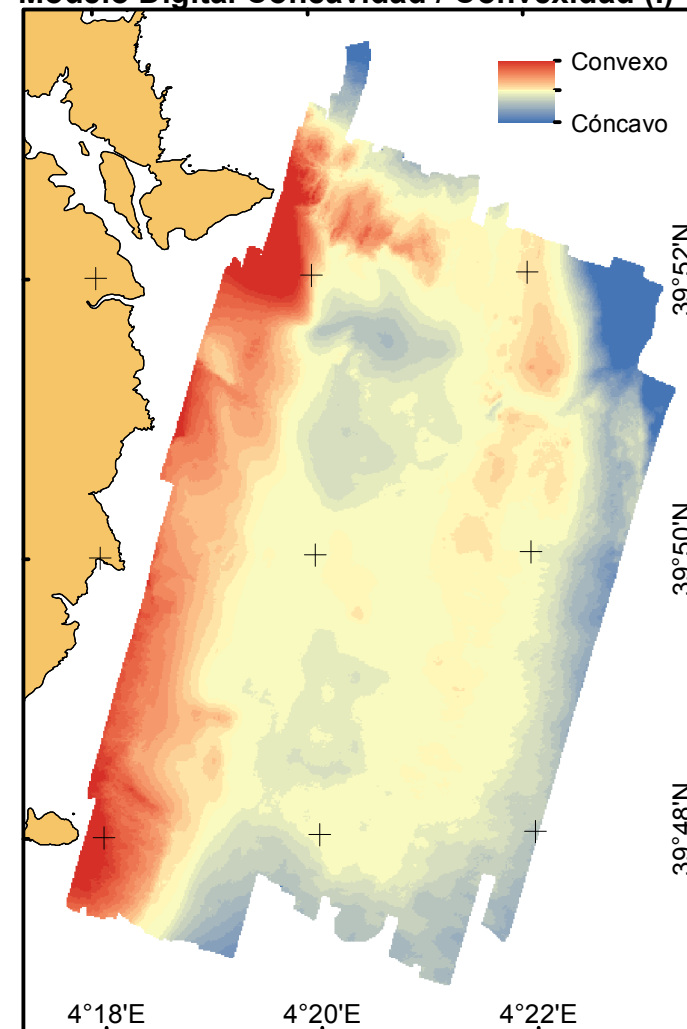
Modelo Digital de Rugosidad



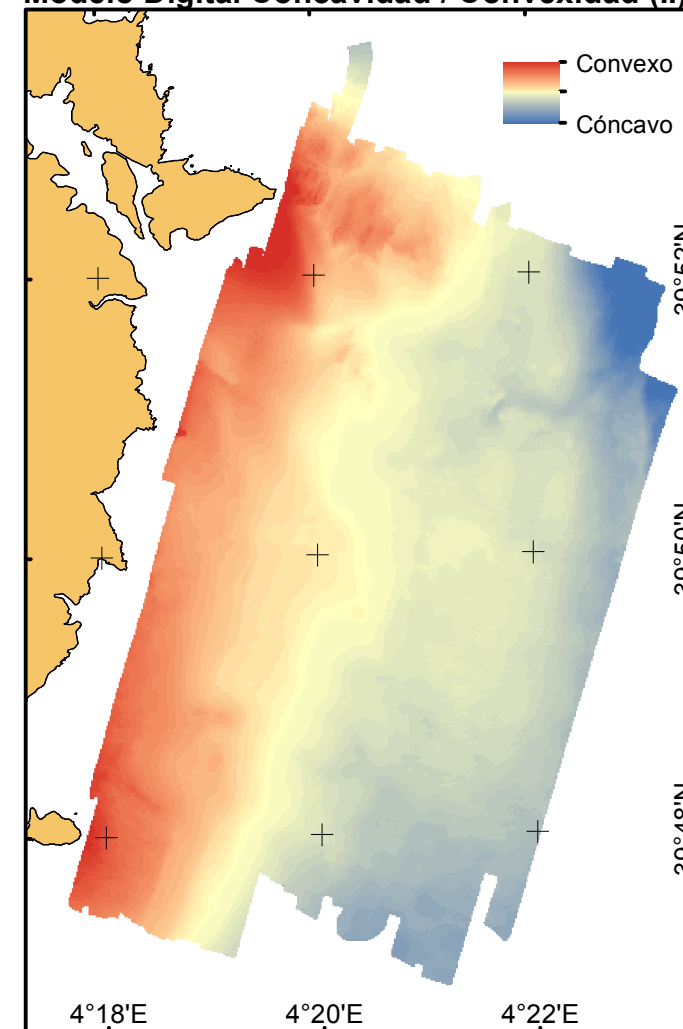
Modelo Digital de Orientaciones



Modelo Digital Concavidad / Convexidad (I)



Modelo Digital Concavidad / Convexidad (II)



Modelo Digital de Elevaciones

MDE. Profundidades en metros a partir del levantamiento realizado con ecosonda multihaz.

Modelo Digital de Pendientes

MDT\* de la pendiente del terreno expresada en grados según la escala de la figura.

Modelo Digital de la desviación típica

MDT\* que muestra el valor de la desviación típica en un punto respecto del valor de la profundidad en un área de 250m a su alrededor.

Modelo Digital de Rugosidad

MDT\* que expresa la rugosidad del terreno mediante el índice VRM (Vector Ruggness Measure) definido por Sappington et al. 2007. Los valores del índice oscilan entre 0 y 1 siendo 0 una superficie lisa y 1 una superficie con la máxima rugosidad.

Modelo Digital de Orientaciones

MDT\* que muestra la Orientación del fondo respecto a las coordenadas geográficas según la clave de color de la rosa de los vientos inserta en la figura.

Modelo Digital de Concavidad / Convexidad (I)

MDT\* que muestra la altura relativa en un punto respecto a la altura de los puntos circundantes en un radio de 200 m. En color azul las zonas deprimidas (Cóncavas), en color rojo las zonas elevadas (Convexas). En amarillo las zonas llanas.

Modelo Digital de Concavidad / Convexidad (II)

MDT\* que muestra la altura relativa en un punto respecto a la altura de los puntos circundantes en un radio de 400 m. En color azul las zonas deprimidas (Cóncavas), en color rojo las zonas elevadas (Convexas). En amarillo las zonas llanas.

PROYECCIÓN  
UTM31  
WGS84

\* MDT: Modelo Digital del terreno.

Figura 2.13





## ANEXO 2.1. Metodología de las tres técnicas aplicadas durante la campaña MAO1401\_GEOBentos y análisis de calidad de datos de la batimetría multi-haz

### Batimetría multi-haz

Esta técnica aporta dos productos finales: (i) la batimetría del área de estudio en un Modelo Digital de Elevaciones MDE de 5 x 5 m de resolución; y (ii) la reflectividad en un Modelo Digital del Terreno MDT, de la misma resolución que expresa la intensidad de la señal acústica reflejada por el fondo.

La ecosonda utilizada fue un modelo EM3002D de Kongsberg. Su precisión y exactitud vertical, así como la precisión horizontal es de 1 cm. La exactitud horizontal depende del método de posicionamiento empleado. En este caso se utilizó GPS diferencial por corrección satelital Omniestar, con una exactitud de 35 cm.

Para la corrección de la refracción se realizaron perfiles diarios de velocidad de propagación del sonido en la columna, para lo que se utilizó un perfilador AML SvPlus de Applied MicroSystems. No pudo utilizarse la corrección de velocidad de sonido en superficie, debido a que el sensor se encontraba averiado.

La corrección de mareas se aplicó en post-proceso, conforme al registro tomado por el mareógrafo radar de Puertos del Estado, situado en el Islote de Pinto. Los valores de nivel del mar medidos se transformaron al Nivel Medio del Mar en Ciutadella NMMC, que es el nivel medio del mar de referencia en la isla de Menorca. Se eligió esta referencia vertical en lugar del cero del Puerto, o el cero hidrográfico, por ser la referencia que guarda relación con procesos naturales. Debido a las oscilaciones de presión atmosférica responsables del mal tiempo, la amplitud de la marea observada fue el doble de la marea astronómica (Figura 2A.1).

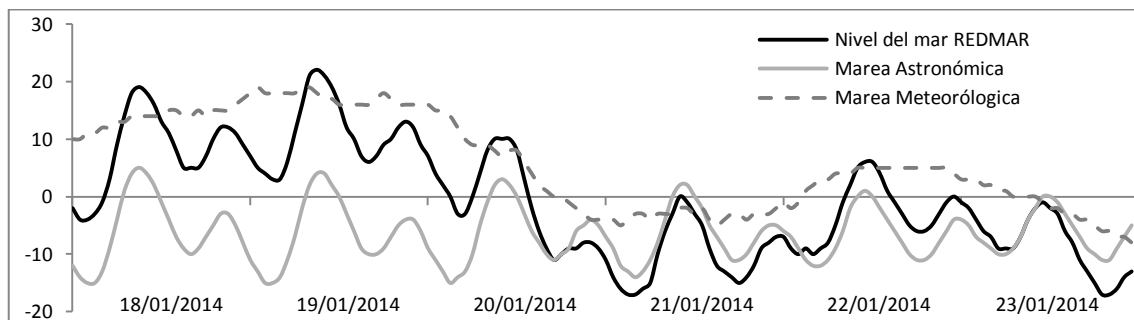


Figura 2A.1. Registro de marea del Puerto de Maó durante los días en que se desarrolló la campaña de investigación MAO1401\_GEOBentos. La gráfica muestra el nivel medio del mar, la marea astronómica y la marea meteorológica, referidas al Cero del Puerto. En el procesado de la batimetría multi-haz se ha aplicado la corrección respecto al Nivel Medio del Mar en Ciutadella (-117 mm respecto del Cero del Puerto).



Para determinar la calidad de los datos, se adquirieron varias líneas de comprobación. Todas las sondas analizadas cumplieron las condiciones de la IHO para Orden 2, el 99,9% lo cumplió para Orden 1 y el 99,8% para Orden Especial (Figura 2A.2). A continuación se detallan los resultados de esta comprobación:

#DATA\_RECORD: D:\PreProcess\MAO1401\0241\_20140122\_214548\_FcoPaulaNavarro.all

- 679919 # Number of Points of Comparison
- -56.084876 # Data Mean
- -57.030313 # Reference Mean
- 0.005437 # Mean
- 0.003401 # Median
- 0.098006 # Std. Deviation
- -64.81 -47.83 # Data Z - Range
- -65.05 -49.00 # Ref. Z - Range
- -1.00 1.00 # Diff Z - Range
- 0.201449 # Mean + 2\*stddev
- 0.199413 # Median + 2\*stddev
- 0.809771 # Ord 1 Error Limit
- 1.506654 # Ord 2 Error Limit
- 0.444458 # Special Order Error Limit
- 0.000144 # Ord 1 P-Statistic
- # Ord 2 P-Statistic
- 0.001915 # Special Order P-Statistic
- 98 # Ord 1 - # Rejected
- # Ord 2 - # Rejected
- 1302 # Special Order - # Rejected
- # Order 1 Survey **ACCEPTED**
- # Order 2 Survey **ACCEPTED**
- # Special Order Survey **ACCEPTED**

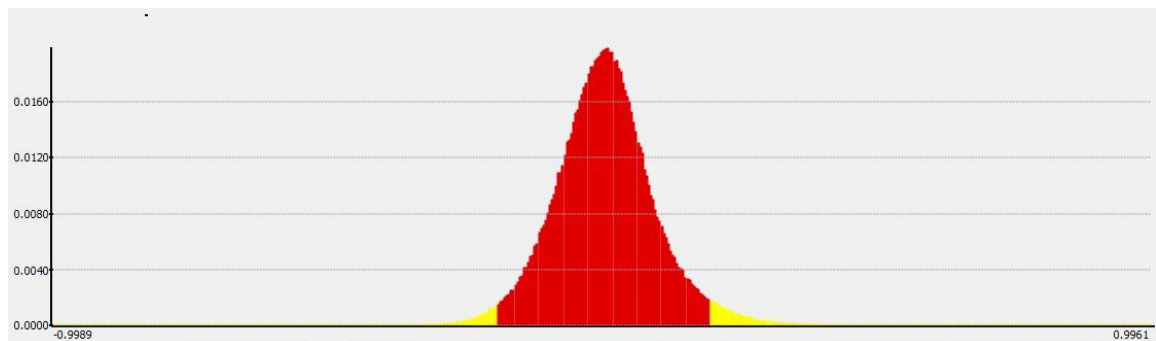


Figura 2A.2. Análisis de calidad de datos de la batimetría multi-haz aplicada durante la campaña de investigación MAO1401\_GEOBentos. La gráfica muestra el histograma de la diferencia de cota de cada sonda respecto a la superficie de referencia.



## Sísmica paramétrica

Las técnicas geofísicas hacen posible estudiar la continuidad, extensión y límites de los biotopos que tengan una firma acústica característica. La sísmica paramétrica es muy útil a la hora de interpretar los datos adquiridos con ecosonda multi-haz. Por ejemplo, ayudando a determinar si la rugosidad y alta reflectividad observada en los datos de multi-haz es el resultado de la presencia de una estructura reflectora aflorante (Figura 2A.3), de dureza mayor que la cobertura sedimentaria que lo oculta parcialmente, o por el contrario esa firma acústica no tiene continuidad bajo el fondo marino, lo que indicaría un crecimiento biológico de naturaleza calcárea sobre la cobertera sedimentaria.

Los perfiles sísmicos adquiridos muestran un fondo duro, que permite una escasa penetración de la señal. Como máximo, se registraron penetraciones de 5 ms TWTT, que corresponderían a espesores de unos 4,5 m.

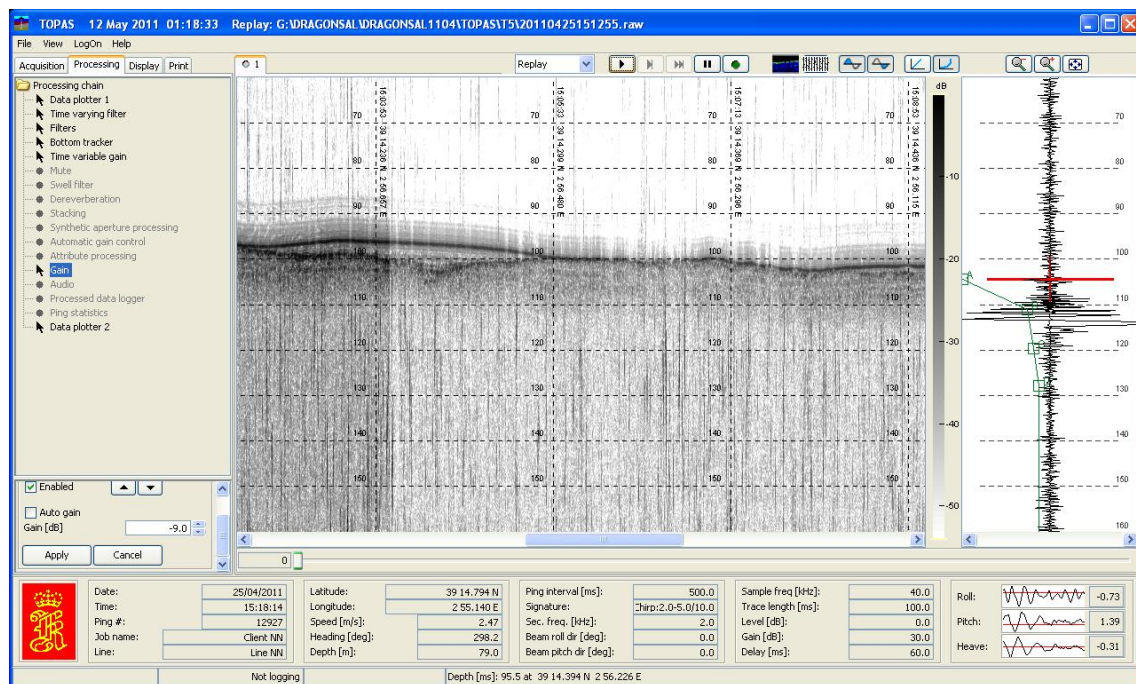


Figura 2A.3. Perfil sísmico de muy alta resolución adquirido durante la campaña de investigación MAO1401\_GEOBentos, en el que se aprecia un reflector aflorante cubierto parcialmente por sedimento no consolidado.

## Dragas

Para el muestreo de sedimento se empleó una draga Van Veen de 50 kg de peso (Figura 2A.4). Cada una de las muestras fue fotografiada y cribada con un tamiz de 1 cm (Figura 2A.5). Una vez cribado el sedimento, se recogieron dos sub-muestras de unos 100 cm<sup>3</sup> cada una, para su posterior análisis granulométrico y de materia orgánica en el laboratorio. El material recogido en



el tamiz fue fotografiado y conservado. En estas muestras de sedimento se realizará un análisis textural para determinar su granulometría y un análisis para determinar su contenido en materia orgánica.



Figura 2A.4. Draga Van Veen utilizada para el muestreo de sedimento durante la campaña de investigación MAO1401\_GEOBentos.

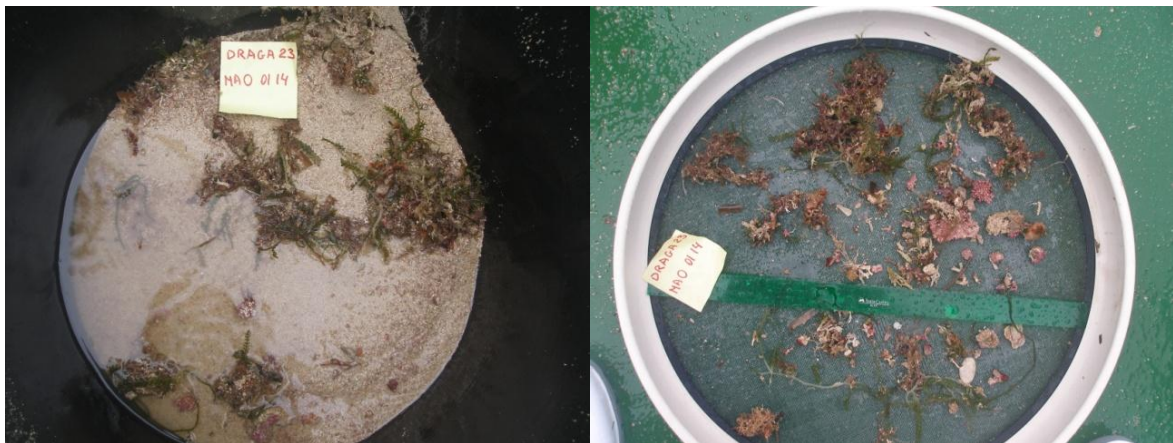


Figura 2A.5. Muestra de sedimento, antes y después de ser cribada, recogida con draga Van Veen durante la campaña de investigación MAO1401\_GEOBentos.

# HIDROGRAFÍA

---







## 3. HIDROGRAFÍA

### 3.1. OBJETIVO

En este apartado se aborda la caracterización hidrográfica del área circundante al punto de vertido de material de las obras de dragado del Puerto de Maó, con anterioridad al inicio de la actividad. Para ello se ha realizado una red de estaciones hidrográficas con CTD, toma de muestras de agua en toda la columna y transectos con ADCP doppler, durante la campaña oceanográfica MAO1401\_HIDROGRAFIA realizada del 20 al 31 de enero a bordo del B/O SOCIB. Los objetivos parciales planteados han sido: i) caracterización de las condiciones medio-ambientales; e ii) identificación de las condiciones hidrodinámicas. En este apartado del informe se detallan los trabajos realizados, los resultados obtenidos y su interpretación, en relación a estos objetivos.

### 3.2. METODOLOGÍA DE ESTUDIO Y MUESTREO

#### Condiciones hidrográficas generales del Mar Balear

Las islas Baleares son el límite natural entre dos sub-cuencas dentro de la cuenca Argelino – Provenzal del Mediterráneo Occidental (MEDOC): la sub-cuenca Argelina al sur, receptora de aguas de origen atlántico, más cálidas y menos salinas, y la sub-cuenca Balear al norte, donde se encuentran aguas más frías y más salinas debido a un mayor tiempo de permanencia en este mar. La sub-cuenca Argelina está sujeta principalmente a forzamientos debidos a gradientes de densidad, mientras que la sub-cuenca Balear está más afectada por el forzamiento atmosférico, fundamentalmente de viento. Los canales entre islas y con la península juegan un papel importante en la circulación regional de la zona, condicionando los intercambios entre ambas sub-cuencas. Como consecuencia de ello existe un contraste significativo entre las condiciones hidrodinámicas generales que afectan al norte y al sur de las islas.

Las aguas superficiales presentes en la zona son de origen atlántico y se denominan, Agua Atlántica reciente (AW) en el sur y Agua Local o residente (AW residente) en el norte. El encuentro de estas masas de aguas da lugar a la aparición de frentes oceánicos que pueden afectar el área de estudio. Las aguas intermedias ocupan la capa entre 200 y 700 m en la columna de agua. Una de ellas, el agua Levantina Intermedia (LIW), originaria del Mediterráneo Oriental (MEDOR), se encuentra justo encima del agua profunda y alcanza las islas después de recorrer la parte septentrional del MEDOC. Esta agua está presente durante todo el año y se caracteriza por proporcionar el máximo



absoluto de salinidad y un máximo relativo de temperatura (Tabla 3.1). Existe otra masa de agua intermedia formada estacionalmente y denominada Agua Intermedia de Invierno (WIW) que se localiza por debajo de las aguas superficiales y encima del LIW, con espesores muy variables. Este tipo de agua, no presente todos los años, se caracteriza por mostrar el mínimo absoluto de temperatura, con valores inferiores a los 13°C (Tabla 3.1). Las aguas profundas presentes en la zona (WMDW) se forman en el Golfo de León y Mar Lígur, ocupan la parte baja de la columna hasta el fondo, y la profundidad a la que se encuentra puede variar en función del volumen formado de un año a otro.

Tabla 3.1. Valores característicos de los distintos tipos de masas de agua presentes en el mar Balear.

MASAS DE AGUA	VALORES EN ORIGEN	VALORES LOCALES Islas Baleares
<b>AW</b> (Agua Atlántica)	15,0 < T < 18,0 36,15 < S < 36,50	15,0 < T < 28,0 36,50 < S < 37,50
<b>AW resident</b> (Agua Atlántica residente)	13,0 < T < 28,0 37,50 < S < 38,30	13,0 < T < 28,0 37,50 < S < 38,10
<b>WIW</b> (Agua Intermedia de Invierno)	12,5 < T < 13,0 37,90 < S < 38,30	12,5 < T < 13,0 37,90 < S < 38,30
<b>LIW</b> (Agua Levantina Intermedia)	14,0 < T < 15,0 38,70 < S < 38,80	13,0 < T < 13,4 38,45 < S < 38,60
<b>WMDW</b> (Agua Profunda Med. Occ.)	12,7 < T < 12,9 38,40 < S < 38,48	12,7 < T < 12,9 38,40 < S < 38,48

La variabilidad estacional de estas aguas, está controlada por procesos que se desarrollan en toda la cuenca del MEDOC. Así, el forzamiento atmosférico invernal intensifica la Corriente Septentrional (CS) que con origen en el Mar Lígur fluye en dirección sur hacia el canal de Ibiza a lo largo del talud continental europeo (Figura 3.1), pasando de un transporte de 1 Sv en verano a 2 Sv en invierno (Font *et al.*, 1988). Este mismo forzamiento favorece el proceso de formación de agua estacional de invierno (WIW) y de agua profunda (WMDW) que a su vez da lugar a una casi interrupción del flujo de agua Levantina Intermedia (LIW). Como consecuencia, durante el invierno se registran los valores de salinidad más bajos de esta agua en las islas, para recuperarse posteriormente al final de la primavera y durante el verano (Font, 1987). La presencia progresiva de WIW en el golfo de Valencia y en el canal de Ibiza, a finales del invierno y principio de primavera, genera un efecto perturbador sobre la circulación favoreciendo la aparición de estructuras mesoescalares (Pinot *et al.*, 2002). Estas estructuras pueden bloquear el canal de Ibiza y desviar parte de la CS y de las aguas intermedias hacia el canal de Mallorca con reforzamiento de la corriente Balear (CB) que corre en dirección

nordeste por el talud occidental de las islas, alcanzando el norte de Menorca (García-Ladona *et al.*, 1996). Esta corriente siguiendo el talud insular de Menorca progresa hacia la cuenca Argelina. Entre Menorca y Cerdeña se encuentra un frente, no bien definido, denominado frente Nor-Balear, que es la línea de separación entre las aguas Atlánticas residentes y recientes. Durante la primavera, se producen dos efectos: uno la disminución de la intensidad de la CS debido al decaimiento progresivo del forzamiento invernal y el otro, el progreso de aguas superficiales atlánticas en dirección norte a través de los canales que también pueden reforzar la CB. La zona sur de las islas se ve afectada en menor grado por esos procesos, pero está influenciada por la inestabilidad del frente Almería-Oran y por estructuras mesoescalares generadas a partir de la corriente Argelina (Millot, 1987). Condiciones de bloqueo, similares a las anteriores, también pueden producirse por la presencia de grandes giros situados al sur de Ibiza y Formentera que provocarían un estancamiento de la circulación a través de estos canales y el desvío de las aguas superficiales Atlánticas que normalmente progresan hacia los canales de Ibiza y de Mallorca, hacia las islas de Cabrera (sur de Mallorca) y Menorca (Font *et al.*, 2004; Salas, 2003; Balbín *et al.*, 2013).

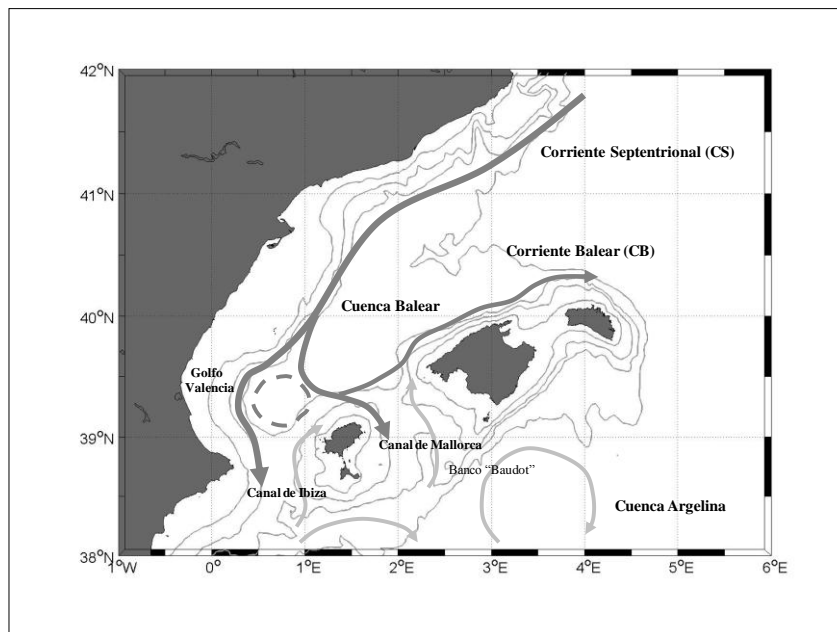


Figura 3.1. Circulación oceánica regional del Mediterráneo occidental.

La variabilidad interanual de la circulación en esta zona está relacionada con la variabilidad atmosférica (Vignudelli *et al.*, 1999), la interacción Aire-Mar (Mertens y Schott, 1998), el efecto de anomalías regionales como la Eastern Mediterranean Transient (Manca, 2000) y la Western Mediterranean Transition (López-Jurado *et al.*, 2005), o globales (cambio climático) y por tendencias seculares a largo plazo. En su

conjunto y en un sentido amplio, afectan a las distintas variables oceanográficas, al intercambio de flujos (calor, sal, etc.), a los procesos de formación de masas de agua y finalmente a la circulación regional y general oceánica, dando lugar a tendencias y a una significativa variabilidad temporal y espacial (Vargas-Yáñez *et al.*, 2005). Consecuencia de ello, a escala general y regional, son la aparición de estructuras mesoescalares (frentes, giros, filamentos) y los cambios de circulación oceánica a que dan lugar. Sus efectos en el área de estudio, desde el punto de vista hidrográfico son, cambios en la circulación marina, la presencia de más o menos volumen de las diferentes masas de agua, variaciones en sus valores característicos, profundidades, espesores y áreas de influencia.

### Área de estudio

La zona de vertido se encuentra a unas 2 millas al sur de la entrada del Puerto de Maó. Para caracterizarla se cubrió un área más amplia que permitía observar la circulación en la plataforma insular y en su talud, así como la interacción entre ambos. Esa área cubre desde la zona del Grau al N del Puerto y la Cala En Porter al SW.

El número de estaciones oceanográficas que se han realizado en la zona de estudio ha sido de 54, tal como se puede ver en la Figura 3.2 y en el Anexo 3.1. La mayoría de estaciones se realizaron sobre la plataforma, entre los veriles de 15 y los 500 m, y las máximas profundidades alcanzadas superaron los 1000 m en las estaciones de los vértices de la zona de muestreo.

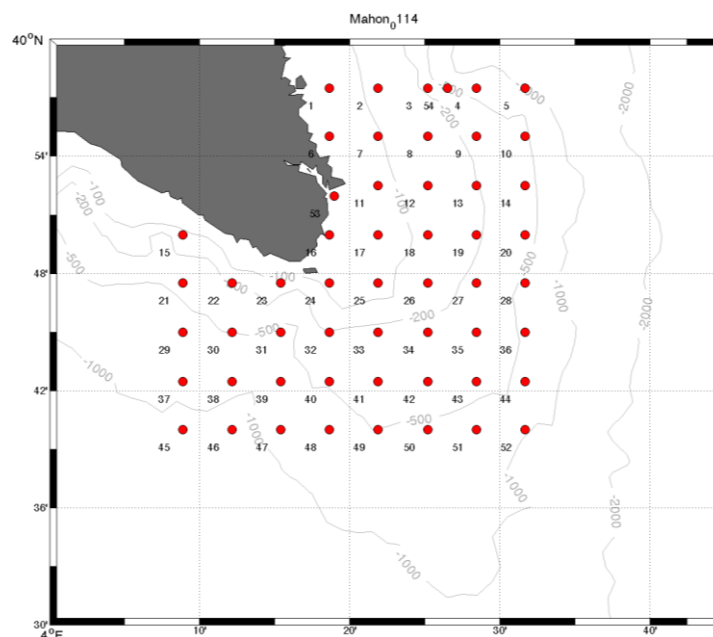


Figura 3.2. Localización geográfica de las estaciones hidrográficas realizadas en la campaña MAO1401\_HIDROGRAFÍA.





## Metodología

Los valores de las variables oceanográficas, para caracterizar la columna de agua, fueron obtenidos mediante el uso de una batisonda CTD multiparamétrica SBE911 trabajando a 24 Hz. Se obtuvieron perfiles verticales de los siguientes parámetros: temperatura, conductividad (salinidad), presión, oxígeno disuelto, fluorescencia, y turbidez. Las diferentes variables y sus unidades son:

- prDM: Pressure, Digiquartz [db]
- t090C: Temperature [ITS-90, deg C]
- c0S/m: Conductivity [S/m]
- fIECO-AFL: Fluorescence, WET Labs ECO-AFL/FL [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]
- sbeox0V: Oxygen raw, SBE 43 [V]
- seaTurbMtr: Turbidity, Seapoint [FTU]
- sal00: Salinity, Practical [PSU]
- sbeox0ML/L: Oxygen, SBE 43 [ $\text{ml}/\text{l}$ ], WS = 2

El CTD descendió a una velocidad promedio inferior a  $1 \text{ m s}^{-1}$ . Los parámetros hidrográficos (salinidad, S, temperatura potencial,  $\theta$ , anomalía de densidad potencial,  $\sigma_\theta$ , oxígeno disuelto, DO, turbidez y fluorescencia) fueron procesadas y promediadas cada 1 dbar utilizando las rutinas de procesamiento de Sea-Bird Electronics (<http://www.seabird.com/software/SBEDataProcforWindows.htm>) y siguiendo los protocolos RADMED (<http://hdl.handle.net/10508/1762>).

A su vez, durante esta campaña se tomaron muestras de agua con botellas oceanográficas a profundidades estándar y en los núcleos de las masas de agua para posteriormente proceder a determinar su salinidad mediante un salinómetro de referencia Guildline model 8400A y poder calibrar los sensores del CTD. En esas mismas profundidades se tomaron también muestras para el análisis de oxígeno disuelto mediante el método Winkler de titrado (Strickland y Parson, 1972) y se determinó el pH por método potenciométrico. Estos análisis se hicieron a bordo. Además, en las profundidades estándar se tomaron muestras de agua para la determinación de nutrientes (nitratos, nitritos, fosfatos y silicatos) y clorofila *a* en el laboratorio del COB-IEO.

Durante la navegación se registró de manera continua información de un perfilador acústico de velocidades por efecto doppler, Ocean Surveyor de 150 kHz de la marca Teledyne-RDI. El procesamiento se ha realizado con paquetes de datos de 200 segundos dado lo relativamente reducido del área de trabajo. Las áreas de plataforma quedan de



esta manera bien cubiertas. La calibración mostró que era necesario (aunque no crítico) aplicar una rotación de  $0,16^\circ$  a la alineación del transductor con respecto a la configuración nominal de  $45,5^\circ$ . Para el procesado de los datos se ha seguido la última versión del sistema y métodos de la Universidad de Hawaii denominado CODAS (<http://currents.soest.hawaii.edu/docs/doc/>).

Las variables hidrodinámicas se interpolaron horizontalmente sobre una rejilla de 1 km x 1 km mediante métodos de análisis objetivo de mínima variancia del error (Bretherton *et al.*, 1976). Para la correlación espacial de las anomalías se asume una función de correlación gaussiana con una longitud característica de correlación de 8 km. Esta longitud se elige por estadística de correlación de datos. El término de variabilidad climatológica se fija en 0,5. El error rms señal-ruido se fija en 0,1. No se consideraron campos interpolados con un error superior al 15%. Los valores de estas variables son los empleados habitualmente para este tipo de análisis en la zona que rodea a las islas Baleares.

La altura dinámica se calcula por integración vertical del volumen específico usando la profundidad de 600 m como referencia de no movimiento (Pinot *et al.*, 1995). En las estaciones de menos profundidad se asigna la anomalía de densidad de la estación más próxima en aquellas profundidades por debajo de las cuales no hay datos. Las velocidades geostroficadas se obtienen derivando la altura dinámica interpolada en la rejilla regular de 1 km x 1 km.

### 3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las Figuras 3.3 y 3.4 muestran el diagrama de temperatura potencial frente a salinidad,  $\theta$ -S, y los perfiles verticales de fluorescencia ( $\text{mg/m}^3$ ) hasta 200 dbar, y de oxígeno disuelto ( $\text{ml/l}$ ), turbidez (FTU), temperatura ( $^\circ\text{C}$ ) y salinidad (PSU) hasta 300 y 1200 dbar respectivamente. Los diferentes colores corresponden a distintas estaciones localizadas alrededor del punto de vertido y a lo largo de la isóbata de 200 m aproximadamente (Figura 3.3) y a profundidades entre 500 y 1000 m (Figura 3.4). En los diagramas  $\theta$ -S se pueden observar las características termohalinas de las diferentes masas de agua que están resaltadas mediante cajas. En estos diagramas empleamos la “Temperatura potencial ( $\theta$ )” que es la temperatura que tendría un elemento de fluido que se mueve adiabáticamente (sin transferencia de calor) desde una profundidad dada hasta la superficie del mar. Por lo que  $\theta$  básicamente se trata de la temperatura, T “in situ”, corregida del calentamiento producido por la presión.



La Figura 3.5 muestra la profundidad de la capa de mezcla en la zona de estudio interpolada sobre la rejilla de análisis. La Figura 3.6 muestra los campos de salinidad y temperatura a 25 m interpolados y la Figura 3.7 muestra esos mismos campos a 50 m. La Figura 3.8 muestra los campos de altura dinámica interpolados y las corrientes geostróficas que de ellos se derivan a 25 m y 50 m. La Figura 3.9 muestra un ejemplo de datos en bruto del ADCP doppler y los mismos datos procesados.

Es bien sabido que la columna de agua que presenta una marcada estratificación térmica durante el periodo estival, va evolucionando durante el otoño, para alcanzar la “cuasi” homogeneización de toda la columna de agua durante el periodo invernal. Este ciclo se inicia con el incremento de la radiación solar en la primavera, dando lugar a la generación progresiva de un importante gradiente de temperatura. Este calentamiento junto con la acción de vientos flojos durante la época cálida propicia la aparición de una marcada capa de mezcla superficial, isoterma e isohalina que puede llegar a alcanzar más de 30 m de profundidad durante el verano, siendo esta más pronunciada sobre la costa que en mar abierto. Por debajo de esta capa encontramos un importante gradiente de temperatura denominado termoclina, en donde la temperatura disminuye rápidamente hasta estabilizarse sobre los 13°C, sobre los 150 a 200 m de profundidad.

La temperatura de las aguas superficiales en verano puede alcanzar los 27°C en mar abierto, mientras que en la zona próxima a costa y en las playas esta temperatura puede ser mayor, debido al menor espesor de la lámina de agua. Las salinidades medias oscilan durante todo el año, entre los valores superficiales de 37,5 del AW en la zona sur y los superiores a 38,00 del AW residente en la zona norte de las islas y los cercanos a 38,50 correspondientes a las aguas intermedias de las estaciones más profundas, indicativos de la influencia de las aguas levantinas (LIW).

Durante el otoño y el invierno debido a las sucesivas entradas de vientos frescos de componente norte, fríos y secos, junto con la acción de los temporales en el mar asociados a estas irrupciones, se produce una progresiva profundización de la capa de mezcla superficial. Lo cual da lugar a una progresiva disminución de su temperatura, llegándose a alcanzar una “cuasi homotermia” en la columna de agua, con temperaturas que van desde los 14°C en la superficie hasta los 13°C del fondo. En las zonas costeras, sobre la plataforma, se puede alcanzar un mezclado más homogéneo, por lo que obtenemos medidas de temperatura y salinidad similares desde la superficie al fondo.



Como ya se ha indicado, las aguas superficiales son todas ellas de origen atlántico diferenciándose por su mayor o menor tiempo de permanencia en el Mediterráneo. Las aguas atlánticas más recientes están presentes en la zona sur de las islas principalmente desde la primavera hasta el inicio del otoño, periodo en el que el forzamiento de los vientos de componente norte se debilita y favorece su progreso desde el Mar de Alborán o a partir de estructuras mesoescalares desprendidas de la inestabilidad del frente Almería-Orán y de la corriente de Argel.

Las aguas levantinas intermedias LIW son una característica de la columna de agua en el MEDOC, encontrando en ellas un máximo absoluto de salinidad y otro relativo de temperatura. Están presentes en las estaciones más profundas durante todo el año, aunque mostrando una cierta estacionalidad, con valores de salinidad y temperatura más bajos durante el invierno, al participar en los procesos de formación de aguas profundas (Font, 1987) e incrementando estos valores en primavera, para alcanzar los valores máximos de temperatura y salinidad en verano y otoño cuando se restablece su plena circulación.

### Temperatura y Salinidad

Los perfiles verticales de salinidad y temperatura (Figuras 3.3 y 3.4) muestran el comportamiento habitual con una capa de mezcla en superficie sobre la haloclina y la termoclina, seguida por valores relativamente estables de salinidad y temperatura con máximos y mínimos relativos correspondientes a las diferentes masas de agua. En estos diagramas  $\theta$ -S se puede apreciar la presencia de agua levantina intermedia (LIW) en aquellas estaciones de más de 400 m, pero no de agua intermedia de invierno (WIW), que se forma sólo en invierno y no siempre. En el periodo de estudio (enero 2014) el WIW no había aparecido aún en la zona muestreada.

Las distribuciones espaciales a 25 m y 50 m (Figuras 3.6 y 3.7) reflejan que toda la zona está ocupada por AW residente con valores de salinidad bajos y temperaturas del orden de 0,5°C más altas de lo habitual, excepto en el sur del área de estudio donde se observa algo de AW reciente que se caracteriza por ser menos salina y más cálida. La presencia de AW reciente en la zona sur del área muestreada afecta a toda esa zona dando lugar a un desplazamiento del frente Nor-Balear hacia el norte, a valores altos de temperatura superficial y a capas de mezcla poco profundas en su zona de influencia como se observa en la Figura 3.5.

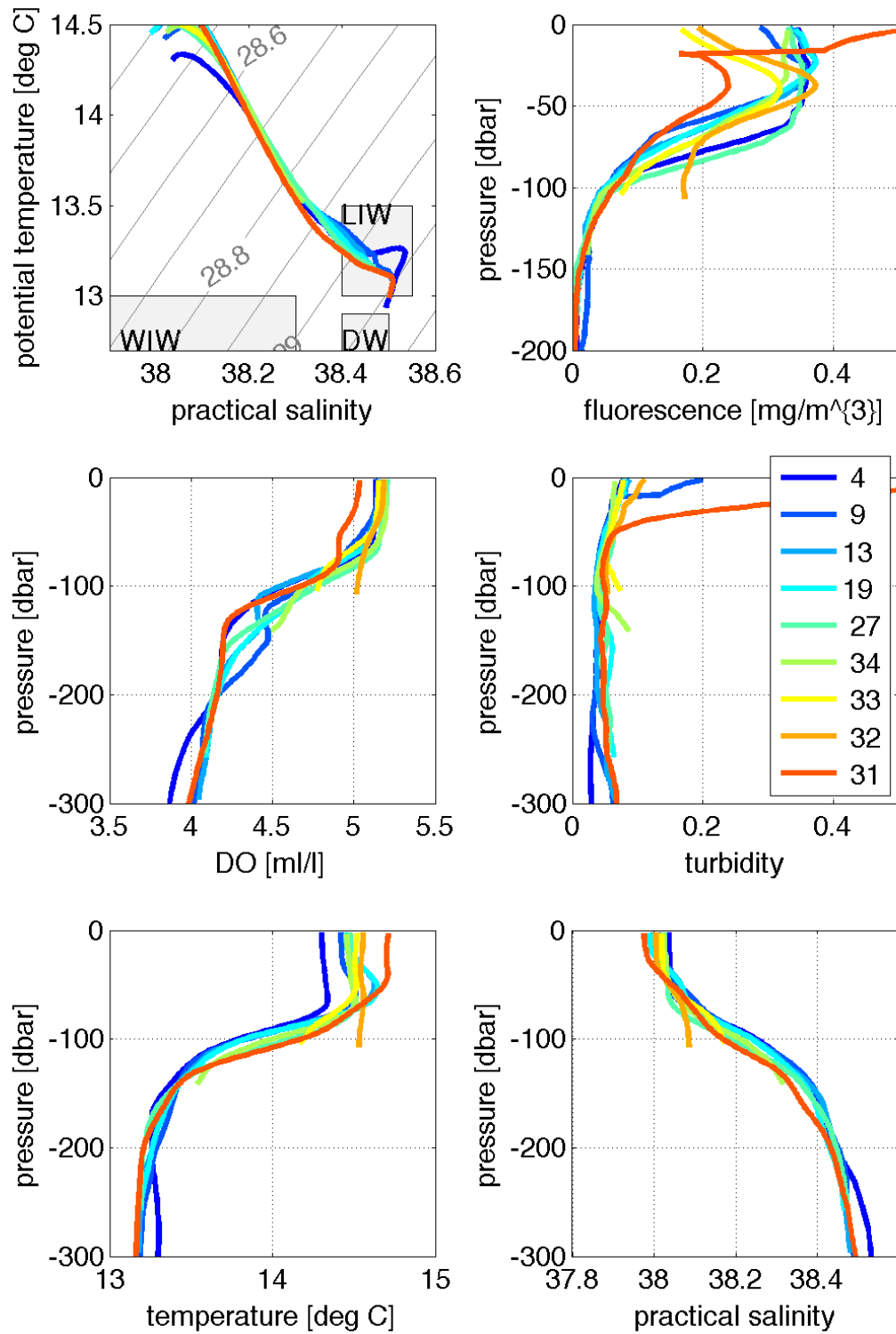


Figura 3.3. Diagrama  $\theta$ -S y perfiles verticales de estaciones alrededor del punto de vertido y a lo largo de la isobata de 200 m aproximadamente.

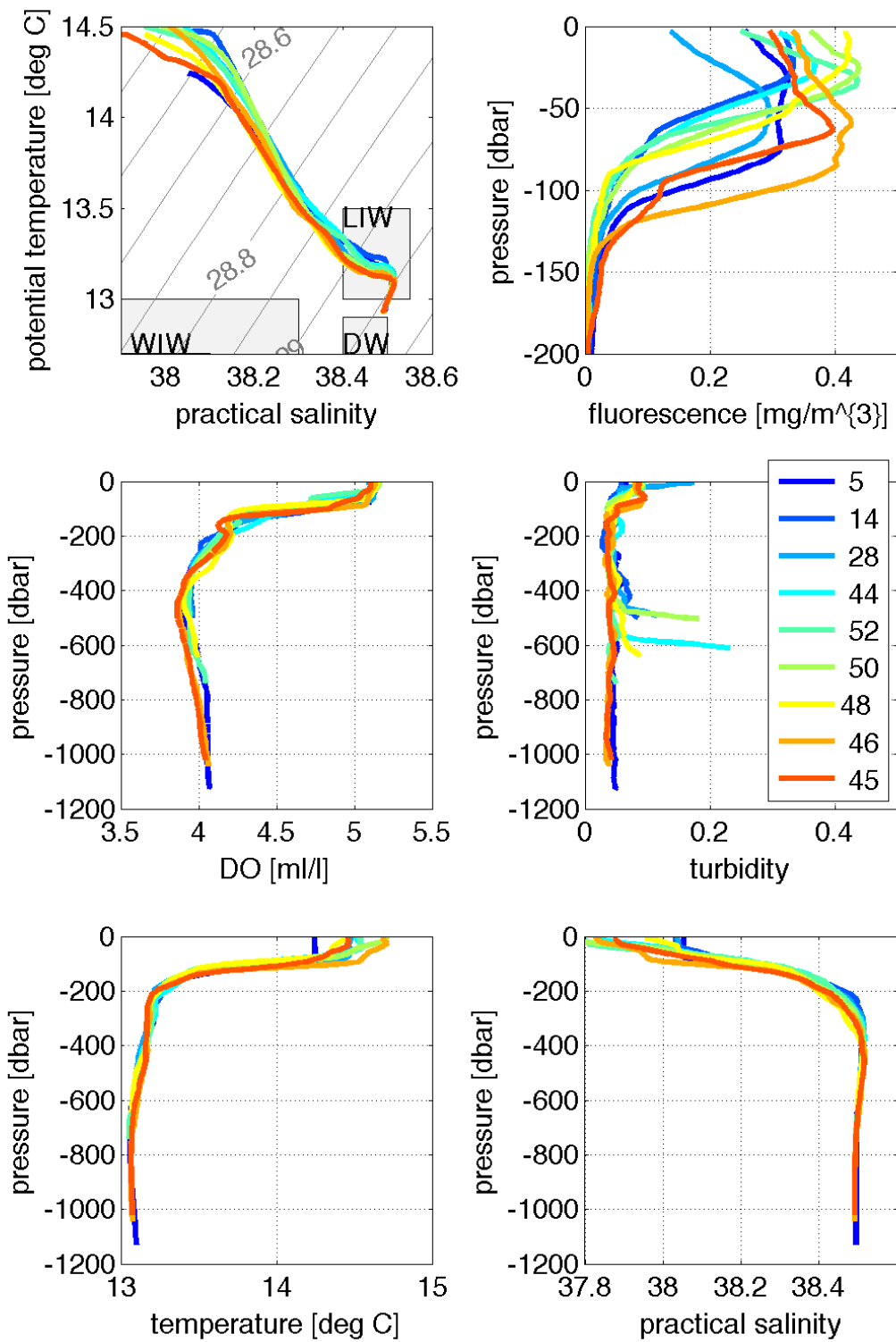


Figura 3.4. Diagrama  $\theta$ -S y perfiles verticales de estaciones alrededor del punto de vertido y en profundidades entre 500 m y 1000 m.



### Profundidad de la capa de mezcla

Los perfiles verticales de salinidad y temperatura y la distribución espacial de la profundidad de la capa de mezcla (Figura 3.5) muestran que la capa de mezcla alcanza los 40 m en la zona SE del área de estudio y alrededor de los 100 m en el resto. Las zonas próximas a la costa (con batimetría inferior a 200 m) no presentan datos porque la capa de mezcla se extiende desde la superficie hasta el fondo. Estos valores indican que observamos una capa de mezcla poco profunda en este invierno. Esto es probablemente debido a que siendo todavía invierno temprano los temporales y el enfriamiento no han sido suficientemente fuertes como para hacer que la capa de mezcla profundice.

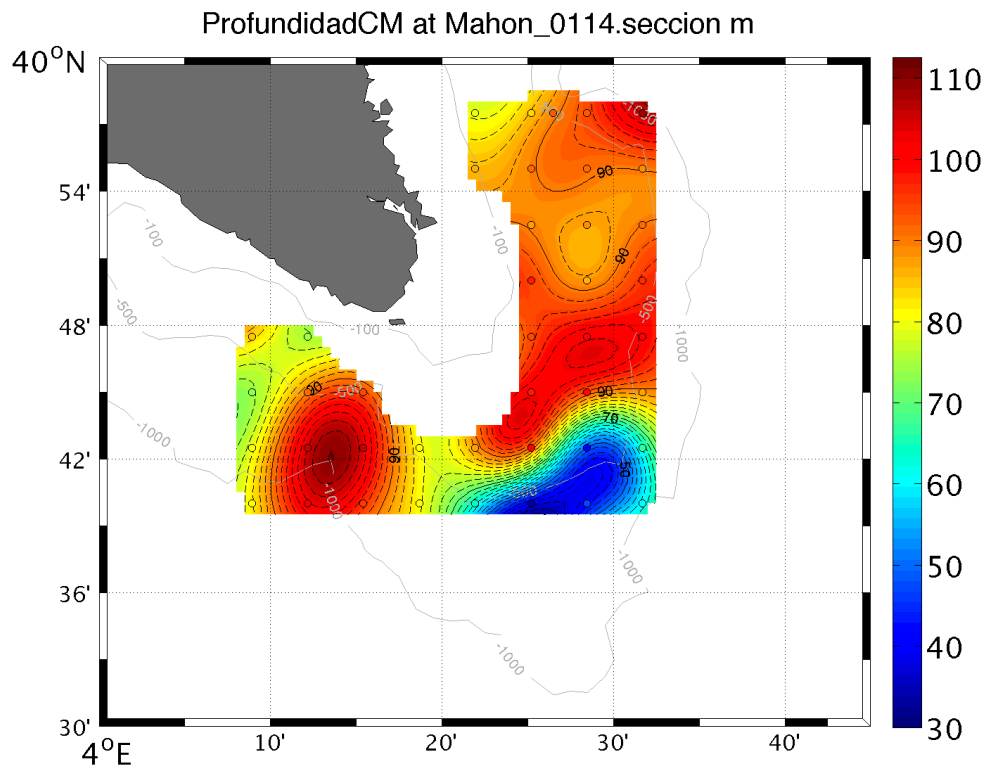


Figura 3.5. Profundidad de la capa de mezcla interpolada sobre una rejilla de 1 km x 1 km. Las zonas próximas a la costa (con batimetría inferior a 200 m) no presentan datos porque la capa de mezcla se extiende desde la superficie hasta el fondo.

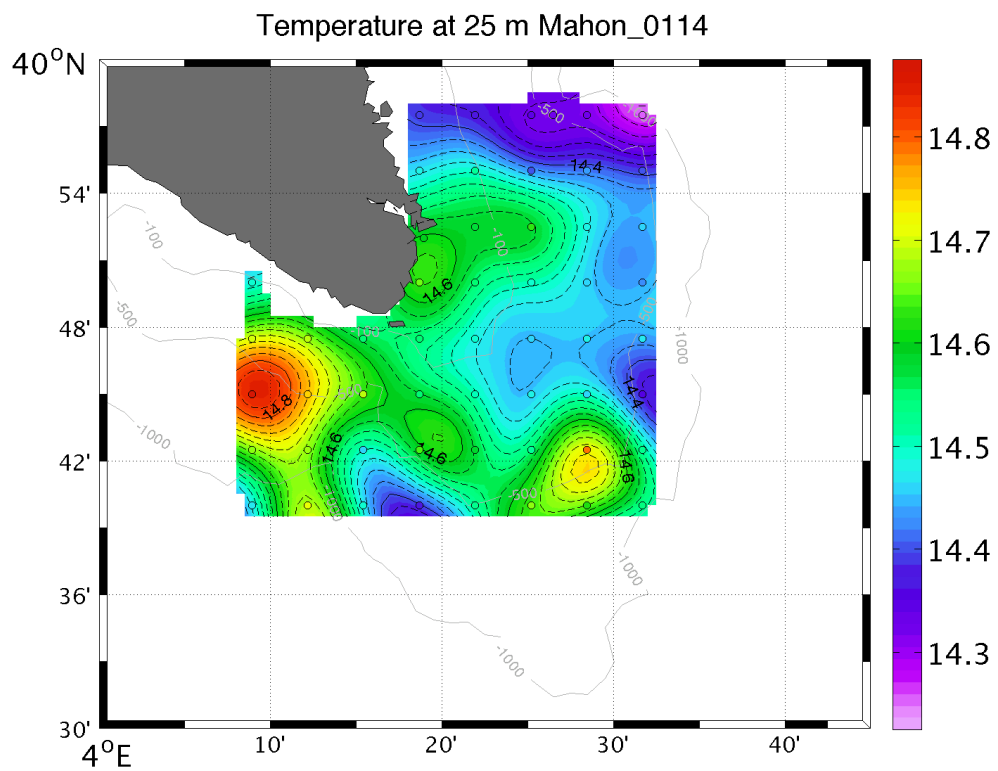
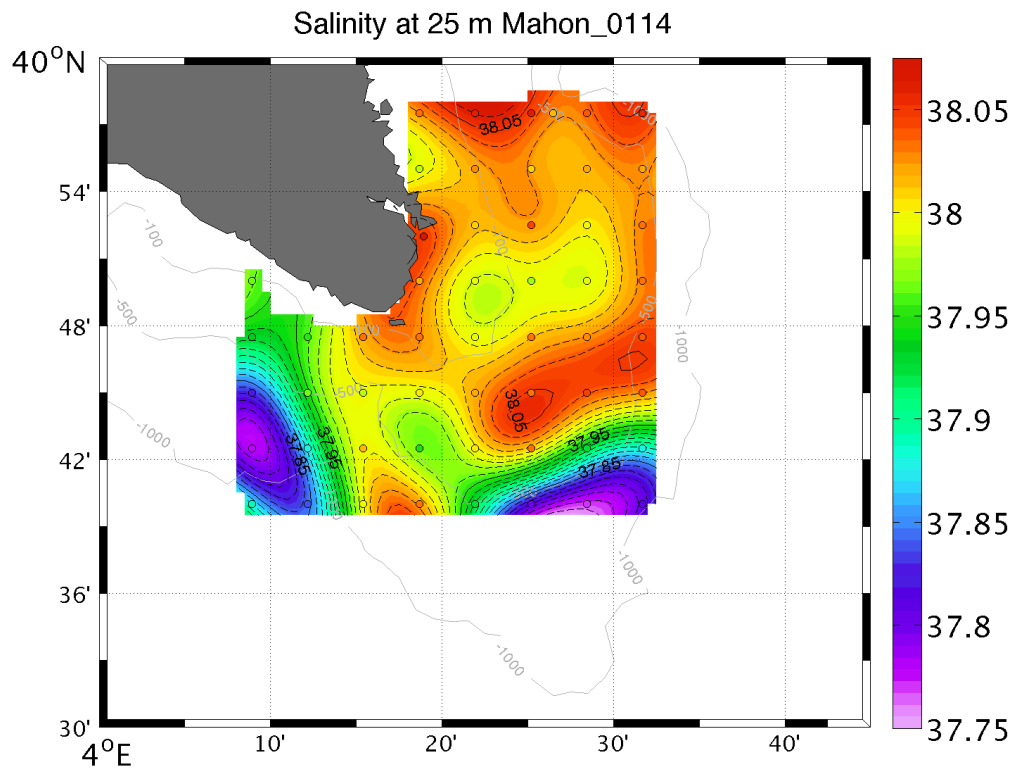


Figura 3.6. Campos de salinidad y temperatura a 25 m interpolados sobre una rejilla de 1 km x 1 km.



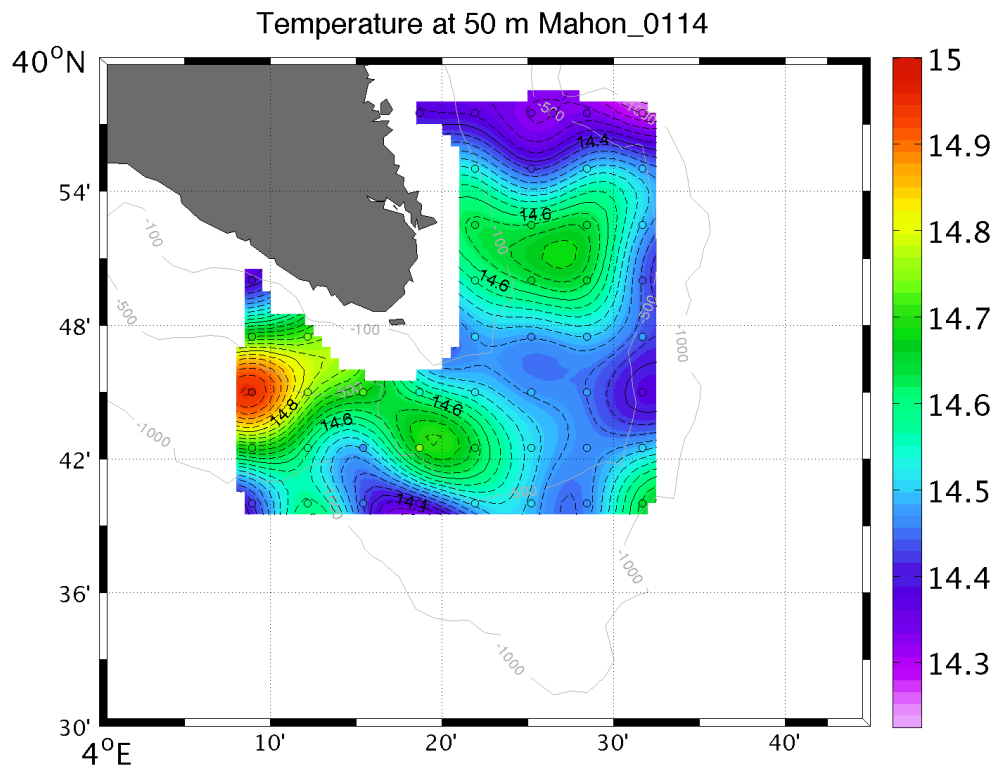
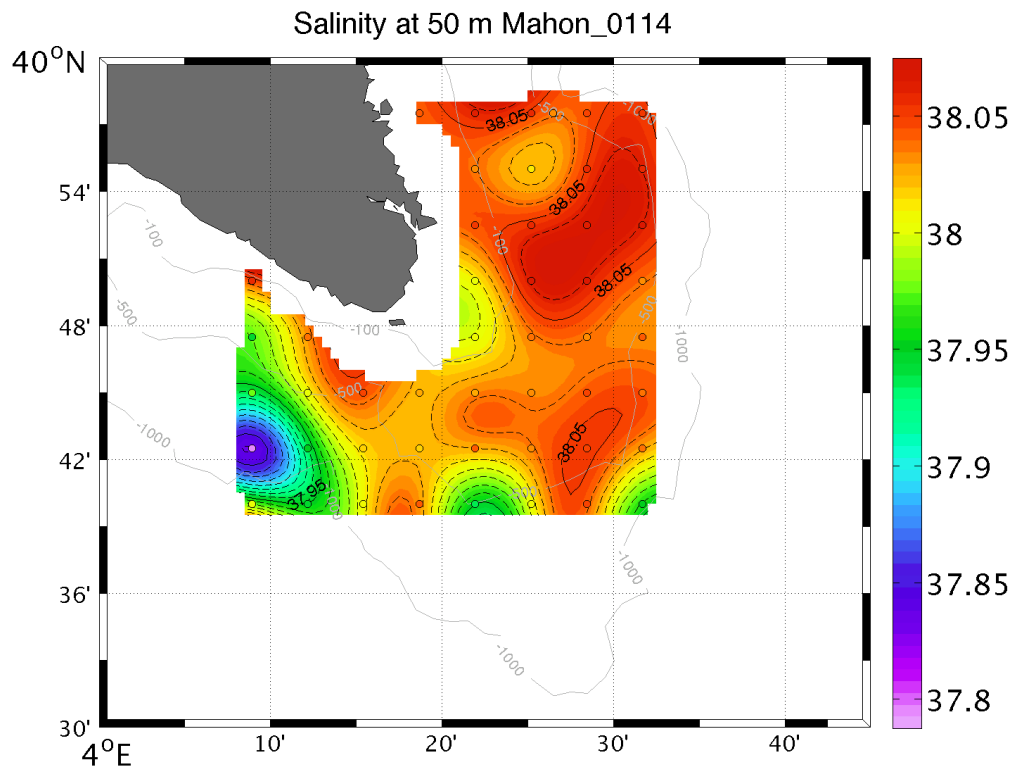


Figura 3.7. Campos de salinidad y temperatura a 50 m interpolados sobre una rejilla de 1 km x 1 km.



## Fluorescencia

La fluorescencia es la re-emisión de luz previamente absorbida. En el mar, existen diferentes elementos que producen fluorescencia como la materia orgánica disuelta, algunos pigmentos de las algas y algunas partículas en suspensión en la columna de agua. La clorofila *a*, pigmento principal de absorción de la luz en las algas fitoplanctónicas, es altamente fluorescente. El fluorómetro proporciona una medida de alta sensibilidad de la fluorescencia, en gran parte debida a la clorofila *a*, permitiendo una precisa correlación espacio-temporal de esos valores con los de otros sensores. Esta fluorescencia sirve de indicador de la concentración de clorofila en el mar y por tanto proporciona un método de determinación de actividad biológica en la columna de agua

La distribución de la clorofila *a* y de la producción fitoplanctónica, tanto en mar abierto como en las zonas costeras, está vinculada directamente con características tales como la estratificación, la mezcla en la columna de agua, el espesor de la capa fótica y la disponibilidad de nutrientes. En el MEDOC existen diferentes factores que controlan el suministro de nutrientes hacia la capa fótica. Algunos de ellos, como la mezcla invernal o el intercambio de agua con el Atlántico, actúan a escala general, otros como los afloramientos costeros o las descargas de los ríos lo hacen a escala local. En el área de las islas Baleares, la alternancia de períodos de estratificación (primavera-verano) y de mezcla (otoño-invierno) impone una fuerte estacionalidad en la producción primaria (fitoplancton). La no existencia de descargas de ríos puede verse compensada por la ascensión de aguas intermedias debidas a los efectos de estructuras de mesoescala como frentes, giros y filamentos que afectan a nuestras costas.

Una de las características de esa estacionalidad es el empobrecimiento estival de las aguas superficiales, al quedar privadas de los aportes de nutrientes profundos causado por el efecto barrera que produce la termoclina. Por el contrario, debajo de esta la concentración de la clorofila tiende a aumentar, dando lugar a la aparición de máximos profundos de clorofila que pueden alcanzar densidades importantes. Durante el invierno, junto con la desaparición de la termoclina y con el mezclado vertical se produce una redistribución de la clorofila a lo largo de la columna de agua, sin llegar a alcanzar concentraciones importantes.

Durante la campaña los valores más significativos registrados por el fluorómetro en la columna de agua se encuentran en la capa de mezcla (Figuras 3.3 y 3.4). El máximo profundo de fluorescencia aparece entre 25 y 75 m y no sobrepasa los 0,5 mg/m<sup>3</sup>. En un principio y de forma general podemos indicar que estos valores son bajos y la estructura



que se observa corresponde a la esperable a finales del otoño cuando todavía la turbulencia superficial debida al viento no ha homogeneizado la capa superficial.

### **Oxígeno disuelto**

Su concentración depende de diferentes factores físicos y biológicos como la temperatura, salinidad, presión, procesos de mezclado como la turbulencia convectiva del mar, la actividad de fotosíntesis y respiración del fitoplancton y de las algas en las zonas costeras, la respiración de los peces y la actividad de las bacterias que consumen oxígeno para degradar y mineralizar la materia orgánica.

El oxígeno disuelto es esencial para el metabolismo de aquellos organismos marinos que poseen mecanismos aeróbicos de respiración. Las actividades de oxidación y reducción pueden producir variaciones equívocas en la concentración del oxígeno, las sustancias oxidables hacen que se obtengan resultados inferiores a los reales, mientras que las sustancias reducibles dan valores más altos. En general estas variaciones son debidas a nitritos, sales ferrosas, sulfuros y materia orgánica (Margalef, 1974). Una descripción detallada del patrón espacial y del comportamiento estacional del oxígeno disuelto alrededor de las islas Baleares se puede encontrar en Balbín *et al.* (2014).

Las Figuras 3.3 y 3.4 muestran los valores registrados por el oxímetro en la columna de agua durante la campaña. Como en el caso de la fluorescencia, la estructura que se observa corresponde a la esperable a finales del otoño cuando todavía la turbulencia superficial debida al viento no ha homogeneizado la capa superficial. En algunas estaciones se observa un máximo sub-superficial, ligeramente por encima del máximo de fluorescencia, que corresponde al oxígeno procedente de la producción biológica. En muchas estaciones se observa que el oxígeno disuelto está en equilibrio con la atmósfera, mostrando valores constantes en toda la capa de mezcla.

### **Materias en suspensión y turbidez**

La turbidez es una medida de la materia en suspensión en el agua que reduce su claridad. En cierto modo se puede considerar como una medida de significado medioambiental que nos proporciona información sobre la calidad del agua y de sus cambios. El turbidímetro empleado en estas mediciones es un sensor que detecta la luz refractada por las partículas en suspensión en el volumen entre la ventana emisora y 5 cm enfrente de ella, la cual genera un voltaje proporcional a esa turbidez. La medida de la



turbidez depende del tipo de partícula, forma, superficie y obviamente de la concentración de las mismas.

Por término medio, las materias en suspensión en mar abierto oscilan entre 0,5 y 2 mg/l. En general, estos valores son superiores en los mares cerrados como en el Mar Mediterráneo donde puede alcanzar los 5-6 mg/l. En las zonas costeras estos valores pueden aumentar hasta los 10 mg/l y ocasionalmente pueden alcanzar los 15-20 mg/l.

Las unidades empleadas por el turbidímetro son las FTU (Formazin Turbidity Units), correspondiendo el valor de 0,022 FTU a la turbidez del agua extremadamente pura. La comparación de los valores de turbidez con valores de materia en suspensión (mg/l) debe hacerse con precaución, puesto que no existe una clara relación lineal entre ambas medidas, en parte debida a la diferente “respuesta” de esa materia según su tamaño y composición.

Como se puede ver en las gráficas de las Figuras 3.3 y 3.4 los valores de turbidez en superficie son bajos, sin superar los 0,2 FTU, excepto en el caso de la estación 31, probablemente relacionado con el alto nivel de clorofila en esa estación. En la proximidad del fondo los valores de turbidez aumentan. Este incremento podría estar relacionado con la presencia de corrientes profundas que generan turbulencia por fricción con el fondo, con el consiguiente aumento de materia en suspensión.

### Corrientes geostróficas

En el interior del océano, para distancias que exceden las decenas de kilómetros, y para escalas de tiempo mayores a algunos días, los gradientes de presión horizontal en el océano están en un balance casi completo con la fuerza de Coriolis que resulta de los movimientos horizontales. Este balance se denomina “balance geostrófico”, y las corrientes resultantes “corrientes geostróficas”. La corriente geostrófica no considera las corrientes superficiales debidas a viento, con un patrón de cambio más rápido de lo que el tiempo que dura la campaña es capaz de detectar, ni las corrientes verticales que suelen ser varios órdenes de magnitud inferiores a las horizontales. La corriente geostrófica no es la corriente total pero se considera una buena aproximación para identificar los patrones de corrientes más estables. La Figura 3.8 muestra los campos de altura dinámica interpolados sobre una rejilla regular de 1 km x 1 km y las corrientes geostróficas derivadas a 25 m y 50 m de profundidad. En estas figuras se observa la presencia de un giro anticiclónico en el borde SW del área de estudio y un giro ciclónico



al N, ambos con corrientes de hasta 25 cm/s (equivalente a una corriente de 0,5 nudos), que enmascaran la corriente de talud paralela a este y en parte paralela a la costa y que en esta zona suele ser de hasta 30 cm/s dependiendo de la época del año.

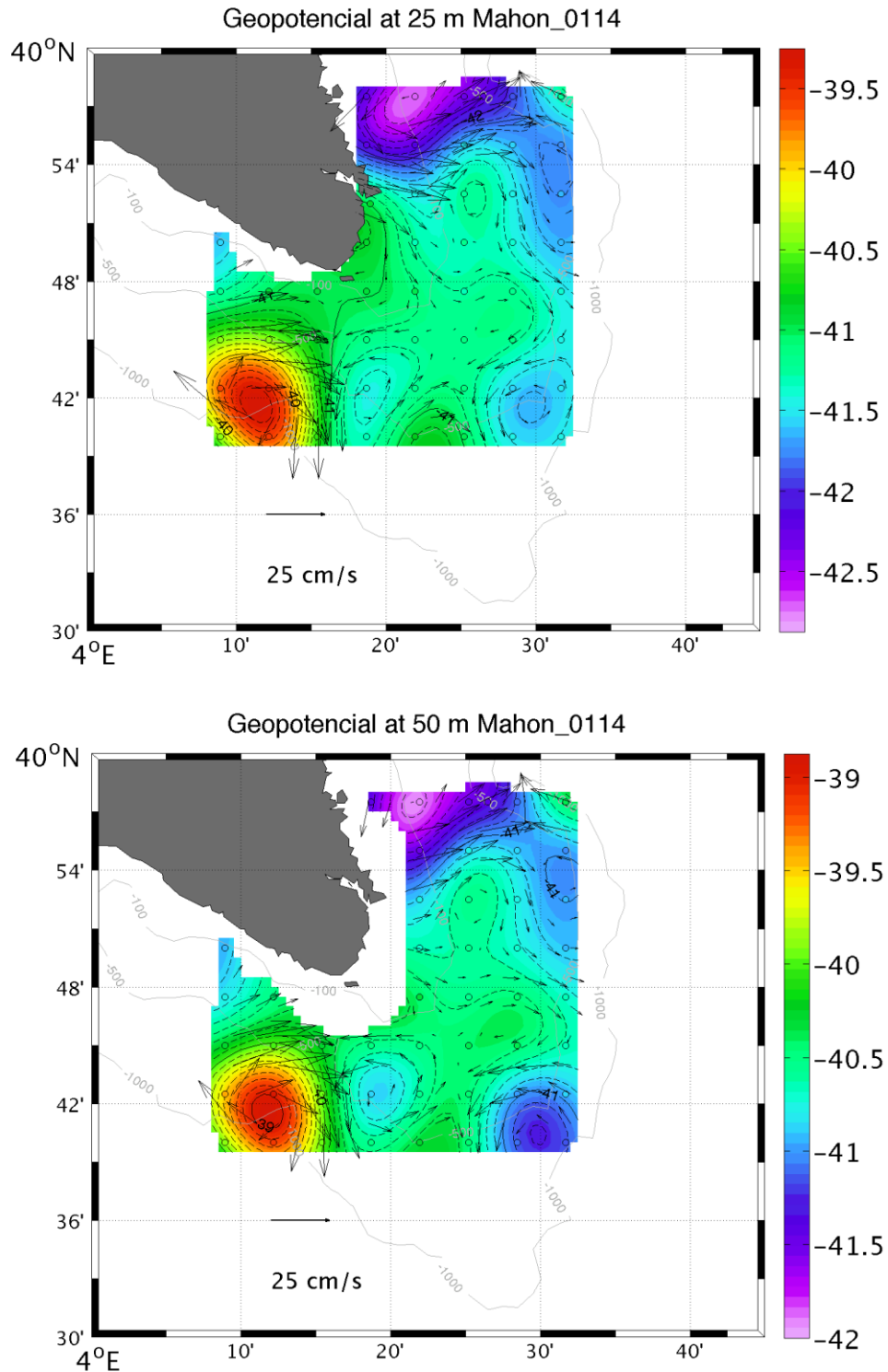


Figura 3.8. Campos de altura dinámica interpolados sobre una rejilla de 1 km x 1 km y corrientes geostroficas derivadas a 25 m y 50 m.

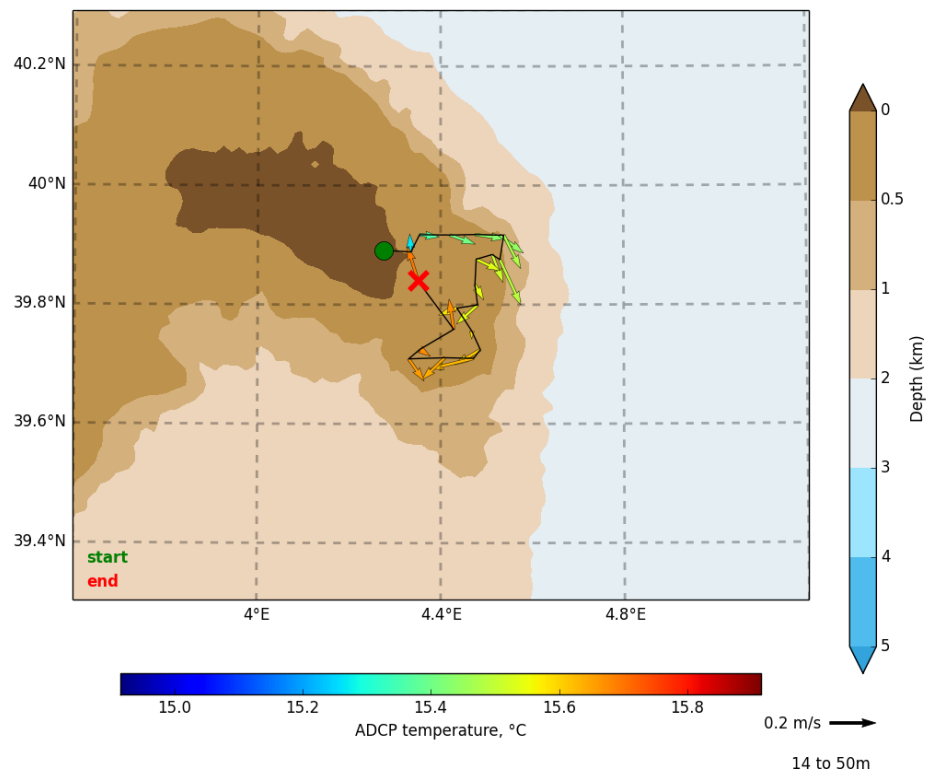
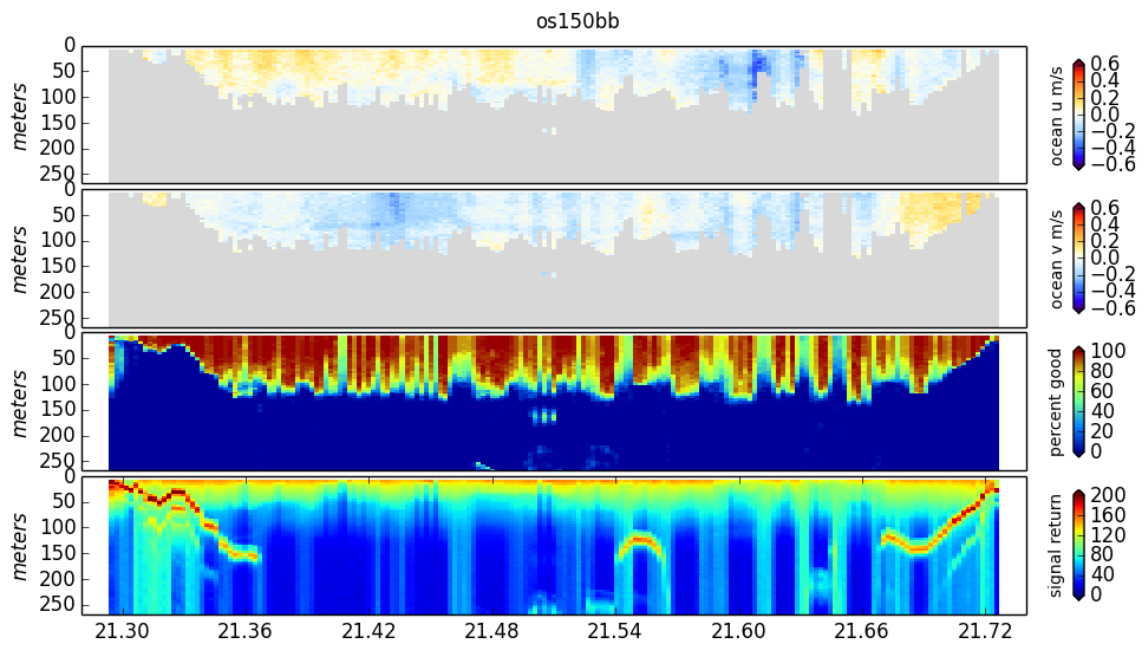


Figura 3.9. Datos raw del ADCP del día 22 de enero y datos procesados.



## Corrientes medidas con el ADCP

Los datos adquiridos muestran que hay un problema de ruidos por mal tiempo, que impiden que los pulsos acústicos se comporten como es esperado en un instrumento de sus características. La principal consecuencia es que la penetración no ha superado los 120 m (en el modo BB de alta precisión) y los 200 m (modo NB de alta penetración). El instrumento tiene un “underway bias” que se ve básicamente durante la navegación, y es menos evidente cuando el barco está parado. Los datos procesados (Figura 3.9) muestran que una componente importante de la corriente derivada es debida al avance del barco. Para intentar extraer alguna conclusión de los datos de ADCP será necesario filtrar los datos y analizar aquellos que se tomaron durante las operaciones en estación mientras el barco no se desplazaba. Este procesado requiere bastante tiempo.

## Consideraciones generales

A modo de síntesis podemos decir que los valores de las variables oceanográficas registrados durante el periodo de estudio, están de acuerdo con las climatologías de finales del otoño y principios del invierno del Mediterráneo como MEDAR (MEDAR Group, 2002) e IBAMar DATABASE (López-Jurado *et al.*, 2014). Sin embargo, tomando como referencia la estación CMA-085, muestreada por el IEO durante varios años en el marco de un convenio con la “Agencia Balear del Agua y Calidad Ambiental”, se puede decir que enero de 2014 es algo atípico con valores superficiales de temperatura por encima de lo habitual, valores de salinidad superficial bajos, capas de mezcla menos profundas y valores bajos pero significativos de fluorescencia. La distribución vertical de estos parámetros se debe probablemente a que los temporales y el enfriamiento no han sido aun suficientemente fuertes como para hacer que la capa de mezcla profundice y se homogenicen los diferentes parámetros.

Las distribuciones horizontales (espaciales) de esas variables no muestran grandes diferencias en la zona de estudio, pero sí denotan la presencia de aguas AW recientes en el sur que parecen afectar en mayor o menor medida a toda el área de estudio. Posiblemente la situación hidrográfica observada se debe a los intensos vientos de tramontana que se produjeron antes de la campaña. Los resultados parecen indicar que estos vientos favorecieron la irrupción de aguas del norte de la isla sobre las AW recientes del sur afectando a su circulación aparentemente anticiclónica como se observa en la Figura 3.8 en la parte sur del área de trabajo.



Las corrientes geostróficas superficiales (hasta 50 m de profundidad) pueden llegar a alcanzar los 50 cm/s (equivalente a aproximadamente 1 nudo) y la actividad mesoescalar de dirección e intensidad variable pueden llegar a enmascarar el patrón estable de la corriente de talud. Estas corrientes, al seguir el talud, tienen una dirección predominante N a S. En cualquier caso, es importante recordar que la componente geostrófica de la corriente no proporciona la velocidad total sino sólo una componente que se aproxima a la total cuando se consideran escalas espaciales y temporales grandes. Los mapas horizontales de altura dinámica y corrientes geostróficas derivadas muestran que hay una intensa actividad mesoescalar que es necesario tener en cuenta para caracterizar la hidrodinámica del punto del vertido. Comparando los resultados obtenidos con los datos proporcionados por la estación fija que el SOCIB mantiene en La Mola (que indica corrientes superficiales de hasta 80 cm/s llegando en ocasiones a 100 cm/s, superior a la determinada geostróficamente) podemos concluir que la componente ageostrófica de la corriente superficial es importante. En este sentido se refuerza la necesidad de instalar un perfilador de corrientes fondeado en el punto de vertido, que pueda transmitir información en tiempo real de las corrientes en ese punto.

Es necesario insistir en que los datos y resultados obtenidos en esta campaña proporcionan una instantánea de un sistema dinámico, influido por el forzamiento atmosférico y la interacción de las diferentes masas de agua, que cambia con un tiempo de respuesta de aproximadamente una semana, siendo ese tiempo inferior si consideramos la capa superior por encima de 50 m sometida a los forzamientos atmosféricos.





**ANEXO 3.1. Situación geográfica de las estaciones hidrográficas realizadas durante la campaña MAO1401\_HIDROGRAFÍA**

<b>Nº de estación</b>	<b>Latitud (N)</b>	<b>Longitud (E)</b>	<b>Profundidad (m)</b>
1	39,958	4,311	50
2	39,958	4,365	135
3	39,958	4,420	285
4	39,958	4,474	950
5	39,958	4,528	1120
6	39,917	4,311	30
7	39,917	4,365	95
8	39,917	4,420	151
9	39,917	4,474	370
10	39,917	4,528	630
11	39,875	4,365	65
12	39,875	4,420	135
13	39,875	4,474	295
14	39,875	4,528	500
15	39,833	4,148	60
16	39,833	4,311	45
17	39,833	4,365	73
18	39,833	4,420	125
19	39,833	4,474	255
20	39,833	4,528	450
21	39,792	4,148	320
22	39,792	4,203	95
23	39,792	4,257	55
24	39,792	4,311	50
25	39,792	4,365	85
26	39,792	4,420	120
27	39,792	4,474	255
28	39,792	4,528	485
29	39,750	4,148	550
30	39,750	4,203	330
31	39,750	4,257	560
32	39,750	4,311	115
33	39,750	4,365	105
34	39,750	4,420	140
35	39,750	4,474	310
36	39,750	4,528	520
37	39,708	4,148	900
38	39,708	4,203	890
39	39,708	4,257	800
40	39,708	4,311	370
41	39,708	4,365	200
42	39,708	4,420	315
43	39,708	4,474	415
44	39,708	4,528	610



<b>Nº de estación</b>	<b>Latitud (N)</b>	<b>Longitud (E)</b>	<b>Profundidad (m)</b>
45	39,667	4,148	1050
46	39,667	4,203	1020
47	39,667	4,257	875
48	39,667	4,311	650
49	39,667	4,365	475
50	39,667	4,420	500
51	39,667	4,474	550
52	39,667	4,528	740
53	39,866	4,316	27
54	39,958	4,442	605

# PRADERAS *POSIDONIA OCEANICA*

---







## 4. PRADERAS *POSIDONIA OCEANICA*

### 4.1. OBJETIVOS

El objetivo general del estudio es la caracterización de las praderas de *Posidonia oceanica* y de las poblaciones del molusco *Pinna nobilis* que la habita, en el área de influencia del punto de vertido de material de las obras de dragado del Puerto de Maó, que permita identificar eventuales impactos sobre estas comunidades bentónicas, derivados de estas obras.

Se han planteado los siguientes objetivos específicos:

- Evaluación de la dinámica poblacional de la pradera de *P. oceanica* a dos cotas de profundidad (10 y 20 m).
- Delimitación del límite inferior de las praderas de *P. oceanica*.
- Recogida de muestras de *P. oceanica* para análisis de contaminantes.
- Caracterización de la población de *P. nobilis* a dos cotas de profundidad (10 y 20 m).
- Evaluación de la dinámica poblacional de *P. nobilis* a dos cotas de profundidad (10 y 20 m).
- Caracterización granulométrica del sedimento del área de estudio.
- Caracterización de variables oceanográficas en la columna de agua.

El presente estudio incluye los resultados obtenidos en la campaña MAO1402\_POSIDONIA, previa a la obra, cumpliendo con las medidas propuestas por parte del IEO para la mejora del Plan de Vigilancia Ambiental en su apartado: **Praderas de *Posidonia oceanica***. Los aspectos concretos de caracterización de las praderas de *P. oceanica* que se incluyen en este documento fueron debatidos y consensuados entre los expertos del IEO y personal técnico de la empresa CBBA para, en conjunto, obtener toda la información requerida en el Plan de Vigilancia Ambiental. En este apartado del informe se detallan los trabajos realizados, los resultados obtenidos y su interpretación, en relación a estos objetivos.

### 4.2. METODOLOGÍA DE ESTUDIO Y MUESTREO

#### Especies objetivo

*Posidonia oceanica* (L. Delile, 1813), es una fanerógama marina endémica del Mediterráneo. Forma praderas submarinas que constituyen una de las comunidades



climáticas más importantes de la zona costera mediterránea (Giaccone y Di Martino, 2000). Por su ubicación en la franja costera, son sistemas altamente vulnerables a la actividad humana, que a menudo modifica las condiciones ambientales necesarias para la supervivencia de esta comunidad. Las praderas de *P. oceanica* se encuentran protegidas a nivel europeo como hábitat prioritario según la Directiva de Hábitats (Dir 92/42/CEE y 97/62/CE), y como especie, *P. oceanica*, se encuentra protegida desde el año 2011 con su inclusión en el *Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial* (RD 130/2011). En el área de estudio las praderas de *P. oceanica* son el ecosistema dominante de los fondos infralitorales entre 0 y 40 m.

*Pinna nobilis* (Linnaeus 1758), es un bivalvo filtrador de gran tamaño, endémico del Mediterráneo, y protegido por la Directiva Hábitat (92/43/CEE). Sus valvas miden entre 40 y 100 cm (Vicente, 1990) y puede llegar a vivir más de 20 años (Moreteau y Vicente, 1982). Es una especie característica de fondos blandos con praderas de fanerógamas, principalmente en la comunidad de *P. oceanica*, por lo que vive desde muy poca profundidad hasta unos 60 m, rango batimétrico con gran solapamiento al de las praderas de *P. oceanica*. Entre otros factores, la regresión de esta especie está asociada a la degradación de la propia pradera de *P. oceanica*. Es una especie muy vulnerable al impacto de las anclas y las artes de pesca, lo que la convierte también en un indicador del deterioro mecánico de las praderas por este tipo de impacto. Su abundancia se ve, por tanto, afectada por el deterioro de la pradera o de la calidad del agua (Alomar *et al.*, 2014). Las variaciones en abundancia y estructura de tallas de las poblaciones de *P. nobilis* puede ser un indicador del impacto del vertido sobre los organismos bentónicos de pradera, caracterizando sus poblaciones tanto en la fase previa a las obras como en la fase posterior a las mismas.

### Área de estudio

El área de estudio abarca las áreas adyacentes al punto de vertido del material de dragado del Puerto de Maó. Se sitúa en la zona sudeste de la isla de Menorca, entre la península de La Mola y la isla del Aire (Figura 4.1). El estudio abarca la franja más somera del litoral hasta el límite inferior de crecimiento de la pradera, aproximadamente, hasta los 30 m de profundidad. El tipo de fondo es eminentemente rocoso en toda el área, con grandes bloques y escaso sedimento. Las praderas observadas crecen principalmente sobre sustrato rocoso.

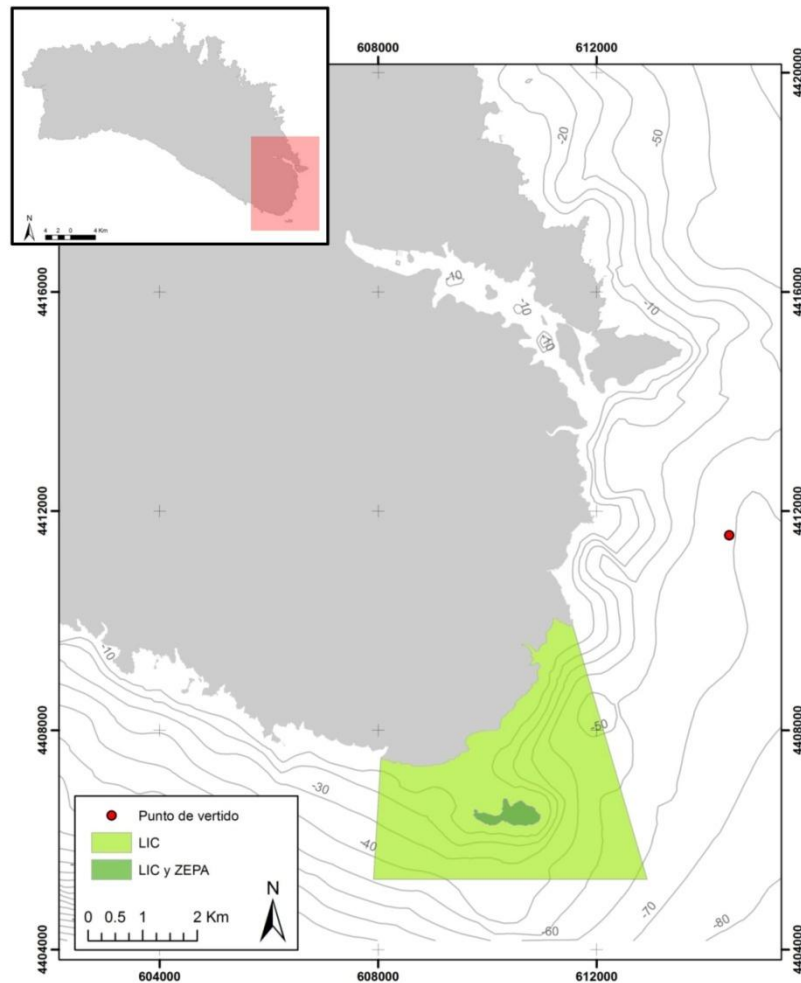


Figura 4.1. Área de estudio, zona sudeste de Menorca (La Mola-isla del Aire), y situación del punto de vertido.

Según estudios hidrodinámicos y de dispersión de sólidos en suspensión recogidos en las últimas versiones del Plan de Vigilancia Ambiental redactado por la consultora CBBA, el área potencialmente impactada por el vertido de los sedimentos portuarios no será mayor de 1 km de radio, desde el punto de vertido del material dragado siempre que se realicen las operaciones de obra en un régimen de viento y oleaje limitado. El régimen hidrodinámico de la zona es muy importante. Se caracteriza por fuertes temporales que pueden transportar gran cantidad del sedimento vertido a la franja litoral. La dirección predominante del viento en la zona es de norte, noreste y suroeste. Las dos primeras direcciones acercan el material dragado a costa, mientras que la dirección suroeste lo aleja de las praderas.

Aunque se da credibilidad a los estudios preceptivos se evalúa una zona litoral más amplia de la prevista como susceptible de impacto, para garantizar el seguimiento de



todas las praderas afectadas por el vertido y sobretodo se tiene en cuenta la posible afectación del lugar de interés comunitario LIC ES531007 (Illa del Aire-Punta de s'Esperó).

### Diseño muestral

El diseño y localización de las estaciones de muestreo se consensuó entre los técnicos de la empresa CBBA y los investigadores del Instituto Español de Oceanografía.

Se ha delimitado el área de estudio a la zona costera entre la península de La Mola y la isla del Aire, lo que supone unos 8 km de costa. En este espacio se han establecido 8 localidades, equidistantes en la medida de lo posible y separadas entre sí centenares de metros. En cada localidad se han seleccionado tres estaciones de muestreo a tres cotas de profundidad diferentes: 10 m, 20 m y el límite inferior de la pradera de *P. oceanica*. La localización concreta de cada estación se detalla en los mapas de las Figuras 4.2 a 4.5.

De las 8 localidades seleccionadas inicialmente, sólo se han podido muestrear 7 de ellas. Una de las localidades inicialmente previstas estaba localizada al levante de la isla del Aire. En la prospección de las diferentes cotas para definir las estaciones de muestreo, se observó que en esta localidad el fondo tiene una elevada pendiente hasta 25 m, no existiendo pradera de *P. oceanica* en las cotas de 10 y 20 m, lo que impidió la instalación de las estaciones. Esta localidad ha sido sustituida por otra situada en la bocana del Puerto de Maó, en el embarcadero de La Mola, donde existe una pradera de *P. oceanica* que ya ha sido muestreada con anterioridad (Álvarez y Grau, 2011).

Cabe mencionar también que de las 8 localidades previstas inicialmente, una de ellas, Cala Rifalet, no tiene pradera de *P. oceanica* en la cota de 10 m en toda el área prospectada. Por este motivo no se ha establecido la estación correspondiente a esta cota de profundidad, manteniéndose, sin embargo, las estaciones de 20 m y el límite inferior de pradera de esta localidad.

A continuación se presenta un listado de las localidades y de las estaciones, con el acrónimo utilizado en el documento para referirse a cada una de ellas:

- La Mola 1: Mo1-10, Mo1-20, Mo1-30 (para estaciones a 10 m, a 20 m y límite inferior, respectivamente) (Figura 4.2)
- La Mola 2: Mo2-10, Mo2-20, Mo2-30 (para estaciones a 10 m, a 20 m y límite inferior, respectivamente) (Figura 4.2)





- Puerto de Maó: Po-10, Po-30 (para estaciones a 10 m, y límite inferior, respectivamente) (Figura 4.2)
- Cala Sant Esteve: CE-10, CE-20, CE-30 (para estaciones a 10 m, a 20 m y límite inferior, respectivamente) (Figura 4.3)
- Caló des Vi Blanc: VB-10, VB-20, VB-30 (para estaciones a 10 m, a 20 m y límite inferior, respectivamente) (Figura 4.3)
- Cala Rrafalet: CR-20, CR-30 (para estaciones a 20 m y límite inferior, respectivamente) (Figura 4.4)
- Alcaufar: AL-10, AL-20, AL-30 (para estaciones a 10 m, a 20 m y límite inferior, respectivamente) (Figura 4.4)
- Isla del Aire: IA-10, IA-20, IA-30 (para estaciones a 10 m, a 20 m y límite inferior, respectivamente) (Figura 4.5).

La campaña de campo de llevó a cabo durante el mes de febrero de 2014.

A continuación se detalla esquemáticamente un resumen de la estrategia de muestreo realizada durante la campaña (Figuras 4.2 a 4.5). La metodología concreta para cada descriptor se detalla en el sub-apartado Parámetros analizados.

- Parcelas de *P. oceanica*. Estaciones en las que se han instalado 3 parcelas permanentes de 50 x 50 cm, para el estudio de la dinámica de la densidad de haces de *P. oceanica*, a 10 y 20 m de profundidad, para praderas someras y profundas, respectivamente. En cada parcela se han tomado además 10 medidas de desenterramiento de los haces de *P. oceanica*.
- Delimitación del límite inferior de la pradera de *P. oceanica*. Estaciones en las que se ha delimitado el límite inferior de la pradera mediante estacas a lo largo de un transecto de 50 m.
- Recogida de muestras de 10 haces de *P. oceanica* para el análisis de contaminantes en tres cotas de profundidad 10 m, 20 m y el límite inferior de la pradera de *P. oceanica*.
- Censos de *P. nobilis*. Estaciones en las que se han realizado censos para determinar la densidad del bivalvo endémico *P. nobilis* en dos cotas de profundidad 10 y 20 m, mediante 5 transectos de 60 m<sup>2</sup> (30 x 2 m) de superficie. A cada individuo censado se le ha medido el ancho máximo de la valva y el grado de epifitismo.
- Parcelas de *P. nobilis*. Estaciones en las que se ha instalado una parcela circular permanente de 6 m de radio, que (113 m<sup>2</sup> de área), para el estudio de la supervivencia de *P. nobilis* en el periodo de estudio. Cada individuo censado ha sido marcado y se le ha medido el ancho máximo de la valva y el grado de epifitismo.



- Recogida de muestras de sedimento para análisis granulométrico. Se han recogido dos muestras por estación en 9 estaciones.
- \* CTD. Puntos en los que se han realizado perfiles de CTD para la caracterización de variables oceanográficas en la columna de agua.

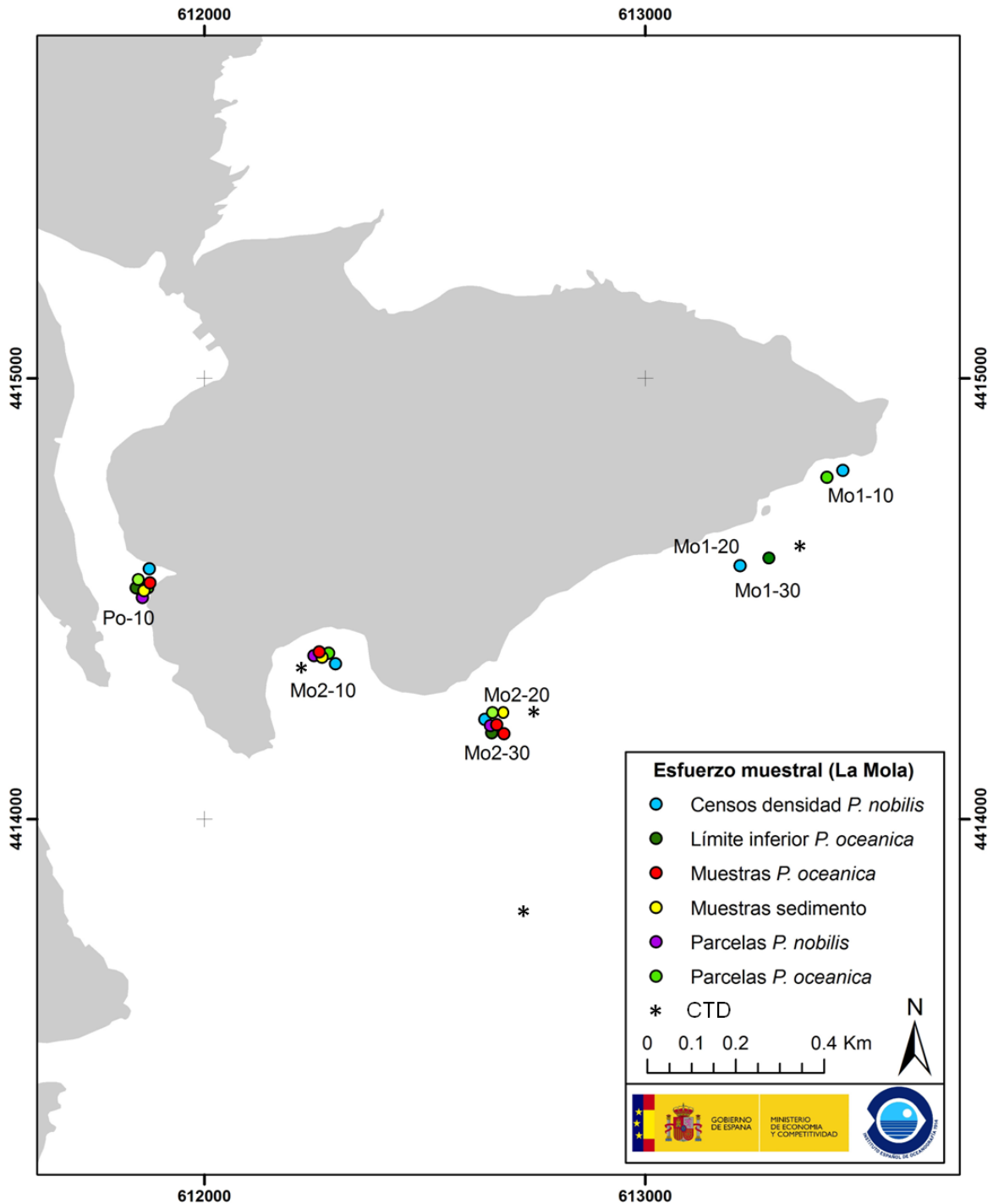


Figura 4.2. Esfuerzo muestral realizado en el área de estudio, en la zona de La Mola. Situación de las estaciones de muestreo de pradera de *P. oceanica* y de *P. nobilis*. Situación de los puntos donde se han recogido muestras de *P. oceanica* y de sedimento y donde se han hecho los perfiles oceanográficos con CTD.

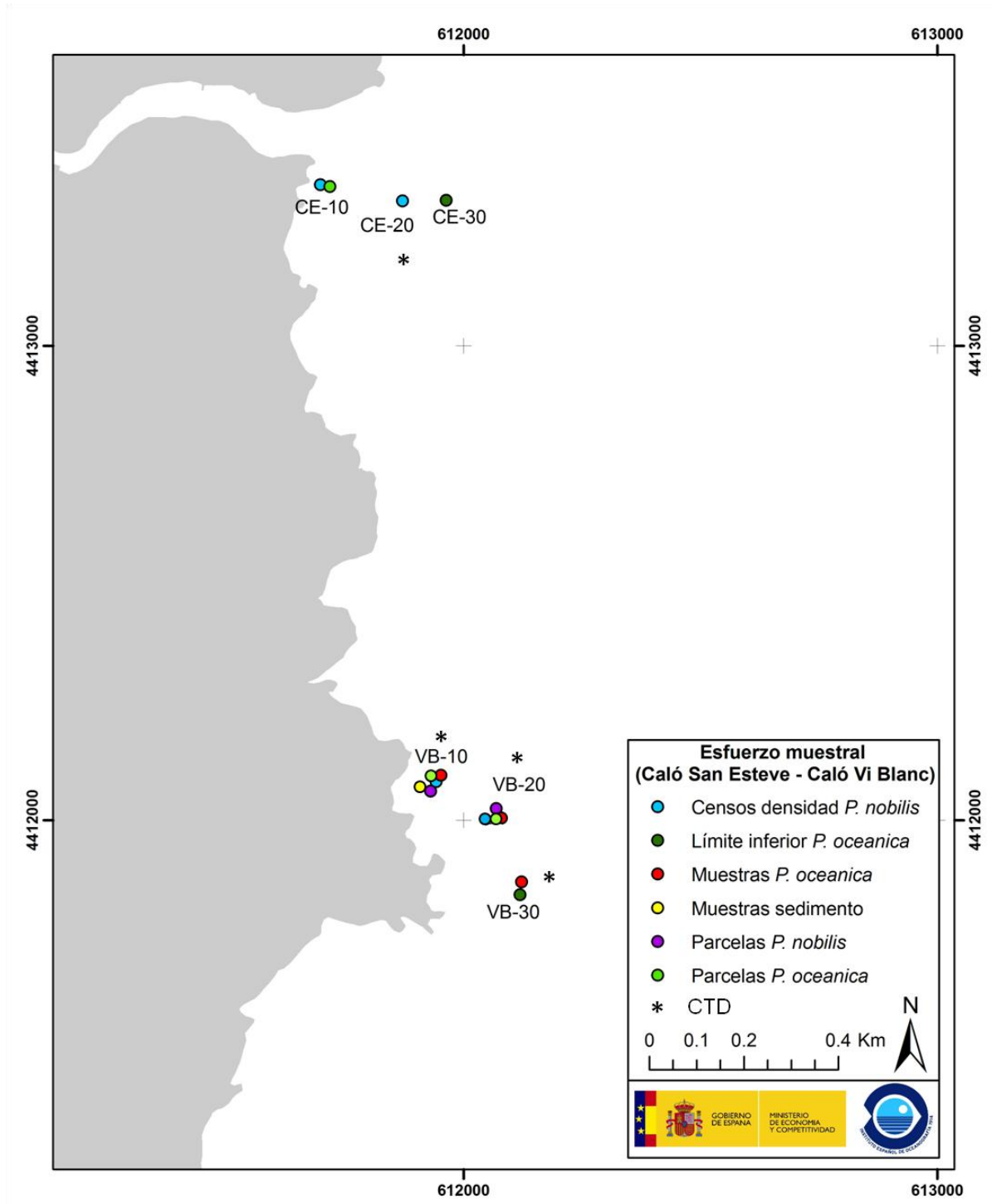


Figura 4.3. Esfuerzo muestral realizado en el área de estudio, en la zona de Cala Sant Esteve y el Caló des Vi Blanc. Situación de las estaciones de muestreo de pradera de *P. oceanica* y de *P. nobilis*. Situación de los puntos donde se han recogido muestras de *P. oceanica* y de sedimento y donde se han hecho los perfiles oceanográficos con CTD.

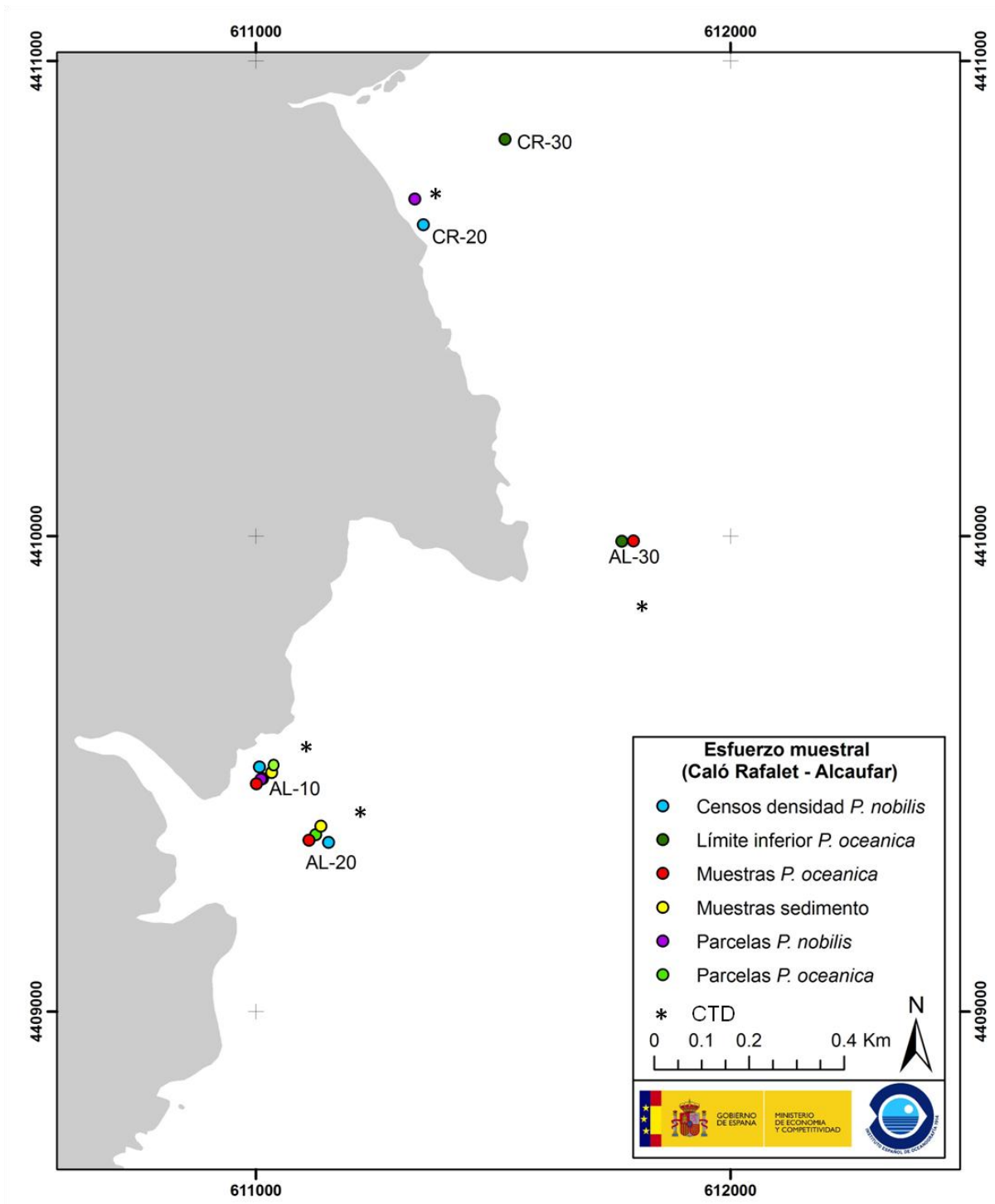


Figura 4.4. Esfuerzo muestral realizado en el área de estudio, en la zona de Cala Rafalet y Alcaufar. Situación de las estaciones de muestreo de pradera de *P. oceanica* y de *P. nobilis*. Situación de los puntos donde se han recogido muestras de *P. oceanica* y de sedimento, así como donde se han hecho los perfiles oceanográficos con CTD.

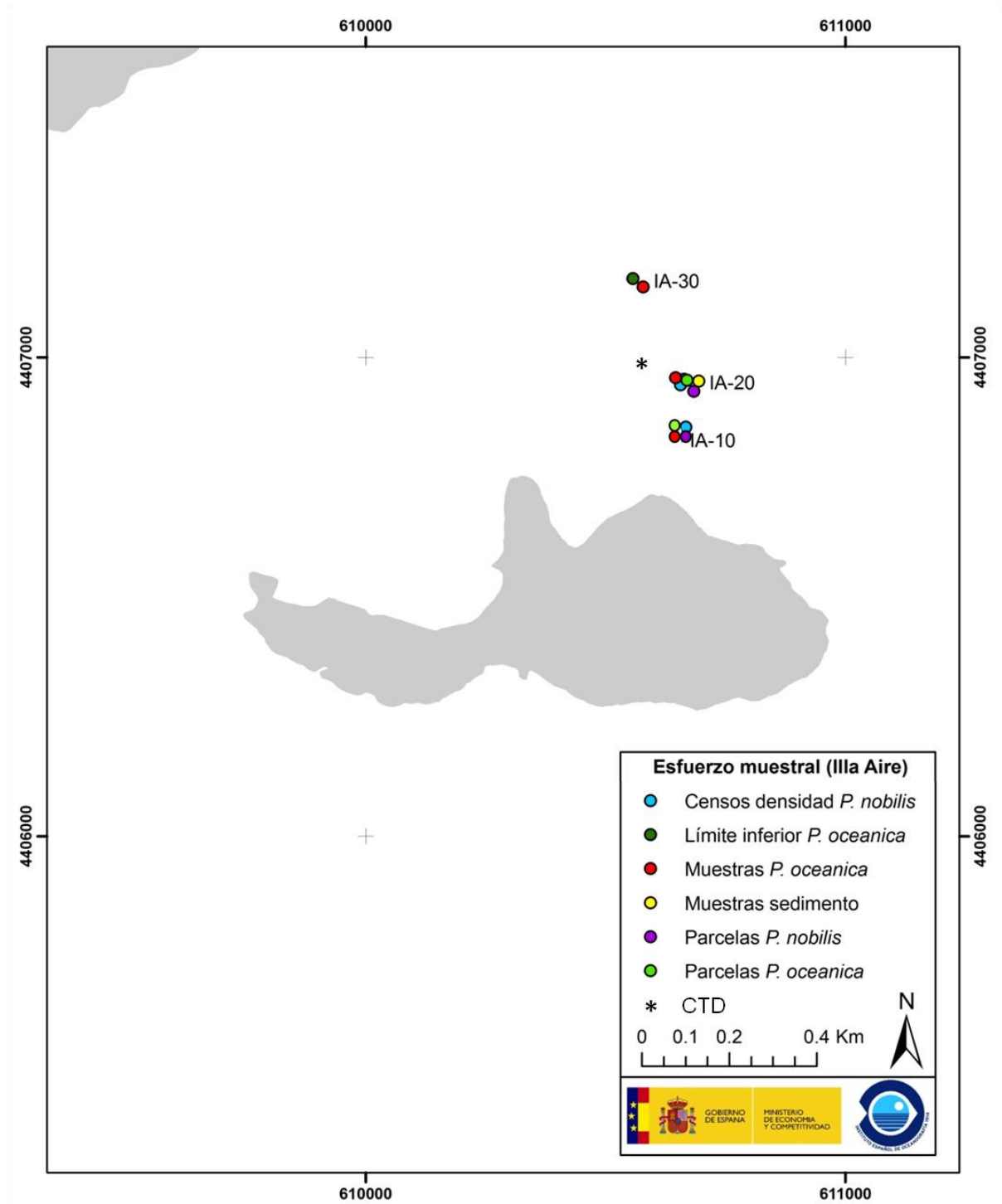


Figura 4.5. Esfuerzo muestral realizado en el área de estudio, en la zona de la isla del Aire. Situación de las estaciones de muestreo de pradera de *P. oceanica* y de *P. nobilis*. Situación de los puntos donde se han recogido muestras de *P. oceanica* y de sedimento, así como donde se han hecho los perfiles oceanográficos con CTD.

## Parámetros analizados

### Descriptorios para la caracterización de las praderas de *Posidonia oceanica*

Los descriptorios utilizados para la caracterización de las praderas de *P. oceanica* en el presente estudio han sido:

#### - Delimitación del límite inferior de la pradera

Los límites de las praderas son descriptorios sencillos de su distribución y a la vez son indicadores robustos de su estado, ya que, a menudo, los factores de estrés que afectan a las praderas se manifiestan primero en sus límites progresando, quedando estable o en proceso de regresión (Figura 4.6). En este caso se ha evaluado el límite inferior de la pradera, por ser el más sensible a una reducción en la transparencia del agua, que provoca un retroceso del límite a cotas más someras (Borum *et al.*, 2004).

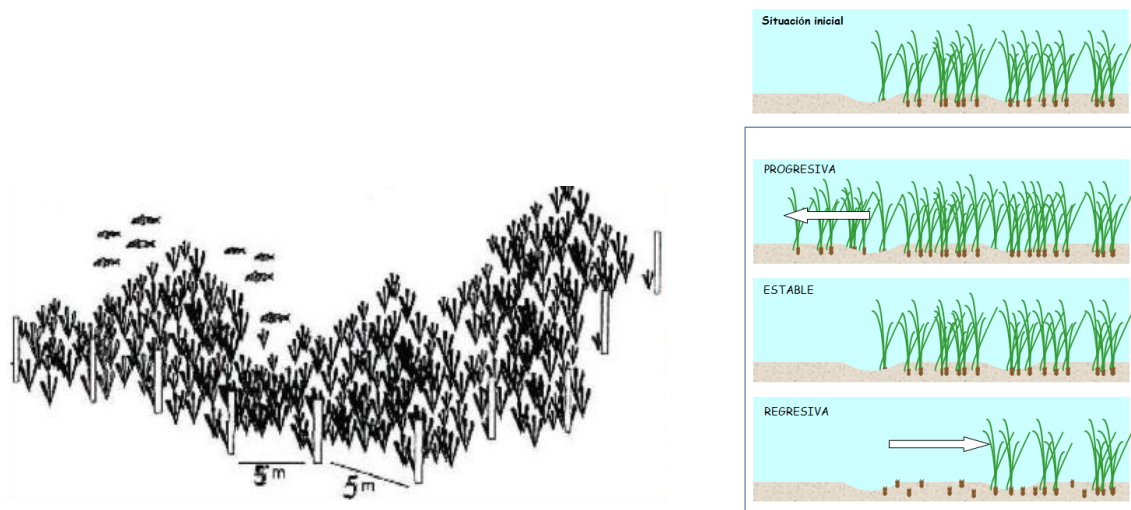


Figura 4.6. Delimitación del límite de la pradera y tres posibles casos de evolución del mismo. (Imagen derecha extraída de Ruiz *et al.*, 2006).

El límite inferior de la pradera, en cada una de las 8 estaciones, se situó inicialmente a partir de la cartografía existente de la zona de estudio, y para confirmar su situación exacta se utilizó el equipo de cámara remota IPSE y se hicieron inmersiones de búsqueda. El equipo de observación submarina IPSE, permite obtener de manera rápida una visión de la presencia o no de límite de pradera en el área prospectada (Figura 4.7).

Para cuantificar la evolución del límite inferior de la pradera, en todas las estaciones seleccionadas se ha delimitado dicho límite instalando 10 estacas, separadas entre sí

5 m, a lo largo de un transecto de 50 m, según metodología propuesta por Díaz-Almela y Marbà (2009).



Figura 4.7. A) Inspección de una zona por medio del IPSE para localizar el límite inferior de la pradera de *P. oceanica*. B) Detalle del IPSE.

#### - Evaluación de la dinámica poblacional de haces *P. oceanica*

Para obtener una visión complementaria del resto de descriptores, y de los que se obtengan en el estudio paralelo elaborado por CBBA (p.ej. densidad, cobertura, necrosis foliar, etc.), se ha decidido incorporar este descriptor que consiste en realizar contajes de haces en parcelas fijas y repetirlos anualmente (Short y Coles, 2001). Con este método se obtiene una imagen más detallada de la dinámica de la pradera, y se elimina la variabilidad espacial de la pradera, que proporcionan descriptores como la densidad o la cobertura. Este descriptor nos permite una detección más temprana de los posibles cambios en la densidad de haces, que pueden tener especies de lento crecimiento como *P. oceanica* (Heidelbaugh y Nelson, 1996; Marbà *et al.*, 2005). Además, los censos en parcelas fijas proporcionarán anualmente tasas demográficas (tasa de mortalidad, crecimiento neto), muy útiles en cualquier programa de seguimiento y en la cuantificación de impactos. En cada una de las estaciones seleccionadas se instalaron 3 parcelas permanentes de 50 x 50 cm. Estas estructuras cuentan con unos “pies” diseñados para clavarse en el lecho marino, sea rizoma de *P. oceanica* o arena (Figura 4.8). Las praderas de la zona de estudio crecen sobre roca, lo que hizo difícil su anclaje e instalación.

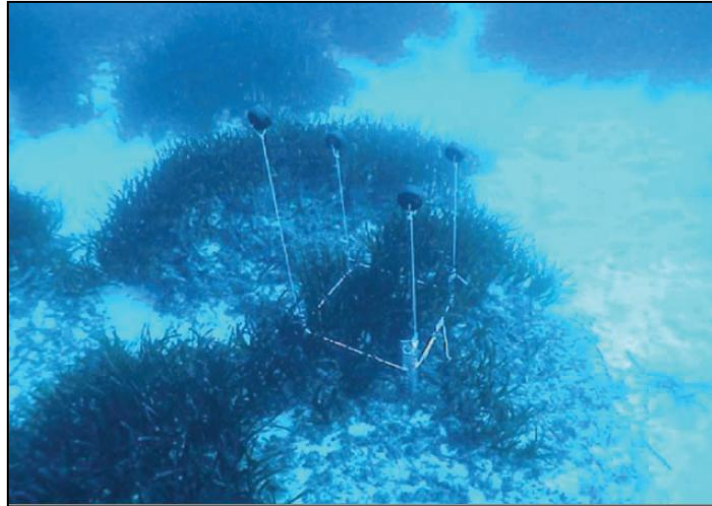


Figura 4.8. Parcela permanente instalada en una pradera de *P. oceanica*.

#### - **Determinación de la densidad de haces de *P. oceanica***

Las fanerógamas marinas son plantas clonales, y sus poblaciones están compuestas por haces, producidos vegetativamente, que son las unidades básicas de las praderas. La abundancia numérica de los haces es una herramienta básica para describir la abundancia de la pradera, y un parámetro clave incluido en cualquier programa de monitorización o en una valoración del estado de la pradera. La densidad aplicada a las praderas se define como el número de haces de planta por unidad de superficie. La determinación de la densidad de haces se ha realizado en los 3 cuadros permanentes instalados para el estudio de dinámica poblacional de la pradera. Para cada estación se han obtenido 3 réplicas. Estos valores se extrapolan a 1 m<sup>2</sup> de superficie (Sánchez-Lizaso, 1993; Short y Coles, 2001). Este parámetro proporciona valores de abundancia que se corresponde con la densidad de haces por metro cuadrado de pradera.

#### - **Desenterramiento de los haces de *P. oceanica***

El desenterramiento de los haces verticales de *P. oceanica* es un síntoma de erosión de la pradera, así como un excesivo enterramiento de los haces, puede causar su mortalidad (Figura 4.9). Para que la pradera se mantenga en equilibrio el sedimento debe ser estable o acumularse lentamente, de manera que la pradera pueda reaccionar a una tasa de elevación media del sustrato de 3 a 5 cm año<sup>-1</sup> (Gacia y Duarte, 2001; Duarte, 2004). Tasas superiores de sedimentación provocan el enterramiento de las praderas. Acumulaciones de sedimento superiores a 10 cm provocan una mortalidad de haces del 50%, y cuando el enterramiento de los rizomas excede 14-15 cm, la mortalidad de haces es del 100% (Cabaço *et al.*, 2008).



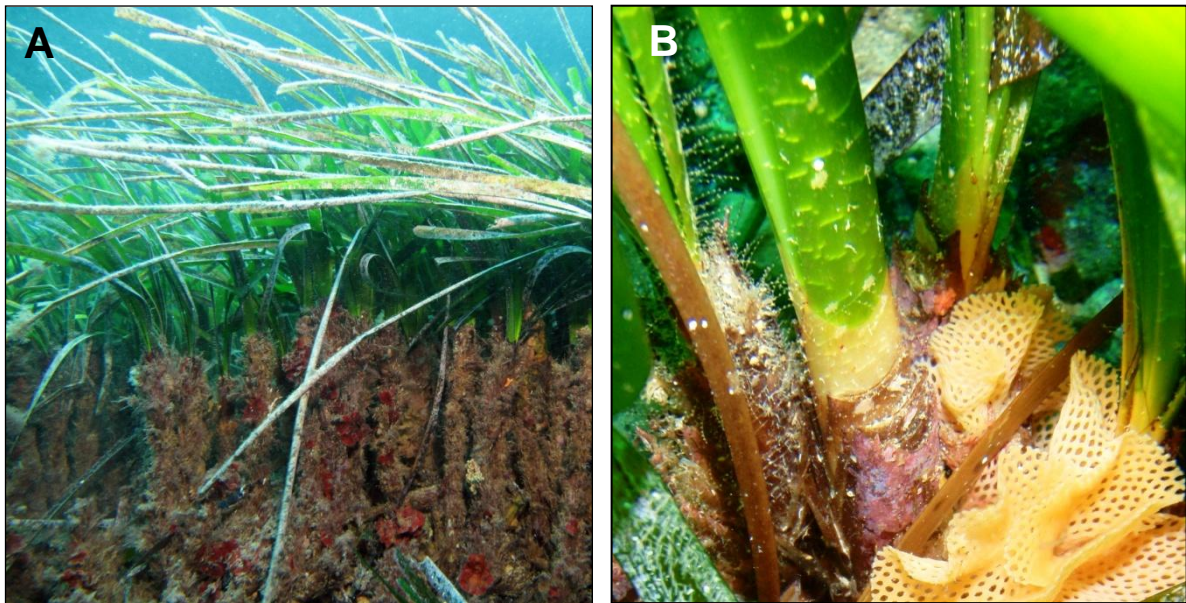


Figura 4.9. A) Haces desenterrados en una pradera de *P. oceanica*. B) Detalle de la lígula de un haz de *P. oceanica*.

Para valorar el desenterramiento de los haces en las estaciones seleccionadas, se ha medido en cada haz la distancia vertical en centímetros, entre el sedimento y la lígula (meristemo de crecimiento), de una de las hojas externas del haz. Se han realizado 30 replicas por estación.

#### - **Análisis de contaminantes en *P. oceanica***

El material dragado que se verterá está clasificado de Categoría II por el protocolo CEDEX 1994 (cantidad moderada de contaminantes). El aporte de tal cantidad de compuestos químicos también debe ser estudiado en las plantas por sus implicaciones tróficas y por la afectación que puedan tener en la dinámica de la pradera. Se han recogido un total de 10 haces de *P. oceanica* en 5 de las localidades del área de estudio, y en las tres cotas de profundidad, con un total de 13 muestras. Siguiendo los protocolos establecidos (Lafabrie *et al.*, 2007; Di Leo *et al.*, 2013) las muestras se han guardado en bolsas de polietileno y se han congelado para su posterior análisis.

## Descriptores para la caracterización de las poblaciones del bivalvo *Pinna nobilis*

Los descriptores utilizados para la caracterización de las poblaciones de *P. nobilis* en el presente estudio han sido:

### - Densidad de individuos

Para las estimaciones de abundancia y distribución de las poblaciones de *P. nobilis* en el área de estudio, se ha realizado un recuento de todos los ejemplares encontrados a lo largo de un transecto de 30 m de longitud por 2 m de anchura (Vázquez-Luis *et al.*, 2014). El recuento se realiza con dos buceadores a la vez, cada uno recorre un carril de 1 m de anchura a cada lado del transecto (Figura 4.10). Los resultados son expresados en individuos por 100 m<sup>2</sup>. Se han realizado un total de 5 transectos por estación. Con esta metodología se determina la densidad de ejemplares vivos así como la de ejemplares muertos. Este descriptor ha sido evaluado en dos cotas de profundidad, en la cota somera (10 m) y en la cota profunda (20 m).

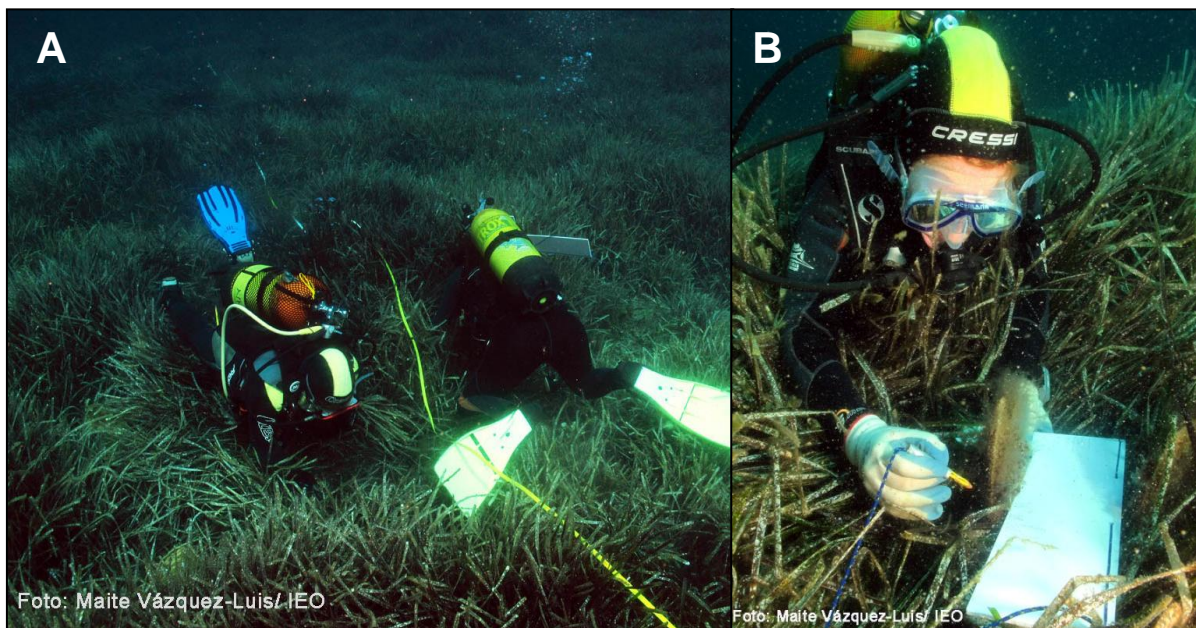
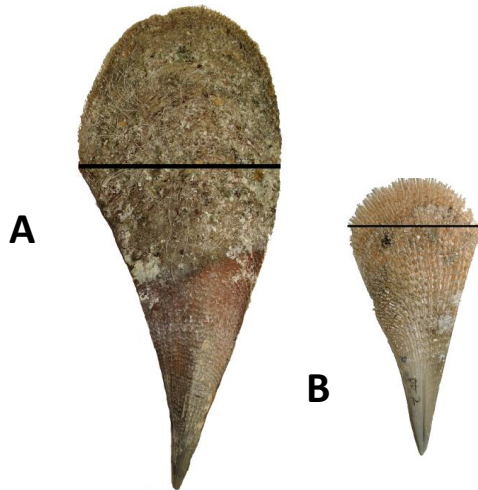


Figura 4.10. A) Buzos buscando ejemplares de *P. nobilis* a lo largo de un transecto de 30 x 2 m. B) Detalle de buzo midiendo el ancho máximo de un ejemplar.

### - Determinación de la estructura poblacional de *P. nobilis*

La cuantificación de la estructura de tallas de *P. nobilis* se realizó midiendo la anchura máxima de la valva en cada uno de los individuos censados en los transectos destinados a la evaluación de la densidad de individuos. En los individuos de pequeño tamaño la anchura máxima se encuentra en la parte superior de la valva, mientras que en los

individuos de gran talla la anchura máxima se mide en el punto de inflexión de la misma (Figura 4.11). Los valores de anchura máxima de todos los individuos medidos se utilizaron para estimar la estructura demográfica de la población en cada estación del



área de estudio y para comparar gráficamente las diferencias en la estructura demográfica entre estaciones y por cotas de profundidad. Este descriptor ha sido evaluado en dos cotas de profundidad, en la cota somera (10 m) y en la cota profunda (20 m).

Figura 4.11. Anchura máxima de dos individuos de *P. nobilis*. A) anchura máxima medida en el punto de inflexión en un individuo adulto; B) anchura máxima medida en un individuo juvenil.

#### - Epifitismo por algas invasoras

La colonización de macroalgas invasoras en Baleares está muy extendida y afecta al ecosistema (Deudero *et al.*, 2011, 2014). Las especies más frecuentes que podemos encontrar son: *Caulerpa racemosa*, *Lophocladia lallemandii* y *Acrothamnion preissii*. Los efectos de estas especies sobre los organismos sésiles son prácticamente desconocidos aunque ya se han constatado efectos negativos de la colonización de *L. lallemandii* sobre *P. nobilis* (Box *et al.*, 2009, Cabanellas-Reboredo *et al.*, 2010, Vázquez-Luis *et al.*, 2014). Además estudios recientes sobre la macroalga invasora *L. lallemandii* indican necrosis y mortalidad de rizomas y haces en praderas de *P. oceanica* (Ballesteros *et al.*, 2007) además de haberse constatado sus efectos fisiológicos sobre la fanerógama (Sureda *et al.*, 2008). Por lo tanto la presencia de especies invasoras, en este caso de *L. lallemandii*, pueden complicar la conservación de *P. nobilis* ya sea afectándola directamente ó alterando su hábitat. Es por ello de gran interés evaluar y caracterizar los efectos de las especies invasoras sobre *P. nobilis*, Así, durante los censos dirigidos a evaluar la densidad de individuos de la población de *P. nobilis*, en cada uno de los ejemplares censados se evaluó también el grado de epifitismo por las tres macroalgas invasoras más frecuentes, *C. racemosa*, *L. lallemandii* y *A. preissii* (Figura 4.12). El grado de epifitismo se estima como el porcentaje de recubrimiento de las valvas por cada especie de macroalga invasora según metodología propuesta por Vázquez-Luis *et al.* (2014).

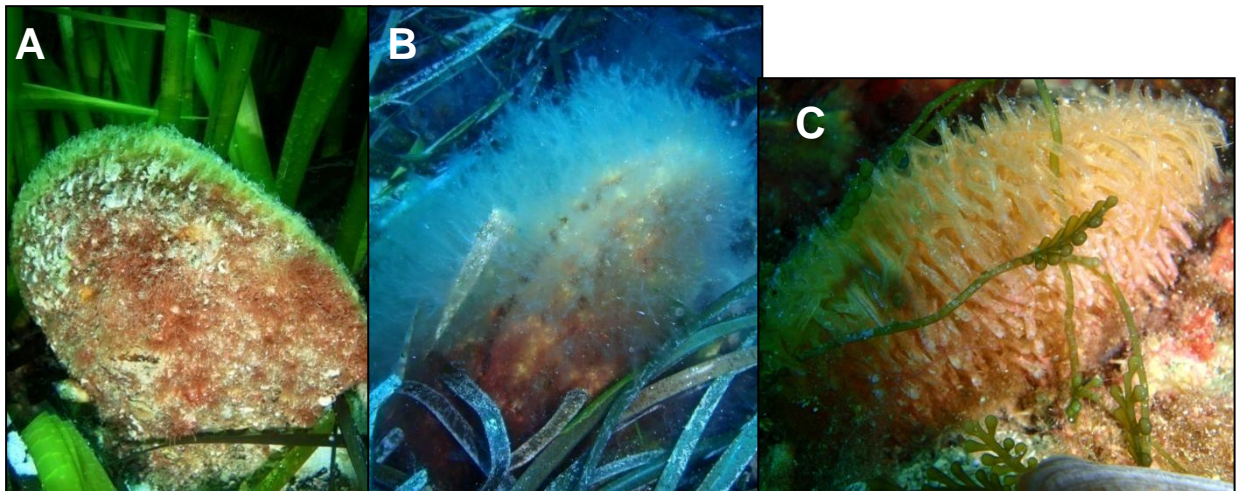


Figura 4.12. Ejemplares de *P. nobilis* epifitados por las tres macroalgas invasoras. A) *A. preissii*. B) *L. lamellandii*. C) *C. racemosa*.

#### - Dinámica poblacional de *P. nobilis*

La distribución de las nacras en una pradera suele ser contagiosa y su densidad poblacional está entre 0 y 5 individuos por m<sup>2</sup>, siendo lo más común menos de 10 individuos por cada 100 m<sup>2</sup> (García-March, 2005). Para el estudio demográfico de *P. nobilis* en el área de estudio, se ha procedido a la instalación de parcelas circulares permanentes en 5 de las 8 localidades. En cada parcela se han contabilizado y medido los individuos, se han cartografiado y se han marcado para el posterior seguimiento de la población.

Para el marcaje de los ejemplares se utilizaron métodos no invasivos, que varían en función de la talla del animal. Así, los ejemplares de talla grande se marcaron colocando en su base una brida grande con una etiqueta numerada de plástico (Figura 4.13A) mientras que los individuos de talla pequeña se marcaron fijando una etiqueta numerada de plástico a una piqueta pequeña que se clavaba cerca de la base del individuo (Figura 4.13B).

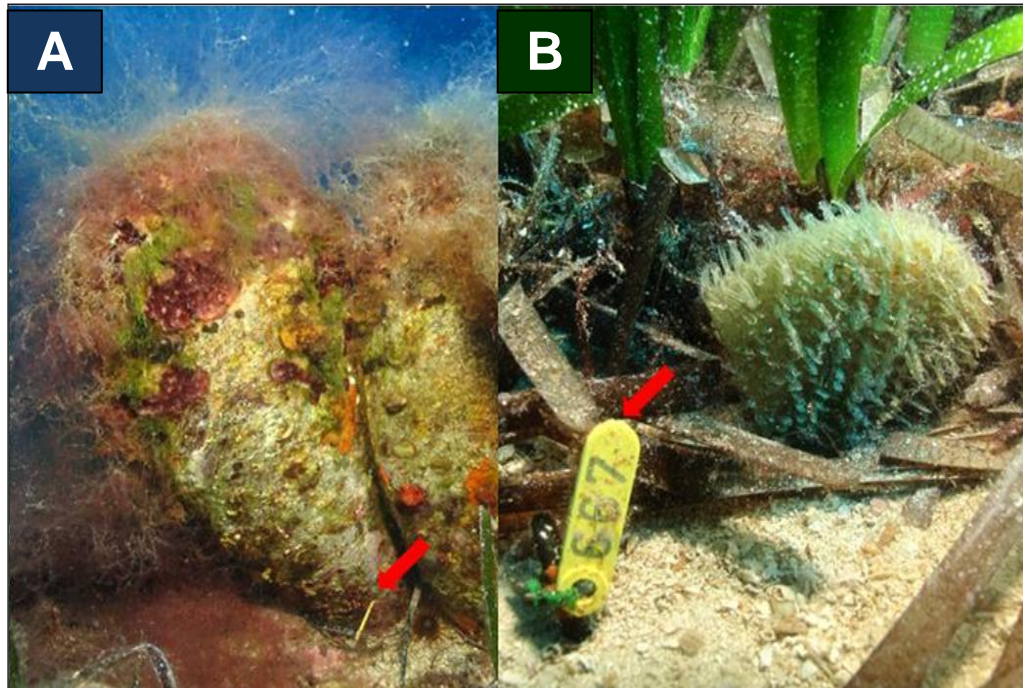


Figura 4.13. Ejemplares de *P. nobilis* marcados con los dos tipos de marcas utilizadas en el estudio. A) Individuo adulto marcado con una brida en la base de la cocha. B) Individuo juvenil marcado con una piqueta.

### Análisis granulométrico del sedimento

Para caracterizar el sedimento en la zona de estudio se han tomado 3 réplicas por estación utilizando cores, tubo de metacrilato de unos 30 cm de largo, 3,5 cm de diámetro y una pared fina (0,03 mm) que permiten tomar muestras en toda la potencia del sedimento.

Posteriormente las muestras fueron procesadas en el laboratorio. Para el análisis de la granulometría se desecó el sedimento durante 48 horas a 60°C y se tamizó en seco la muestra con un sistema vibrador marca Orto-alresa a través de una columna de 6 tamices para separar las fracciones de: 2; 1; 0,5; 0,25; 0,125; 0,063 mm. Se pesó y se calculó el porcentaje relativo al peso seco inicial de la muestra de cada fracción obtenida en los tamices (Tucker, 1988). A partir de estas fracciones se calcularon los valores de tamaño medio de los granos de sedimento ( $\Phi$ ,  $\phi$ ) en la escala Udden (1914) y Wentworth (1922):

$$\phi = -\text{Log}_2 d$$

Donde  $d$  = diámetro medio del sedimento.



El valor  $\phi$  sirve para clasificar el sedimento en función del tamiz utilizado. Las fracciones obtenidas fueron: arenas muy gruesas ( $-1 > \phi < 0$ ), arenas gruesas ( $0 > \phi < 1$ ), arenas medias ( $1 > \phi < 2$ ) y arenas finas ( $2 > \phi < 3$ ) y arenas muy finas ( $3 > \phi < 4$ ) (Buchanan, 1984).

### Perfiles oceanográficos

Los valores de las variables oceanográficas, para caracterizar la columna de agua, fueron obtenidas por medio de un CTD multiparamétrico SEABIRD 19+, trabajando a 24 Hz. El CTD descendió a una velocidad promedio inferior a  $1 \text{ ms}^{-1}$ . Se obtuvieron perfiles verticales de los siguientes parámetros: temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), conductividad (salinidad) (psu), oxígeno disuelto (ml/l), fluorescencia ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) y turbidez (ntu). Se realizaron perfiles verticales en todas las estaciones y a diferentes profundidades siempre que las condiciones meteorológicas lo permitieron.

### Análisis de datos

Los datos de densidad de *P. oceanica* y *P. nobilis* recopilados en las distintas estaciones han sido incorporados a una base de datos con el programa de información Arc View 9.3. Para cada estación se ha expresado la densidad de individuos por  $\text{m}^2$  para *P. oceánica* y por  $100 \text{ m}^2$  para *P. nobilis* y se ha representado gráficamente (Mo1-10, Mo1-20, Mo2-10, Mo2-20, Po-10, CE-10, CE-20, VB-10, VB-20, CR-20, AL-10, AI-20, IA-10 y IA-20).

Los datos de densidad (haces/ $\text{m}^2$ ) y desenterramiento de los haces de *P. oceanica* han sido analizados mediante un análisis de la varianza, ANOVA de un factor, para identificar si existen diferencias significativas entre estaciones, con el programa de análisis estadístico SPSS. Para determinar la bondad de ajuste se ha aplicado la prueba Kolmogorov-Smirnov ( $p > 0,05$ ) y el test de Levene para confirmar la homogeneidad de varianzas ( $p > 0,05$ ). A posteriori de estos análisis se les ha aplicado el test post-hoc para comparaciones múltiples de Tukey. Las estaciones incluidas en el análisis, para ambos descriptores, han sido: Mo1-10, Mo2-10, Mo2-20, Po-10, CE-10, VB-10, VB-20, AL-10, AI-20, IA-10 y IA-20 (Figuras 4.2 a 4.5).

Los datos de granulometría del sedimento han sido analizados mediante un análisis multidimensional de escalas (MDS), para determinar la similitud entre las estaciones de muestreo. Los análisis se han realizado con el programa PRIMER 10.0. Las estaciones



analizadas han sido: Mo2-10, Mo2-20, Po-10, VB-20, AL-10, AL-20 y IA-20) (Figuras 4.2 a 4.5).

### 4.3. RESULTADOS

En la Tabla 4.1, se resume los descriptores medidos por cota batimétrica en cada una de las estaciones.

Tabla 4.1. Estaciones realizadas (identificadas por códigos), en cada localidad, y profundidad (10 m, 20 m y límite inferior de la pradera) y los descriptores que se han evaluado en cada una de ellas, detallando el número de réplicas realizadas para cada descriptor.

CÓDIGO ESTACIÓN		Mo1-10	Mo2-10	CE-10	VB-10		AL-10	IA-10	Po-10
Descriptores Cota 10m	Parcelas permanentes de <i>P. oceanica</i>	3	3	3	3		3	3	3
	Censos de <i>P. nobilis</i>	5	5	5	5		5	5	5
	Parcelas circulares de <i>P. nobilis</i>		1		1		1	1	1
	Sedimento		2		2		2		2
	Haces de <i>P. oceanica</i>		10		10		10	10	10
	CTD		1		1		1		
CÓDIGO ESTACIÓN		Mo1-20	Mo2-20	CE-20	VB-20	CR-20	AL-20	IA-20	
Descriptores Cota 20m	Parcelas permanentes de <i>P. oceanica</i>		3		3		3	3	
	Censos de <i>P. nobilis</i>	5	5	5	5	5	5	5	
	Parcelas circulares de <i>P. nobilis</i>		1		1	1	1	1	
	Sedimento		2				2	2	
	Haces de <i>P. oceanica</i>		10		10		10	10	
	CTD	1	1	1	1	1	1	1	
CÓDIGO ESTACIÓN		Mo1-30	Mo2-30	CE-30	VB-30	CR-30	AL-30	IA-30	Po-30
Límite inferior	Delimitación del límite inferior de la pradera	10	10	10	10	10	5	10	10
	Haces de <i>P. oceanica</i>		10		10		10	10	
	CTD		1		1		1		

#### Caracterización de las praderas de *Posidonia oceanica*

A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada descriptor evaluado en las praderas de *P. oceanica*.

### Límite inferior de la pradera de *P. oceanica*

Como ya se ha comentado, la delimitación de un límite de mancha o borde de pradera, proporciona información sobre la evolución de la misma en el tiempo. Para este trabajo se ha delimitado el límite inferior de las 8 praderas de *P. oceanica* seleccionadas en el área de estudio (Figura 4. La evolución de dichos límites será evaluada en la segunda campaña de muestreo, que se realizará con posterioridad al vertido de sedimentos, aproximadamente en enero de 2015.

Estación La Mola 1 (Mo1-30): el límite inferior de la pradera está situado a una profundidad de 20 m. La pradera presenta un límite claro y continuo con facies de arena gruesa y pradera de *Cystoseira* spp. (Figura 4.14).

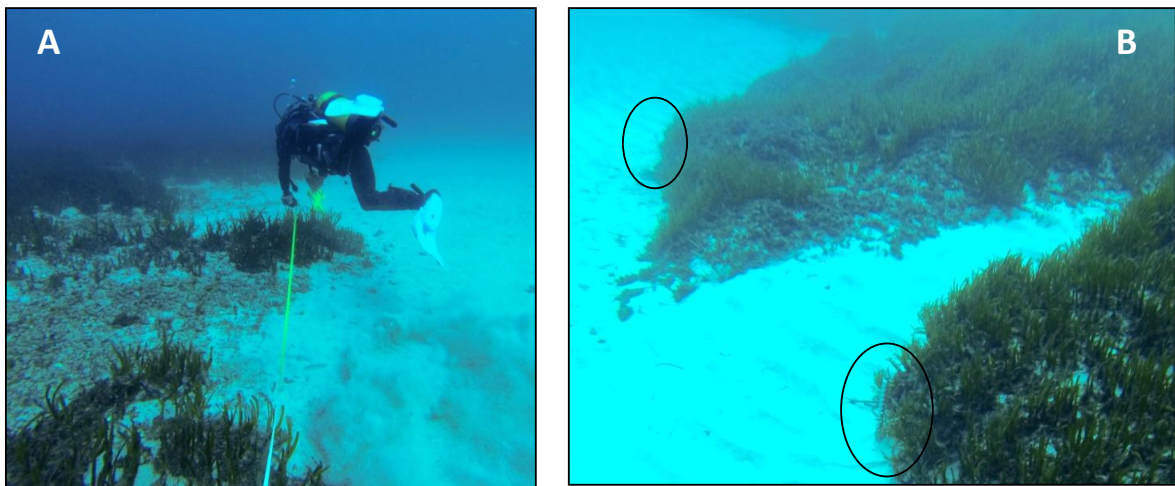


Figura 4.14. Delimitación del límite inferior de la pradera de *P. oceanica*. A. Buzo colocando el transecto a lo largo del cual se colocan las estacas en el límite entre la planta y la arena. B. Detalle de las estacas instaladas en el límite de la estación del Caló des Vi Blanc (VB-30).

Estación La Mola 2 (Mo2-30): el límite inferior de la pradera está situado a una profundidad de 23 m. La pradera presenta un límite claro y continuo con fondos de arena gruesa.

Estación Puerto de Maó (Po-30): la pradera tiene una extensión reducida, y su límite inferior está situado a una profundidad de 11 m, cerca del canal entre Menorca y la isla de Lazareto. La pradera presenta un límite claro y continuo con fondos de arenas finas.

Estación Cala Sant Esteve (CE-30): el límite inferior de la pradera está situado a una profundidad de 26,4 m. En este caso la pradera, situada sobre fondo rocoso, presenta un límite claro y continuo con fondos de arena.





Estación Caló des Vi Blanc (VB-30): el límite inferior de la pradera está situado a una profundidad de 30,1 m. Como ocurre en las estaciones anteriores, la pradera se sitúa sobre un fondo rocoso, y presenta un límite claro y continuo con la arena.

Estación Cala Rafalet (CR-30): la distribución de la pradera en esta estación está limitada al norte por el canal de entrada y salida de la cala. Es en esta zona dónde se estableció el límite, por ser un límite claro y continuo con la arena. En esta estación el límite inferior de la pradera está situado a una profundidad de 31,9 m. La pradera se sitúa sobre fondo rocoso, y presenta un límite claro y continuo con la arena.

Estación Alcaufar (AL-30): en esta estación la pradera alcanza las máximas profundidades que se ha encontrado en el área prospectada. Al contrario que en el resto de estaciones, en este caso no se consiguió encontrar un límite inferior continuo, ya que la pradera se distribuye en manchas, formando un límite progresivo. Se prospectaron varios puntos mediante el IPSE e inmersiones puntuales, para localizar la zona donde debía ubicarse el límite. Finalmente se localizó una zona con un límite claro de la pradera con arena, situado a una profundidad de 35 m.

Estación isla del Aire (IA-30): la distribución de la pradera en esta estación está limitada al norte por el canal entre la isla del Aire y Menorca. Es en esta zona dónde se estableció el límite, por ser un límite claro y continuo. En esta estación el límite inferior de la pradera está situado a una profundidad de 22 m. La pradera se sitúa sobre fondo rocoso, y presenta un límite claro y continuo con la arena.

En 6 de las estaciones prospectadas el límite de la pradera se ha podido marcar con las 10 estacas previstas a lo largo de un transecto de 50 m, con una separación de 5 m entre cada una de ellas. En la estación AL-30 (Alcaufar), el límite de la pradera se ha marcado mediante 5 estacas a lo largo de un transecto de 30 m, con una separación entre 5-8 m entre cada una de ellas, debido a la dificultad de clavar las estacas en el substrato.

### **Dinámica poblacional de haces**

Debido a los requerimientos lumínicos de la planta a distintas profundidades, se han establecido dos cotas de profundidad para el seguimiento de la dinámica poblacional de *P. oceanica*, praderas someras, alrededor de los 10 m de profundidad y praderas profundas, alrededor de los 20 m de profundidad. Así en el área de estudio se han establecido un total de 11 estaciones: 7 en praderas someras y 4 en praderas profundas (Figuras 4.2 a 4.5).



Para el estudio de la dinámica poblacional de los haces, en esta primera campaña, se han realizado los recuentos iniciales de las 3 parcelas permanentes instaladas en cada estación (Tabla 4.2). La estimación de la evolución de la densidad de haces en las parcelas se realizará al año de su instalación (enero 2015).

Tabla 4.2. Número total de haces presentes en las 3 parcelas permanentes (50 x 50 cm) y media ( $\pm$  error típico) de las 11 estaciones de *P. oceanica* establecidas. Praderas someras (10m): Mo1-10: La Mola 1; Mo2-10: La Mola 2; Po-10: Puerto de Maó; CE-10: Cala Sant Esteve; VB-10: Caló des Vi Blanc; AL-10: Alcaufar; IA-10: Isla del Aire. Praderas profundas (20 m): Mo2-20: La Mola 2; VB-20: Caló des Vi Blanc; AL-20: Alcaufar; IA-20: Isla del Aire.

	Estación	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Media
Praderas someras (10 m)	Mo1-10	159	159	158	158,7 $\pm$ 0,33
	Mo2-10	203	155	154	170,7 $\pm$ 16,17
	Po-10	51	94	81	75,3 $\pm$ 12,73
	CE-10	144	154	155	151,0 $\pm$ 3,51
	VB-10	132	136	156 $\pm$	141,3 $\pm$ 7,42
	AL-10	174	180	184	179,3 $\pm$ 2,91
	IA-10	122	182	171	158,3 $\pm$ 18,44
Praderas profundas (20 m)	Mo2-20	87	108	63	86,0 $\pm$ 13,00
	VB-20	124	94	137	118,3 $\pm$ 12,73
	AL-20	98	109	132	113,0 $\pm$ 10,02
	IA-20	105	84	82	90,3 $\pm$ 7,36

### Densidad de haces de pradera de *P. oceanica*

A partir de los datos de las parcelas permanentes de cada estación se ha calculado la densidad de haces para cada una de las estaciones establecidas. La densidad de haces se han representado gráficamente en la Figura 4.15, donde puede verse cómo la densidad disminuye en profundidad.

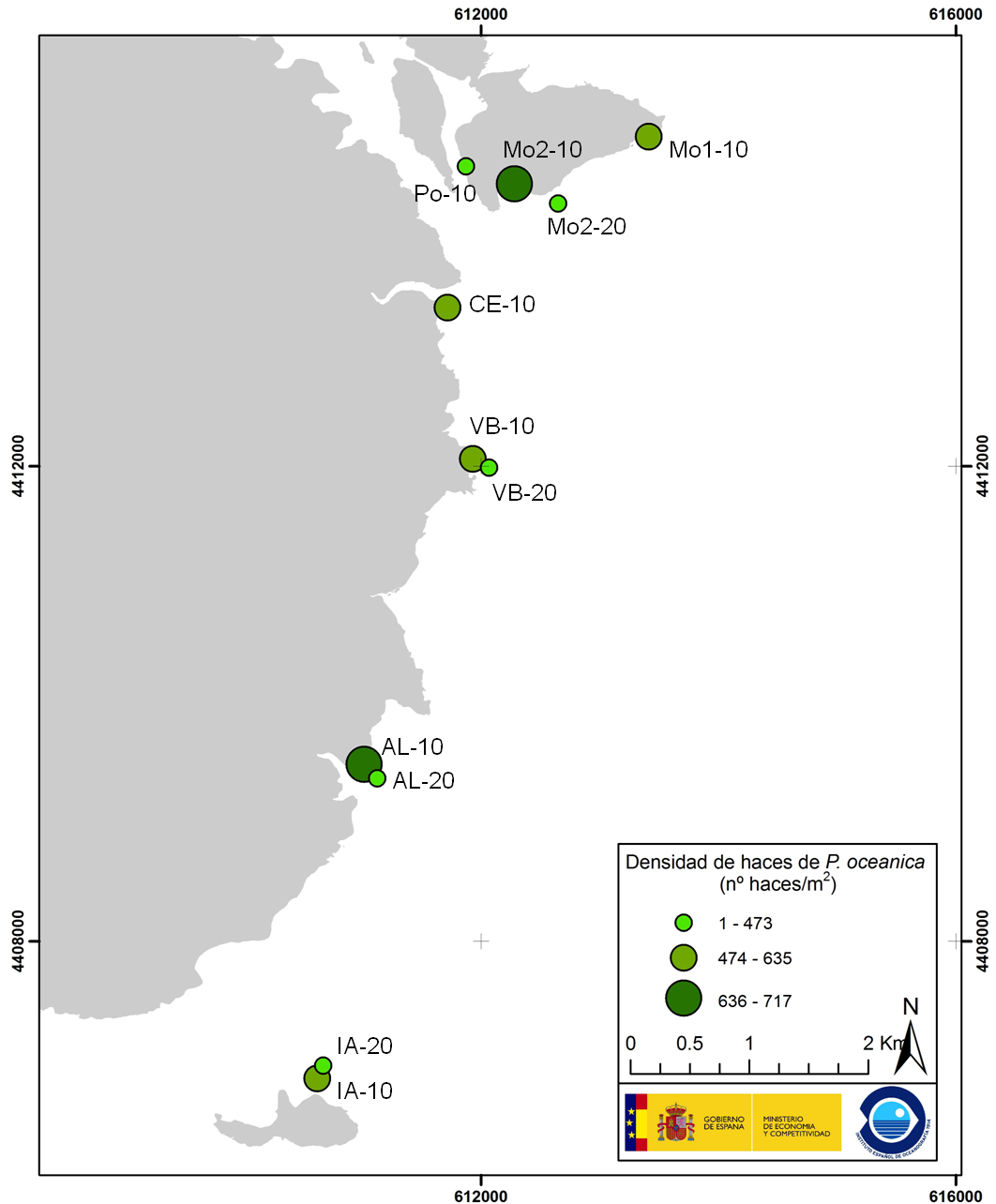


Figura 4.15. Densidad de haces de *P. oceanica* (haces/m<sup>2</sup>) en cada localidad y profundidad del área de estudio. La Mola 1; Mo1-10; La Mola 2: Mo2-10 y Mo2-20; Puerto de Maó: Po-10; Cala Sant Esteve: CE-10; Caló des Vi Blanc: VB-10; Alcaufar: AL-10 y AL-20; Isla del Aire: IA-10 y IA-20.

A continuación se presentan los resultados de la densidad de haces de *P. oceanica*, agrupados por cota de profundidad.

#### Praderas someras (10 m)

En las praderas de la cota somera, la densidad de haces varía entre  $301,3 \pm 50,93$  y  $717,3 \pm 11,62$  haces/m<sup>2</sup> (Figura 4.16). Este descriptor es similar en todas las estaciones, a



excepción de la estación de Puerto de Maó, cuya densidad es la menor de las registradas ( $301,3 \pm 50,93$  haces/m<sup>2</sup>).

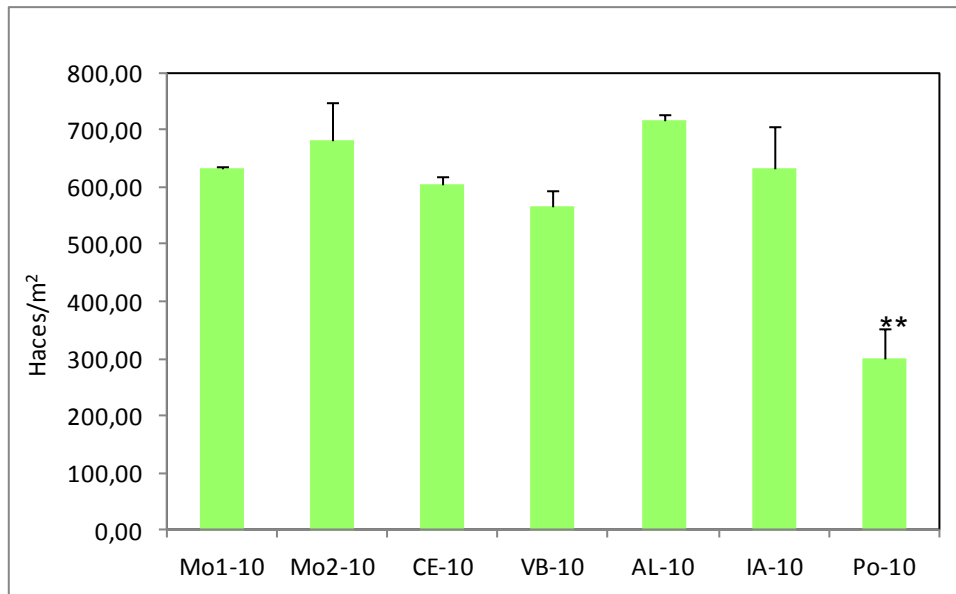


Figura 4.16. Densidad media de haces por m<sup>2</sup> ( $\pm$  error típico) de las praderas someras de *P. oceanica* en las estaciones: Mo1-10: La Mola 1; Mo2-10: La Mola 2; Po-10: Puerto de Maó; CE-10: Cala Sant Esteve; VB-10: Caló des Vi Blanc; AL-10: Alcaufar; IA-10: Isla del Aire. \*\* Diferencias significativas  $p < 0,001$ .

Los datos de densidad siguen una distribución normal (Kolmogorov–Smirnov,  $p > 0,05$ ) y las varianzas son homogéneas (Levene,  $p > 0,05$ ), por lo que se ha realizado un análisis estadístico ANOVA de un factor, para valorar las diferencias entre las 7 estaciones evaluadas. Los resultados del análisis indican que existen diferencias significativas entre estaciones (Tabla 4.3), y estas diferencias se deben a la menor densidad de la pradera de la estación de Puerto de Maó (Po-10), respecto a todas las demás (Tukey test  $p < 0,001$ ), no existiendo diferencias significativas entre el resto de estaciones muestreadas para este descriptor (resultados del test de Tukey en Anexo 4.1).

Tabla 4.3. Resultados del análisis estadístico ANOVA de un factor para la densidad de haces de *P. oceanica* en las 7 estaciones de pradera somera: Mo1-10: La Mola 1; Mo2-10: La Mola 2; Po-10: Puerto de Maó; CE-10: Cala Sant Esteve; VB-10: Caló des Vi Blanc; AL-10: Alcaufar; IA-10: Isla del Aire. F=varianza entre estaciones; gl=grados de libertad Sig=nivel de significación (significativo para valores  $p < 0,05$ ).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	338387,8	6	56398,0	9,79	,000
Intra-grupos	80608,0	14	5757,7		
Total	418995,8	20			



### Praderas profundas

En las 4 estaciones establecidas en praderas de la cota profunda, la densidad de haces varía entre  $344,0 \pm 50,00$  y  $473,3 \pm 50,93$  haces/m<sup>2</sup> (Figura 4.17). Al igual que ocurría en las praderas someras, los datos siguen una distribución normal (Kolmogorov–Smirnov,  $p > 0,05$ ), y las varianzas son homogéneas (Levene,  $p > 0,05$ ). Los resultados del ANOVA indican que no existen diferencias significativas en densidad de haces entre las distintas estaciones de pradera profunda muestreadas (Tabla 4.4).

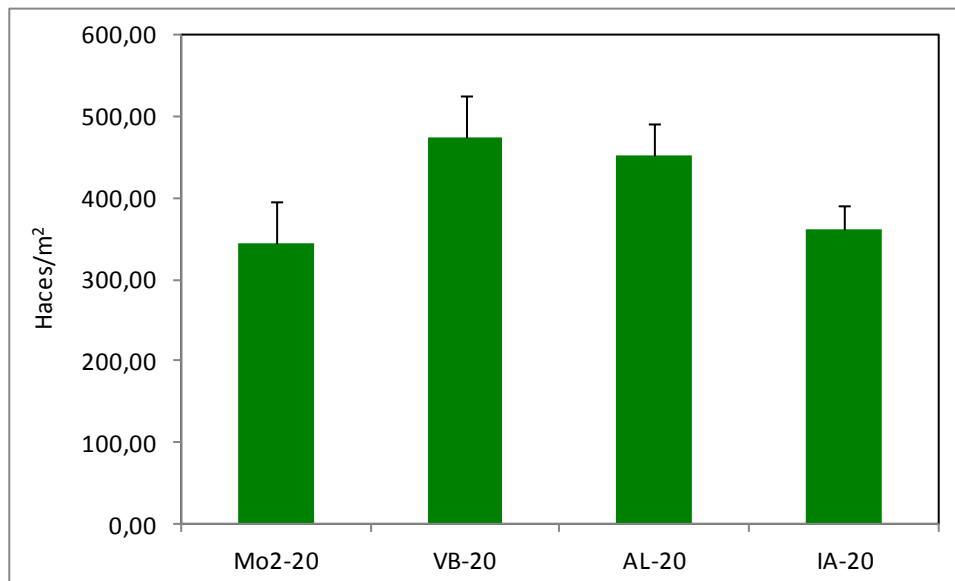


Figura 4.17. Densidad de haces por m<sup>2</sup> ( $\pm$  error típico) en las estaciones de pradera profunda de *P. oceanica*. Mo2-20: La Mola 2; VB-20: Caló des Vi Blanc; AL-20: Alcaufar; IA-20: Isla del Aire.

Tabla 4.4. Resultados del análisis estadístico ANOVA de un factor para la densidad de haces de *P. oceanica* en las 4 estaciones de praderas profundas: Mo2-20: La Mola 2; VB-20: Caló des Vi Blanc; AL-20: Alcaufar; IA-20: Isla del Aire. F=varianza entre estaciones; gl=grados de libertad Sig=nivel de significación (significativo para valores  $p < 0,05$ ).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	37433,3	3	12477,8	2,14	,173
Intra-grupos	46613,3	8	5826,7		
Total	84046,7	11			

### **Desenterramiento de los haces**

La medida del desenterramiento de los haces se ha realizado en 10 de las 11 estaciones donde se han instalado parcelas permanentes para el estudio de la dinámica poblacional de los haces de *P. oceanica*.



### Praderas someras

La medida del desenterramiento de los haces es positiva en todas las estaciones. La distancia entre la lígula y el sedimento varían entre  $3,6 \pm 0,54$  cm y  $7,7 \pm 0,56$  cm de rizoma por encima del sedimento (Figura 4.18). Los resultados muestran una segregación de estaciones en dos grupos. De las 6 estaciones estudiadas, 3 de ellas (Mo2-10, VB-10 y Po-10) presentan los valores más bajos, entre  $3,6 \pm 0,54$  cm y  $4,0 \pm 0,40$  cm, mientras que las otras tres estaciones (CE-10, AL-10 y IA-10) presentan un rango de valores mayor, comprendido entre  $6,1 \pm 0,64$  cm y  $7,7 \pm 0,56$  cm para el enterramiento de los haces de *P. oceanica*.

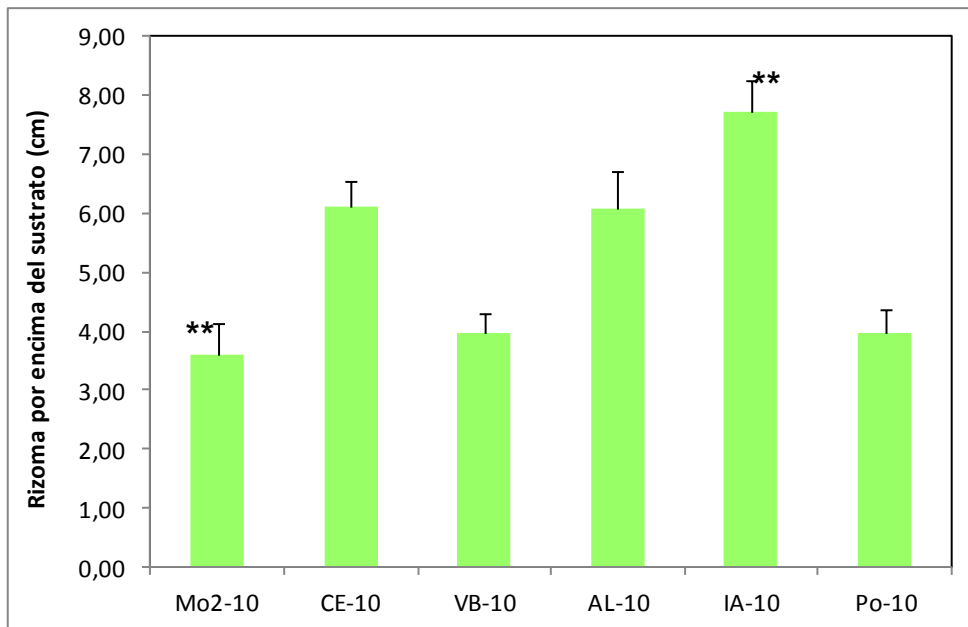


Figura 4.18. Desenterramiento de los rizomas (cm  $\pm$  error típico) de los haces de praderas someras de *P. oceanica* en las 6 estaciones muestreadas: Mo2-10: La Mola 2; Po-10: Puerto de Ma ; CE-10: Cala Sant Esteve; VB-10: Caló des Vi Blanc; AL-10: Alcaufar; IA-10: Isla del Aire.

\*\* Diferencias significativas  $p < 0,001$ .

Los datos siguen una distribución normal (Kolmogorov–Smirnov,  $p > 0,05$ ) y las varianzas son homogéneas (Levene,  $p > 0,05$ ), por lo que se ha realizado un análisis estadístico ANOVA de un factor, para valorar las diferencias entre las 6 estaciones evaluadas. Los resultados del ANOVA (Tabla 4.5) confirman que las estaciones difieren entre sí significativamente en los valores de desenterramiento de los haces. Las estaciones se agrupan en función del grado de desenterramiento en dos grupos. Por un lado, aquellas que tienen valores mayores de desenterramiento del rizoma: Cala Sant Esteve (CE-10), Alcaufar (AL-10) y la isla del Aire (IA-10), y por otro aquellas que tienen un menor grado



de desenterramiento del rizoma, La Mola 2 (Mo2-10), el Caló des Vi Blanc (VB-10) y el Puerto de Maó (Po-10). Así la isla del Aire (IA-10), que posee los valores más altos de desenterramiento ( $7,7 \pm 0,56$  cm), es significativamente diferente (Tukey test  $p < 0,001$ ) (resultados del test de Tukey en Anexo 4.2) de las estaciones del grupo que tiene los valores más bajos (Mo2-10, VB-10 y Po-10). Lo mismo ocurre con la estación de La Mola 2 (Mo2-10), que posee los valores más bajos ( $3,6 \pm 0,54$  cm) y es significativamente diferente (Tukey test  $p < 0,001$ ) de las estaciones del grupo que tiene los valores más altos (CE-10, AL-10 y IA-10) (resultados del test de Tukey en Anexo 4.2).

Tabla 4.5. Resultados del análisis estadístico ANOVA de un factor para los valores de desenterramiento de los rizomas de *P. oceanica* en las 6 estaciones de praderas someras: Mo2-10: La Mola 2; Po-10: Puerto de Maó; CE-10: Cala Sant Esteve; VB-10: Caló des Vi Blanc; Al-10: Alcaufar; IA-10: Isla del Aire. F=varianza entre estaciones; gl=grados de libertad Sig=nivel de significación (significativo para valores  $p < 0,05$ ).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	408,4	5	81,68	7,649	,000
Intra-grupos	2178,4	204	10,68		
Total	2586,7	209			

### Praderas profundas

En las 4 estaciones establecidas en praderas profundas, la medida del desenterramiento de los haces es positiva en todas las estaciones. La distancia entre la lígula y el sedimento varían entre  $4,2 \pm 0,27$  cm y  $9,5 \pm 0,27$  cm de rizoma por encima del sedimento (Figura 4.19).

En el caso de las praderas profundas los datos siguen una distribución normal (Kolmogorov-Smirnov,  $p > 0,05$ ) y las varianzas son homogéneas (Levene,  $p > 0,05$ ), por lo que se ha realizado un análisis estadístico ANOVA de un factor, para valorar las diferencias entre las 4 estaciones evaluadas. Los análisis estadísticos muestran diferencias significativas en el grado de desenterramiento de los rizomas entre las estaciones muestreadas (Tabla 4.6). Estas diferencias se deben al menor grado de desenterramiento de los haces en la estación de Alcaufar (AL-20) respecto a las estaciones, Mo2-20, VB-20 y IA-20 (Tukey test  $p < 0,001$ ), no existiendo diferencias significativas entre el resto de estaciones muestreadas para este descriptor (resultados del test de Tukey en Anexo 4.3).

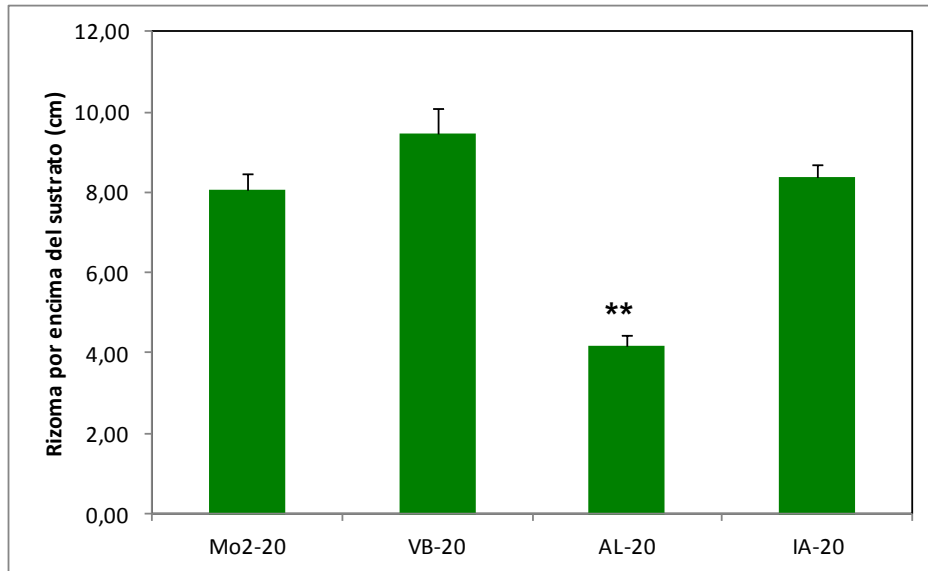


Figura 4.19. Desenterramiento de los rizomas (cm  $\pm$  error típico) en las estaciones de praderas profundas de *P. oceanica*. Mo2-20: La Mola 2; VB-20: Caló des Vi Blanc; AL-20: Alcaufar; IA-20: Isla del Aire. \*\* Diferencias significativas  $p < 0,001$ .

Tabla 4.6. Resultados del análisis estadístico ANOVA de un factor para los valores de desenterramiento de los rizomas de *P. oceanica* en las 4 estaciones de praderas profundas: Mo2-20: La Mola 2; VB-20: Caló des Vi Blanc; AL-20: Alcaufar; IA-20: Isla del Aire. F=varianza entre estaciones; gl=grados de libertad Sig=nivel de significación (significativo para valores  $p < 0,05$ ).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	462,4	3	154,13	30,295	,000
Intra-grupos	564,7	111	5,09		
Total	1027,087	114			

### Caracterización de las poblaciones de *Pinna nobilis*

Durante el período de muestreo previo al dragado del Puerto de Maó se caracterizó la población de *P. nobilis* en el área de estudio mediante censos de sus poblaciones y estableciendo parcelas permanentes para el seguimiento de la supervivencia de ejemplares.

### Mapas de distribución de *P. nobilis* en el área de estudio

En base a los resultados obtenidos a partir de los censos realizados en el área de estudio, se han elaborado mapas de distribución y densidad de individuos de *P. nobilis* (Figuras 4.20 a 4.24).



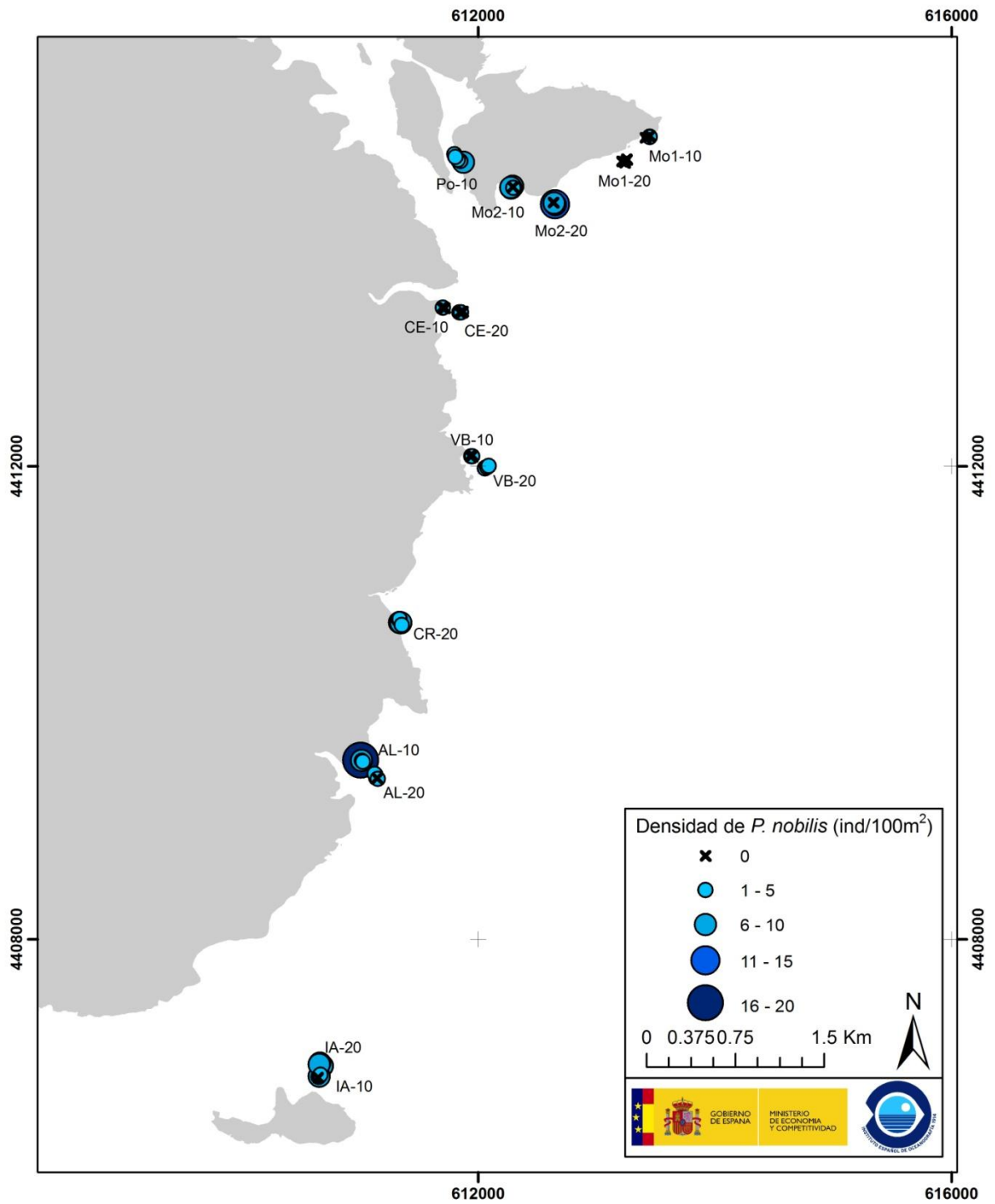


Figura 4.20. Densidad de individuos de *P. nobilis* (ind/100 m<sup>2</sup>) para cada localidad y profundidad del área de estudio. La Mola 1; Mo1-10 y Mo1-20; La Mola 2: Mo2-10 y Mo2-20; Puerto de Maó: Po-10; Cala Sant Esteve: CE-10 y CE-20; Caló des Vi Blanc: VB-10 y VB-20; Cala Rafalet: CR-20; Alcaufar: AL-10 y AL-20; Isla del Aire: IA-10 y IA-20.

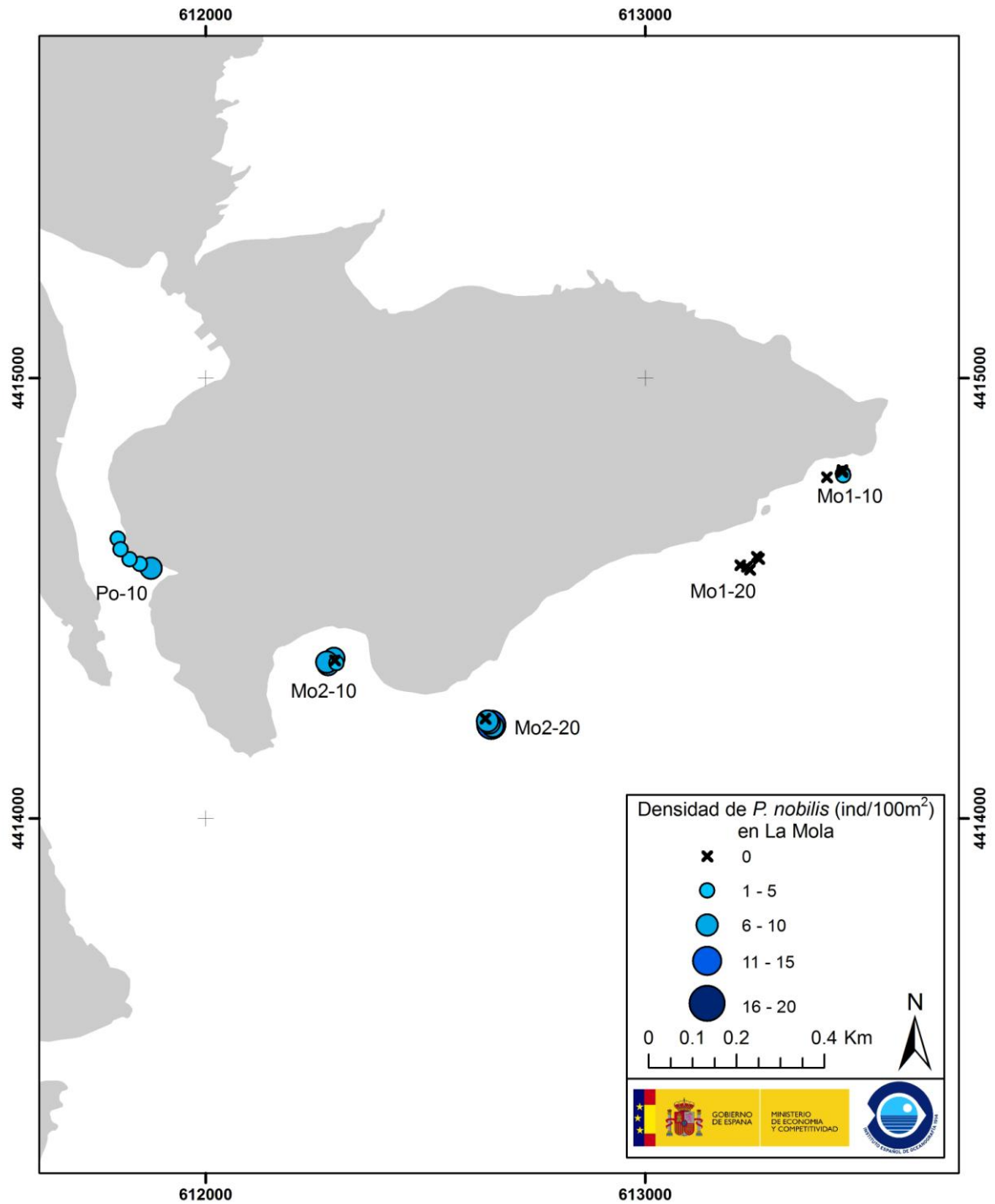


Figura 4.21. Densidad de individuos de *P. nobilis* (ind/100 m<sup>2</sup>) para cada localidad y profundidad del área de La Mola. La Mola 1; Mo1-10 y Mo1-20; La Mola 2: Mo2-10 y Mo2-20; Puerto de Maó: Po-10.

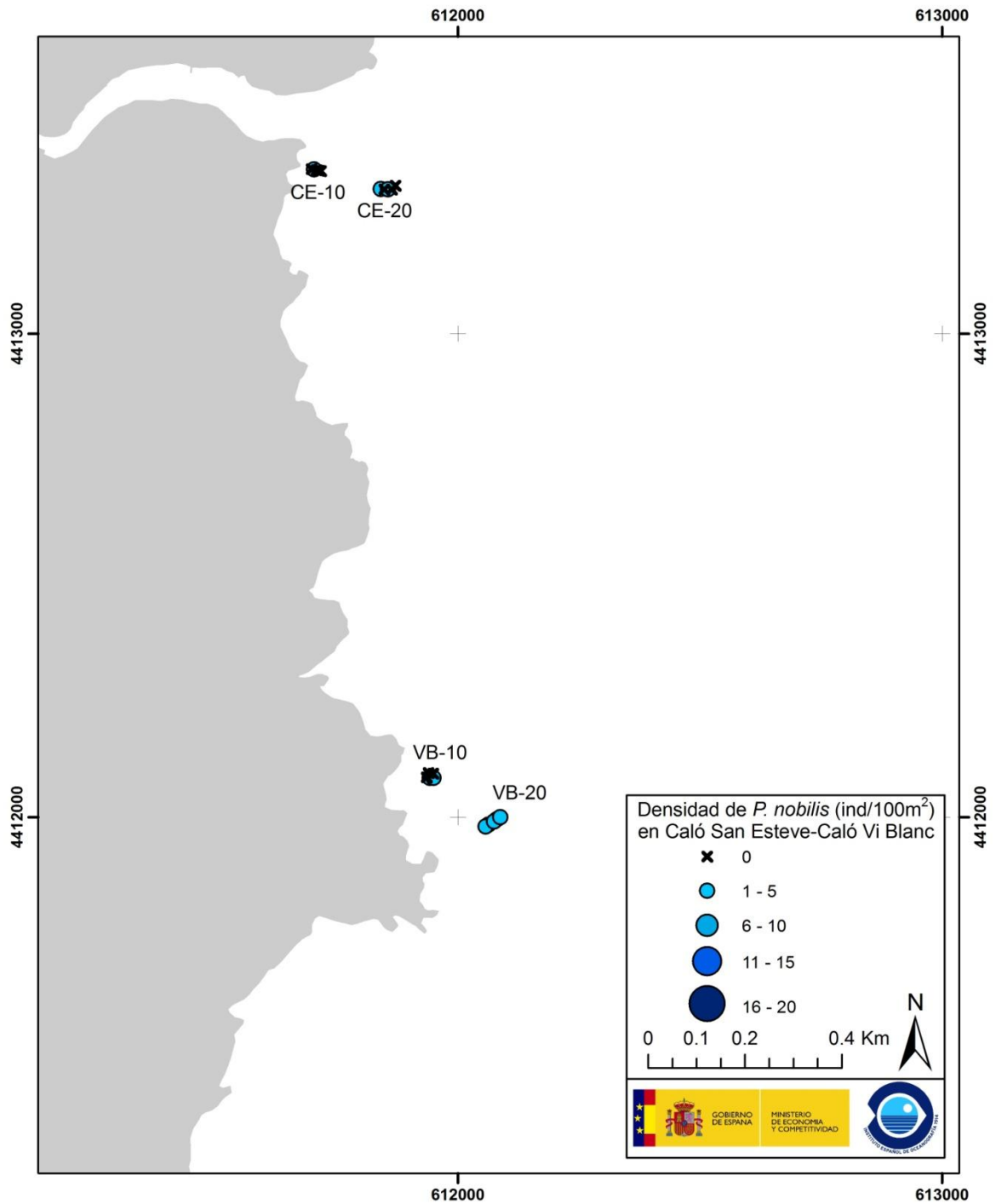


Figura 4.22. Densidad de individuos de *P. nobilis* (ind/100 m<sup>2</sup>) para cada localidad y profundidad del área de Cala Sant Esteve-Caló des Vi Blanc. Cala Sant Esteve: CE-10 y CE-20; Caló des Vi Blanc: VB-10 y VB-20.

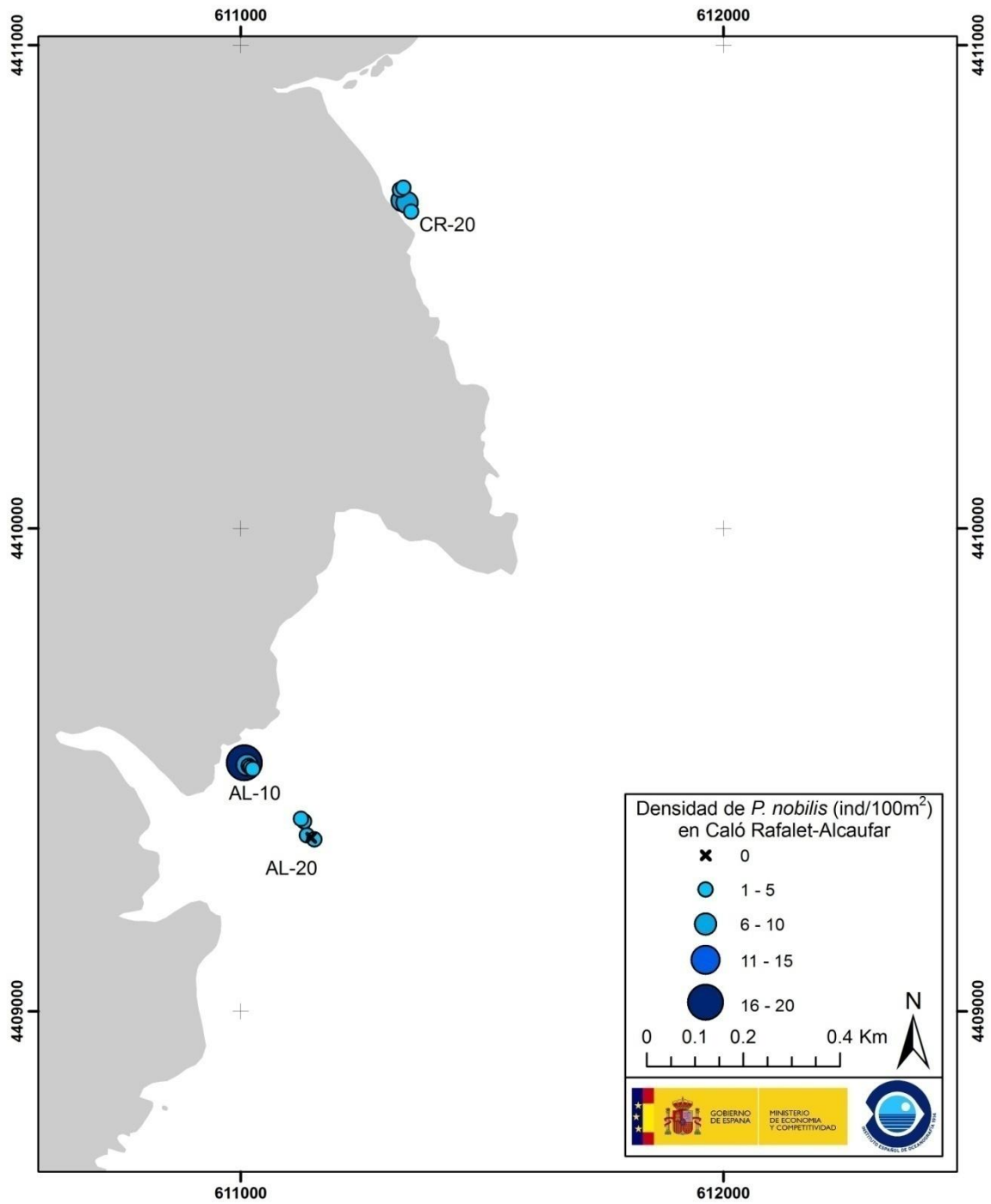


Figura 4.23. Densidad de individuos de *P. nobilis* (ind/100 m<sup>2</sup>) para cada localidad y profundidad del área de Cala Rafalet-Alcaufar. Cala Rafalet: CR-20; Alcaufar: AL-10 y AL-20.

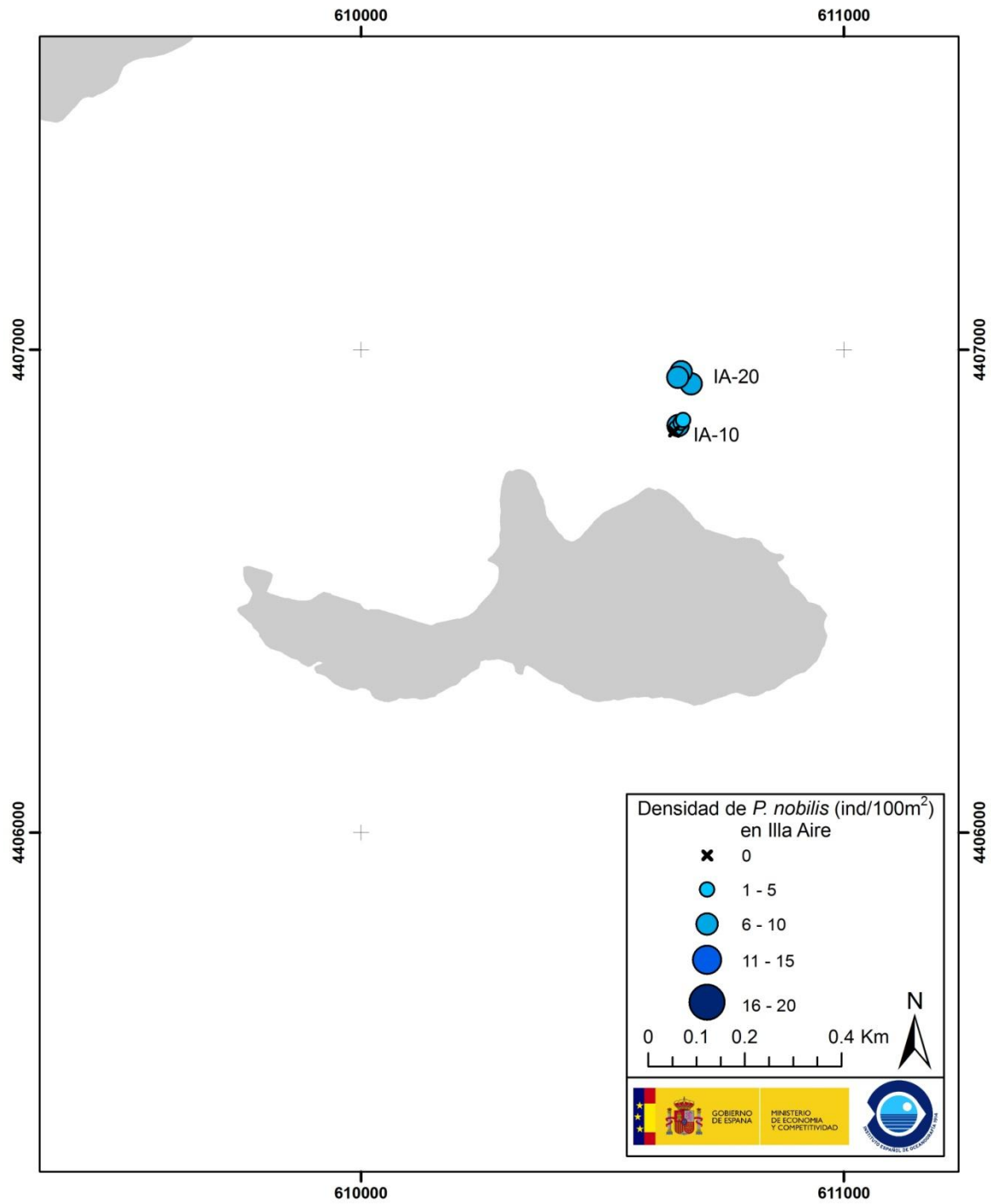


Figura 4.24. Densidad de individuos de *P. nobilis* (ind/100 m<sup>2</sup>) para cada localidad y profundidad del área de la isla del Aire. Isla del Aire: IA-10 y IA-20.



### Censos de las poblaciones de *P. nobilis*

Durante el período de muestreo previo al dragado del Puerto de Maó se caracterizó la población de *P. nobilis* en el área de estudio. Los resultados se vertebran en función de dos cotas de profundidad de las estaciones de muestreo (cota 10 m y cota 20 m). Se han censado los ejemplares vivos y muertos de *P. nobilis*, considerándose ejemplares muertos aquellos hallados con las dos valvas en buen estado. No se han incluido en el estudio los ejemplares hallados con una sola valva ni fragmentos de ellas.

En toda el área de estudio se censaron un total de 159 individuos, de los cuales el 84,9% eran individuos vivos.

#### Estaciones establecidas en cotas someras

En la cota somera, se censaron un total de 76 individuos, de los que el 90,8% estaban vivos (Figura 4.25). El número de individuos censados varía entre 2 individuos en la estación de La Mola 1 (Mo1-10) y 21 individuos en la estación de Alcaufar (AL-10). La proporción de individuos muertos varía también entre estaciones, desde estaciones en las que no se encontró ningún ejemplar muerto (Mo1-10, CE-10 y Po-10), hasta un máximo de 2 individuos en tres de ellas (Mo2-10, VB-10 y IA-10).

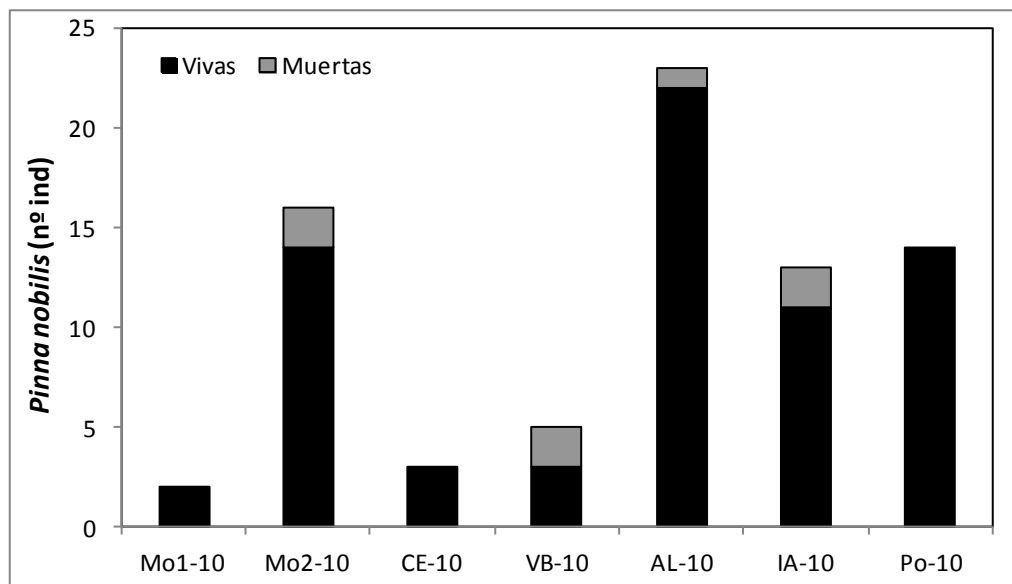


Figura 4.25. Número total de ejemplares de *P. nobilis* vivos y muertos, censados en las estaciones de las cotas someras: Mo1-10: La Mola 1; Mo2-10: La Mola 2; CE-10: Cala Sant Esteve; VB-10: Caló des Vi Blanc; AL-10: Alcaufar; IA-10: Isla del Aire Po-10: Puerto de Maó. (n=5 transectos por estación).



A partir de los censos realizados se ha calculado la densidad de individuos por 100 m<sup>2</sup> para cada estación. Los valores máximos de densidad se dan en la estación de Alcaufar (AL-10), con un valor promedio de  $7,3 \pm 2,56$  ind/100 m<sup>2</sup>, y dónde también encontramos el valor máximo por transecto, de 16,7 ind/100 m<sup>2</sup>, de toda el área de estudio (Figura 4.26). Los valores mínimos se dan en la estación de La Mola 1 (Mo1-10), con una valor promedio de  $0,7 \pm 0,1$  ind/100 m<sup>2</sup>. En general, los valores de densidad de *P. nobilis* son mayores en las estaciones situadas al sur del área de estudio (Figura 4.20), mientras que en el norte, sólo se encuentran densidades altas de *P. nobilis* en las zonas más resguardadas, como la estación de Puerto de Maó (Po-10) y la de La Mola 2 (Mo-10).

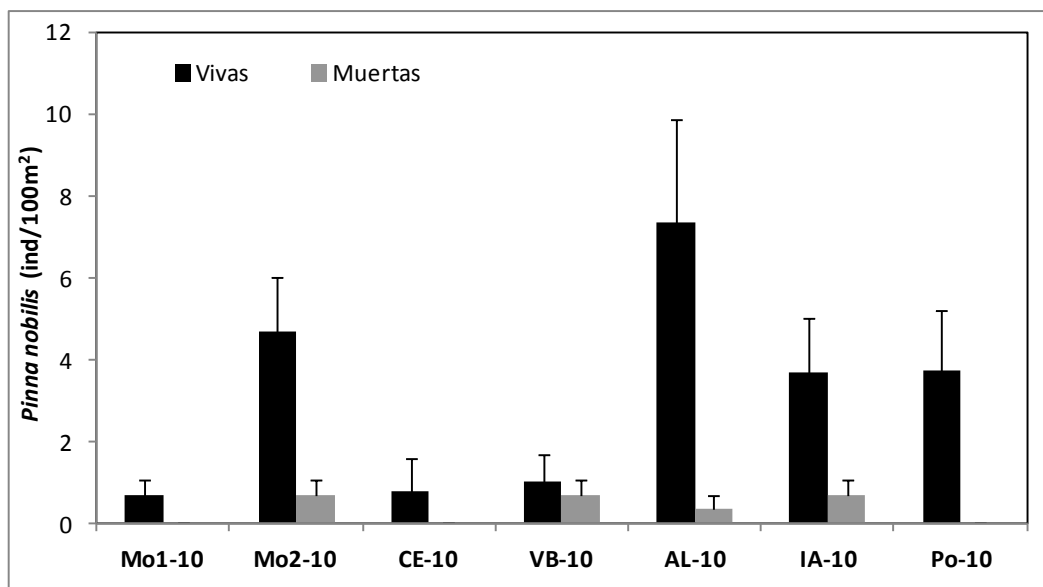


Figura 4.26. Densidad de ejemplares de *P. nobilis* (ind/100 m<sup>2</sup> ± error típico) vivos y muertos, censados en cada una de las estaciones de las cotas someras: Mo1-10: La Mola 1; Mo2-10: La Mola 2;; CE-10: Cala Sant Esteve; VB-10: Caló des Vi Blanc; AL-10: Alcaufar; IA-10: Isla del Aire Po-10: Puerto de Maó. (n=5 transectos por estación).

Los valores de densidad de los ejemplares muertos son bajos en general, y en dos (Mo1-10, Po-10) de las 7 estaciones no se encontraron ejemplares muertos. Los valores máximos promedio de densidad de individuos muertos se han dado en las estaciones de La Mola 2 (Mo2-10), Caló des Vi Blanc (VB-10) y la isla del aire (IA-10) y han sido de  $0,7 \pm 0,41$  ind/100 m<sup>2</sup>, con un valor máximo por transecto de 1,7 ind/100 m<sup>2</sup> (Figura 4.26).

En cuanto a la presencia de macroalgas invasoras sobre *P. nobilis*, en todas las estaciones muestreadas sólo se ha encontrado la especie *A. preissii*. La cobertura de *A. preissii* varía latitudinalmente, encontrándose las mayores coberturas en las estaciones



del sur. El porcentaje medio de cobertura ha estado comprendido entre 0% en la estación La Mola 1, y  $36,4\% \pm 10,73$  en la isla de Aire (Figura 4.27).

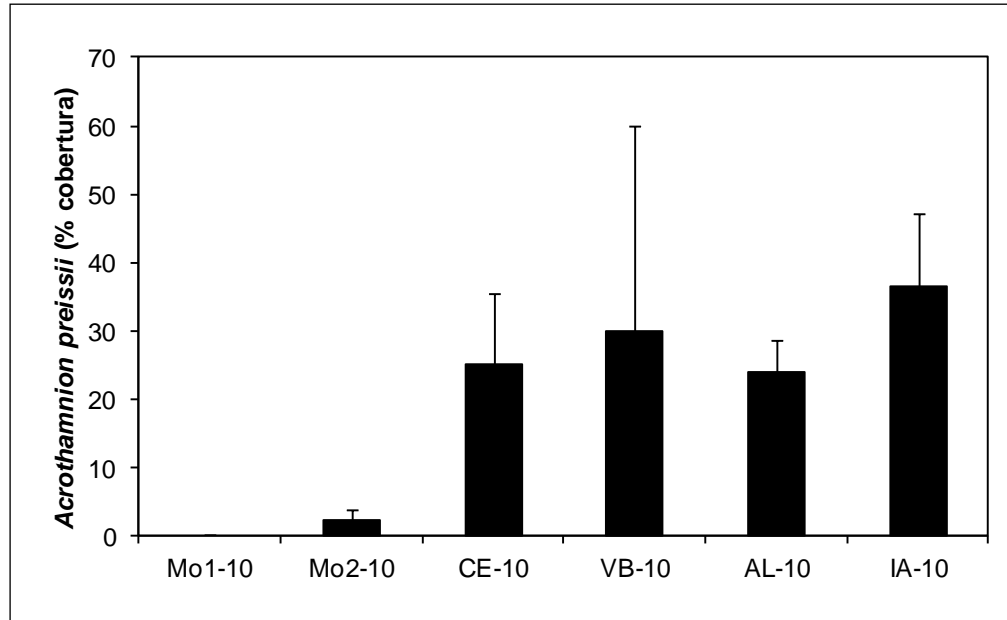


Figura 4.27. Porcentaje de cobertura ( $\pm$  error típico), de *A. preissii* sobre los ejemplares de *P. nobilis* censados en las estaciones de las cotas someras: Mo1-10: La Mola 1; Mo2-10: La Mola 2; CE-10: Cala Sant Esteve; VB-10: Caló des Vi Blanc; AL-10: Alcaufar; IA-10: Isla del Aire Po-10: Puerto de Maó. (n=5 transectos por estación).

En la Figura 4.28 se presentan los histogramas de tallas de las valvas de *P. nobilis*, para las estaciones de la cota somera. La distribución de tallas es diferente según la estación. La estación de La Mola 2 (Mo2-10), aunque no es la que posee la mayor densidad de *P. nobilis*, es la que tiene representadas el mayor número de clases de tallas (4), con un elevado porcentaje (50%) de ejemplares de talla grande (15-20 cm) y muy grande (20-25 cm), es por tanto la que presenta la población más madura con una elevada cantidad de individuos reproductores. En este sentido destaca también la estación de Puerto de Maó (Po-10), donde la mayoría de los ejemplares censados (92,3%) son de talla grande y muy grande, no habiéndose encontrado ejemplares juveniles o reclutas. Los ejemplares de talla muy grande (20-25 cm) solo se han observado en las estaciones del Puerto de Maó (Po-10) y en La Mola 2 (Mo2-10), con una proporción de 14,3% y 7,7%, respectivamente. Mientras que en las poblaciones de La Mola 1 (Mo1-10) y el Caló des Vi Blanc (VB-10), no encontramos ejemplares de las tallas grandes, y sus poblaciones están representadas por individuos de talla media (10-15 cm) y juveniles (5-10 cm).



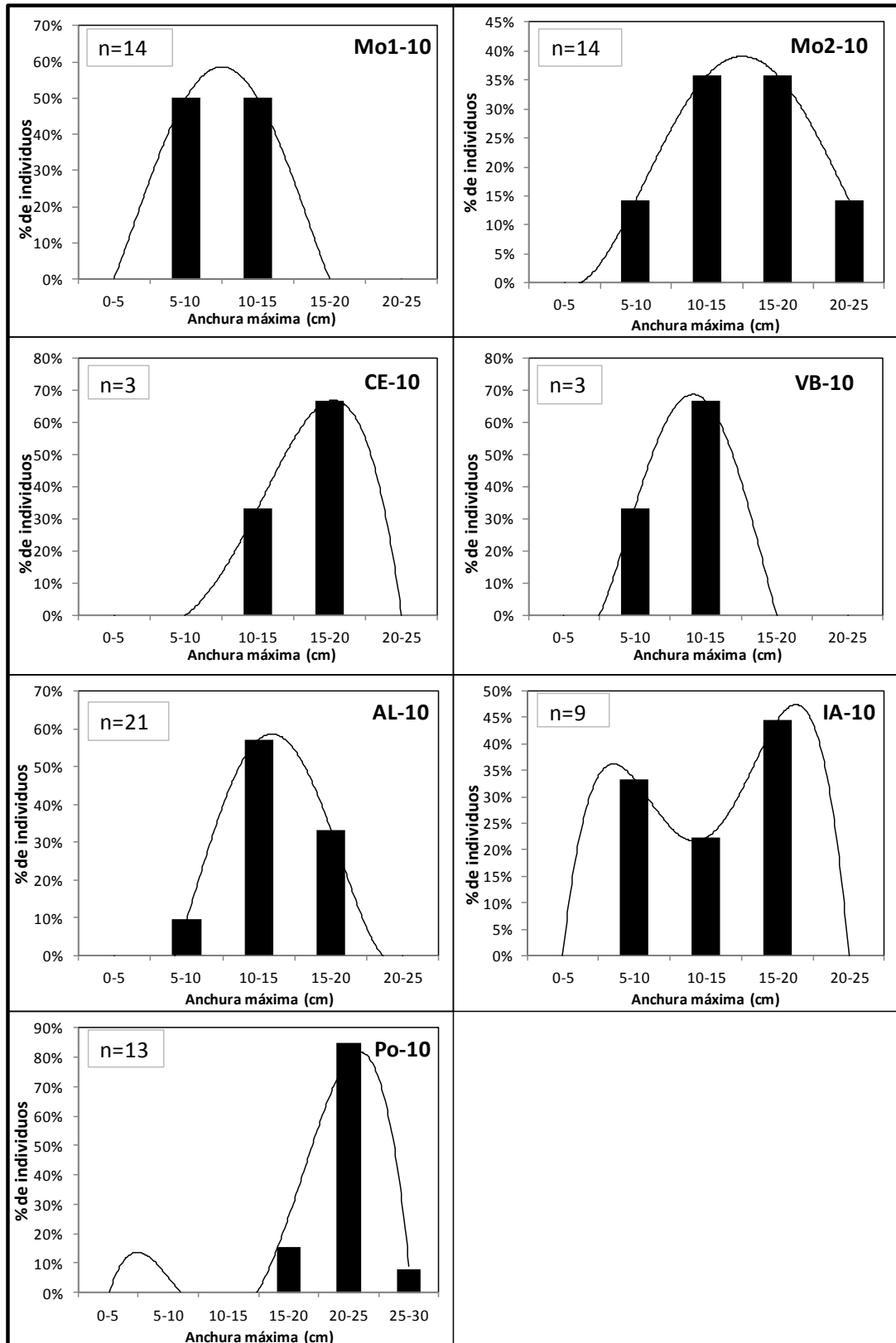


Figura 4.28. Histogramas de tallas (en porcentaje) de los individuos de *P. nobilis*, censados en cada una de las estaciones de las cotas someras: Mo1-10: La Mola 1; Mo2-10: La Mola 2; CE-10: Cala Sant Esteve; VB-10: Caló des Vi Blanc; AL-10: Alcaufar; IA-10: Isla del Aire; Po-10: Puerto de Maó. n=número de individuos censados. Los ejemplares se han agrupado en clases de tallas según anchura máxima de la valva (cm).



### Estaciones establecidas en cotas profundas

En la cota profunda, se censaron un total de 97 individuos, de los que el 82,5% eran individuos vivos (Figura 4.29). El número de individuos vivos censados varía entre 0, en la estación de La Mola 1 (Mo1-20) y 24 en la estación de La Mola 2 (Mo2-20). La proporción de individuos muertos varía también entre estaciones, desde estaciones en las que no se encontró ningún ejemplar muerto (Mo1-10, CE-10 y Po-10), hasta un máximo de 2 individuos en tres de ellas (Mo2-10, VB-10 y IA-10).

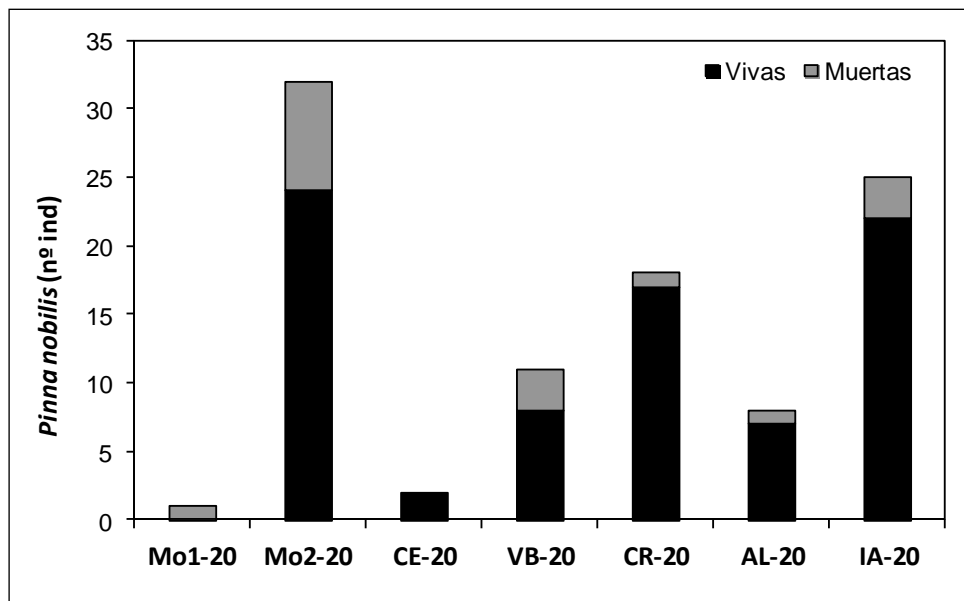


Figura 4.29. Número total de ejemplares de *P. nobilis* vivos y muertos, censado en las estaciones profundas: Mo1-20: La Mola 1; Mo2-20: La Mola 2; CE-20: Cala Sant Esteve; VB-20: Caló des Vi Blanc; CR-20: Cala Rafalet; AL-20: Alcaufar; IA-20: Isla del Aire. (5 transectos por estación).

A partir de los censos realizados se ha calculado la densidad de individuos por 100 m<sup>2</sup> para cada estación (Figura 4.20). Los valores máximos de densidad se dan en las estaciones de la isla del Aire (IA-20) y La Mola 2 (Mo2-20), con un valor promedio de 7,3 ind/100 m<sup>2</sup> (Figura 4.30). Aunque es en la estación de La Mola 2 (Mo2-20), dónde se ha censado el valor máximo de individuos por transecto, 15 ind/100 m<sup>2</sup>, de toda el área de estudio (Figura 4.30). Los valores mínimos se dan en la estación de La Mola 1 (Mo1-20), donde no se encontró ningún ejemplar vivo.

Las densidades de ejemplares muertos son bajas en general, aunque mayores que en las estaciones de cotas someras. Sólo hubo una estación (CE-20), en la que no se encontraron ejemplares muertos. Los valores máximos promedio de densidad de



individuos muertos se han dado en La Mola 2, (Mo2-20), y ha sido de  $2,7 \pm 0,85$  ind/100 m<sup>2</sup>, con un valor máximo por transecto de 5 ind/100 m<sup>2</sup> (Figura 4.30).

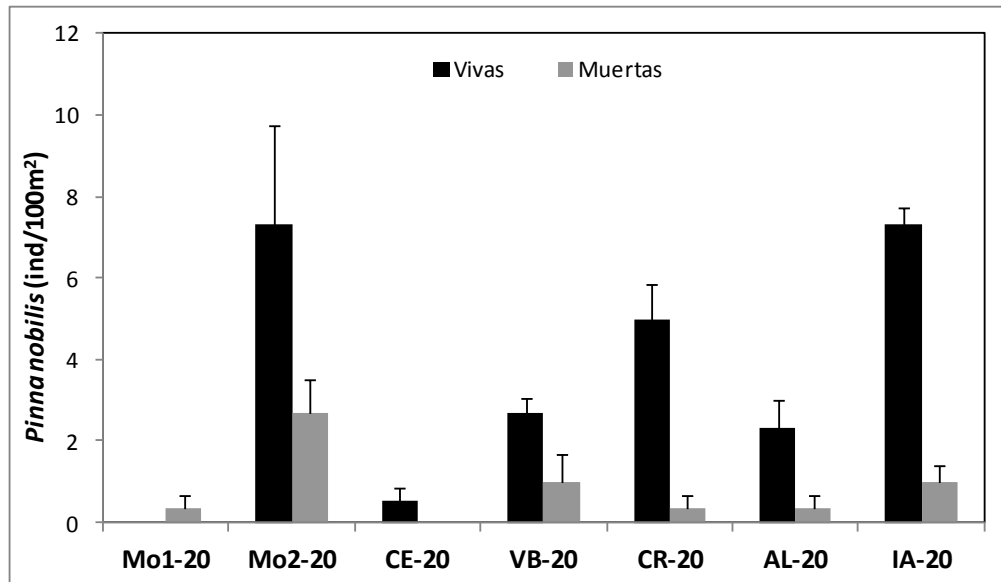


Figura 4.30. Densidad media en 100 m<sup>2</sup> ( $\pm$  error típico) de ejemplares vivos y muertos de *P. nobilis*, censados en las estaciones profundas. Mo1-20: La Mola 1; Mo2-20: La Mola 2; CE-20: Cala Sant Esteve; VB-20: Caló des Vi Blanc; CR-20: Cala Rifalet; AL-20: Alcaufar; IA-20: Isla del Aire. (5 transectos por estación).

Como ya ocurría en las estaciones de la cota somera, en relación a la presencia de macroalgas invasoras sobre *P. nobilis*, en todas las estaciones muestreadas sólo se ha encontrado la especie, *A. preissii*. El porcentaje de cobertura media de *A. preissii* varían entre 0% en las estaciones de La Mola 1 y La Mola 2, hasta el  $21,4 \pm 10,65\%$  en el Caló des Vi Blanc (VB-20) (Figura 4.31).

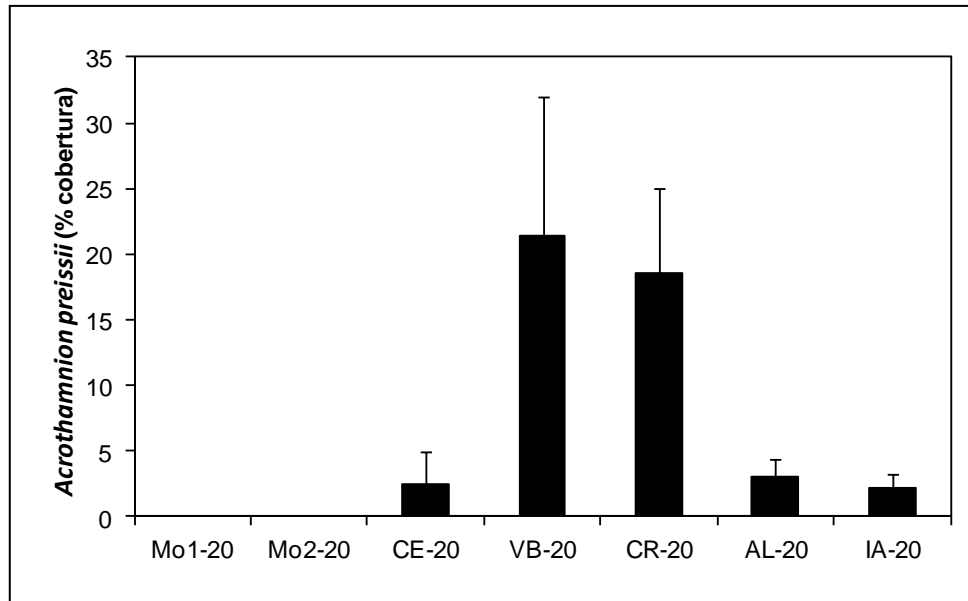


Figura 4.31. Porcentaje de cobertura ( $\pm$  error típico), de *A. preissii* sobre los ejemplares de *P. nobilis* censados en cada una de las estaciones de las cotas profundas: Mo1-20: La Mola 1; Mo2-20: La Mola 2; CE-20: Cala Sant Esteve; VB-20: Caló des Vi Blanc; CR-20: Cala Rrafalet; AL-20: Alcaufar; IA-20: Isla del Aire. (n=5 transectos por estación).

En la Figura 4.32 se presentan los histogramas de tallas de *P. nobilis* para las estaciones de la cota profunda. La distribución de tallas en este caso se caracteriza por una mayor presencia de individuos de mayor talla en todas las estaciones, siendo la estación del Caló des Vi Blanc (VB-20), la que tiene mayor proporción de ejemplares de talla grande (15-20 cm) y muy grande (20-25 cm), con un porcentaje del 75% y 25% de los individuos censados respectivamente. Las estaciones de La Mola 2 (Mo2-20) y la isla del Aire (IA-20), son las estaciones en las que se ha censado un mayor número de ejemplares de *P. nobilis*, 19 y 20 respectivamente, y donde se hallan representadas el mayor número de clases de tallas (4), con un elevado porcentaje de ejemplares de talla grande (15-20 cm) y muy grande (20-25 cm), 89,5% y 70%, respectivamente.

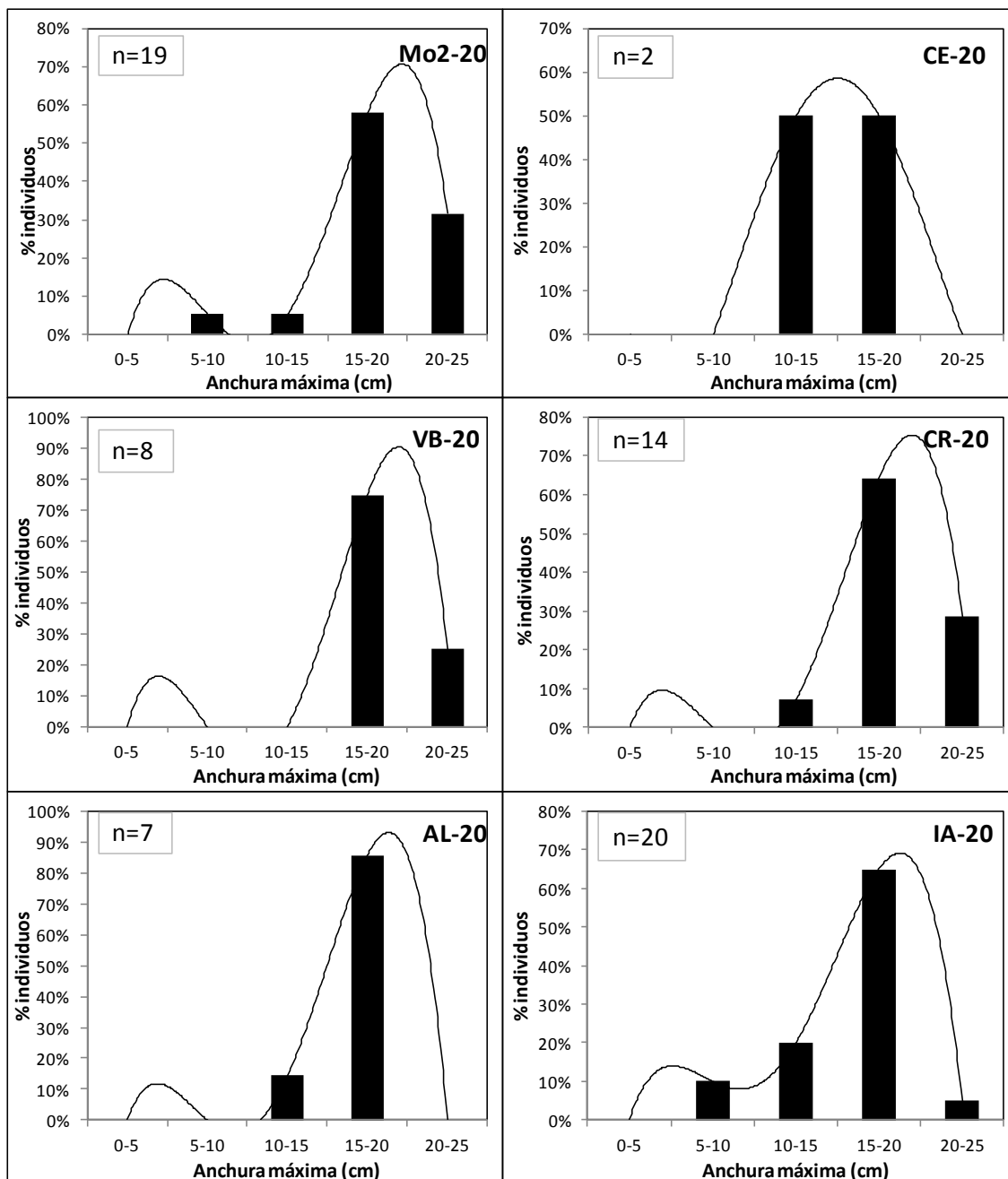


Figura 4.32. Histogramas de tallas en porcentaje de individuos de *P. nobilis* (ind/100 m<sup>2</sup> ± error típico), censados en cada una de las estaciones de las cotas profundas: Mo1-20: La Mola 1; Mo2-20: La Mola 2; CE-20: Cala Sant Esteve; VB-20: Caló des Vi Blanc; CR-20: Cala Rifalet; AL-20: Alcaufar; IA-20: Isla del Aire. n=nº de individuos censados. Los individuos se han agrupados en clases de tallas según anchura máxima de la valva (cm)

### Dinámica poblacional de *P. nobilis*

La distribución espacial de los individuos suele ser contagiosa (Richardson *et al.*, 2004; Katsanevakis, 2005), y encontramos varios ejemplos en alguna de las estaciones del



área de estudio, en las que la densidad de los transectos puede variar desde 0 a 15 ind/100 m<sup>2</sup>, como ocurre en la estación de La Mola 2 (Mo2-20) en la cota profunda. Este tipo de distribución se tuvo en cuenta para de la ubicación de las parcelas circulares destinadas al seguimiento de la dinámica poblacional.

Para el estudio de la dinámica poblacional de *P. nobilis* se han instalado las parcelas permanentes así como estaba previsto inicialmente. Se han seleccionado las estaciones en función de la densidad de individuos hallada en las estaciones por medio del descriptor anterior (Censos de las poblaciones de *P. nobilis*).

Se han establecido un total de 9 parcelas circulares de 113 m<sup>2</sup> de área: 5 parcelas en la cota somera (10 m), y 4 parcelas en la cota profunda (20 m). Cabe destacar que en la cota somera, se ha instalado una parcela circular más, de las previstas inicialmente, en la nueva localidad elegida del Puerto de Maó. Los individuos de *P. nobilis* encontrados en las parcelas han sido marcados, medidos y cartografiados.

#### Praderas someras

En las Figuras 4.33 a 4.37 se representan los ejemplares, censados, su distribución espacial y los histogramas de tallas para cada una de las parcelas instaladas en la cota somera.

En la Figura 4.33A, se presentan los individuos marcados en la parcela de la estación de La Mola 2 (Mo2-10), que ha sido la parcela dónde se ha marcado un mayor número de ejemplares (n=23). El 52,2% de los ejemplares censados son de talla grande (15-20 cm), y el resto (47,8%) son de talla mediana (10-15 cm) o juveniles (5-10 cm) (Figura 4.33B).

En la Figura 4.34A, se presentan los individuos marcados en la parcela de la estación de Puerto de Maó (Po-10). En esta parcela es dónde se han cuantificado los ejemplares de mayor talla de toda el área de estudio, con una anchura máxima de valva de 23 cm, aunque el número de ejemplares censados es de los más bajos (n=4). Todos los individuos censados son de talla muy grande (20-25 cm), y no se han encontrado ejemplares del resto de clases de talla (Figura 4.34B).

En la Figura 4.35A, se presentan los individuos marcados en la parcela de la estación del Caló des Vi Blanc (VB-10). Esta estación se caracteriza por ser la parcela en dónde se ha marcado un menor número de ejemplares (n=3). En cuanto a las clases de tallas (Figura 4.35B), la mayoría de los ejemplares censados (66,7%) son de talla mediana (10-15 cm), y el resto (33,3%) son juveniles (5-10 cm).

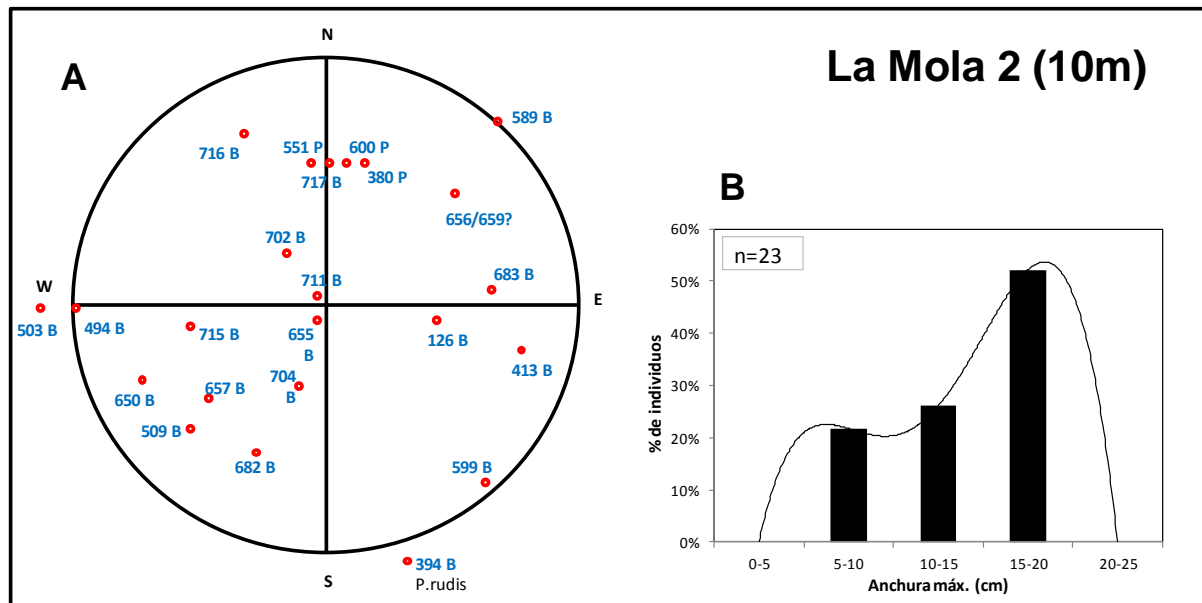


Figura 4.33. A) Parcela circular (área=113 m<sup>2</sup>), de individuos marcados de *P. nobilis* en la estación de La Mola 2, en la cota de 10 m (Mo-10). Se presenta un esquema de la situación de los individuos en la parcela circular. B=individuo marcado con brida; P=individuo marcado con piqueta. B) Histograma de tallas de la población de *P. nobilis* en la parcela circular de la estación de La Mola 2 situada a 10 m de profundidad (Mo-10). n=23 individuos.

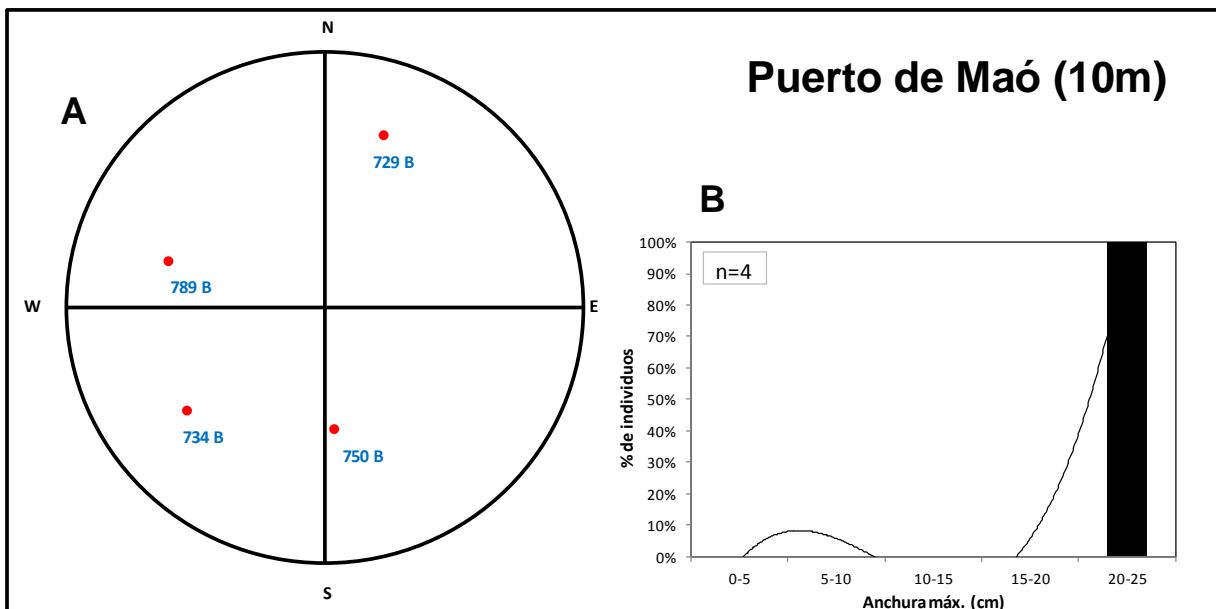


Figura 4.34. A) Parcela circular (área=113 m<sup>2</sup>), de individuos marcados de *P. nobilis* en la estación de Puerto de Maó, en la cota de 10 m (Po-10). Se presenta un esquema de la situación de los individuos en la parcela circular. B=individuo marcado con brida. B) Histograma de tallas de la población de *P. nobilis* en la parcela circular de la estación de la Puerto de Maó, situada a 10 m de profundidad (Po-10). n=4 individuos.



En la Figura 4.36A, se presentan los individuos marcados en la parcela de la estación de Alcaufar (AL-10), en la que se ha encontrado 10 individuos. En cuanto a las clases de tallas (Figura. 4.36B), la gran mayoría de los ejemplares censados (90%) son de talla mediana (10-15 cm), y el resto (10%) son juveniles (5-10 cm).

En la Figura. 4.37A, se presentan los individuos marcados en la parcela de la estación de la isla del Aire (IA-10). Se han observado una decena de individuos, de los que el 50% son de talla mediana (10-15 cm), el 40% juveniles (5-10 cm) y el 10% reclutas (Figura 4.37B).

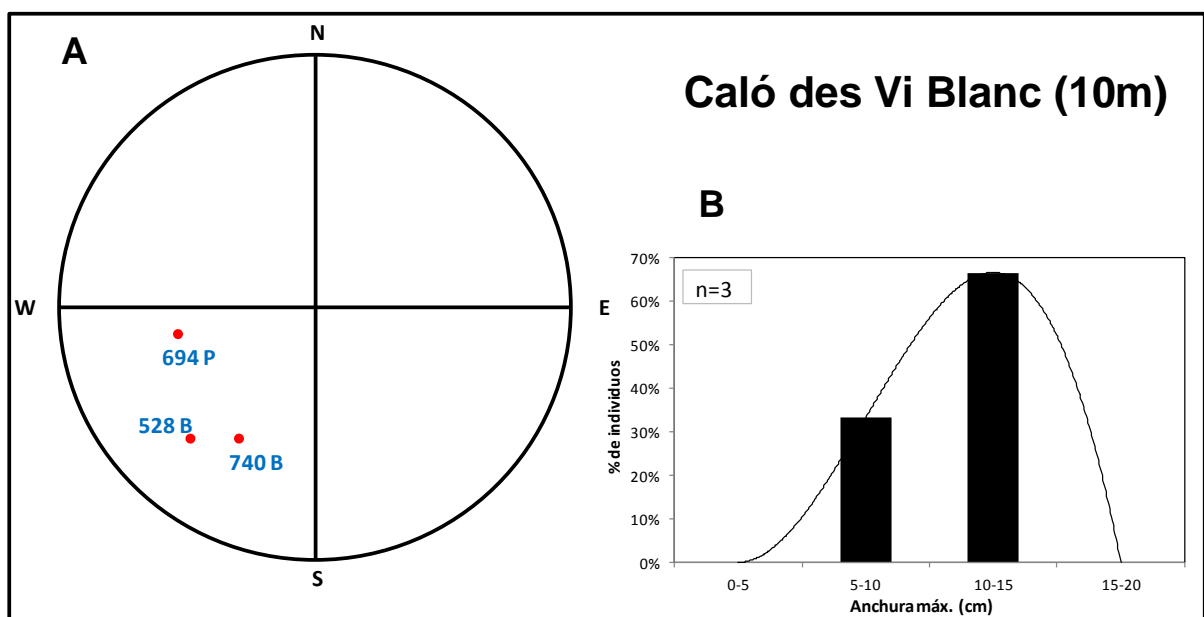


Figura 4.35. A) Parcela circular (área=113 m<sup>2</sup>), de individuos marcados de *P. nobilis* en la estación del Caló des Vi Blanc, en la cota de 10 m (VB-10). Se presenta un esquema de la situación de los individuos en la parcela circular. B=individuo marcado con brida; P=individuo marcado con piqueta. B) Histograma de tallas de la población de *P. nobilis* en la parcela circular de la estación del Caló des Vi Blanc, situada a 10 m de profundidad (VB-10). n=3 individuos.



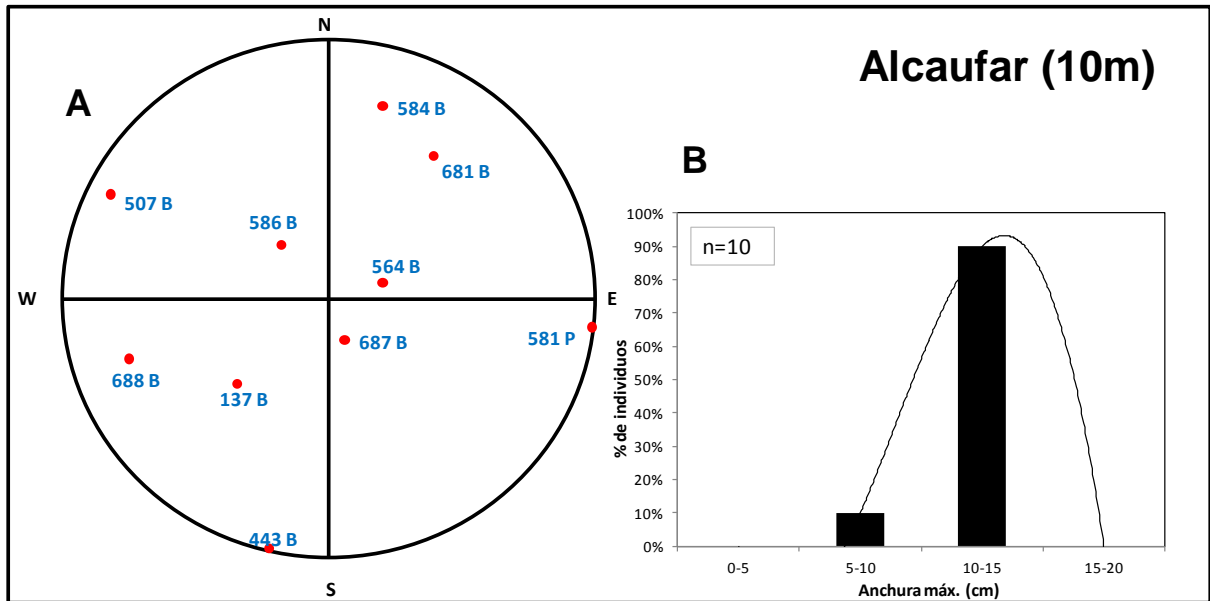


Figura 4.36. A) Parcela circular (área=113m<sup>2</sup>), de individuos marcados de *P. nobilis* en la estación de Alcaufar, en la cota de 10 m (AL-10). Se presenta un esquema de la situación de los individuos en la parcela circular. B=individuo marcado con brida; P=individuo marcado con piqueta. B) Histograma de tallas de la población de *P. nobilis* en la parcela circular de la estación de Alcaufar, situada a 10 m de profundidad (AL-10). n=10 individuos.

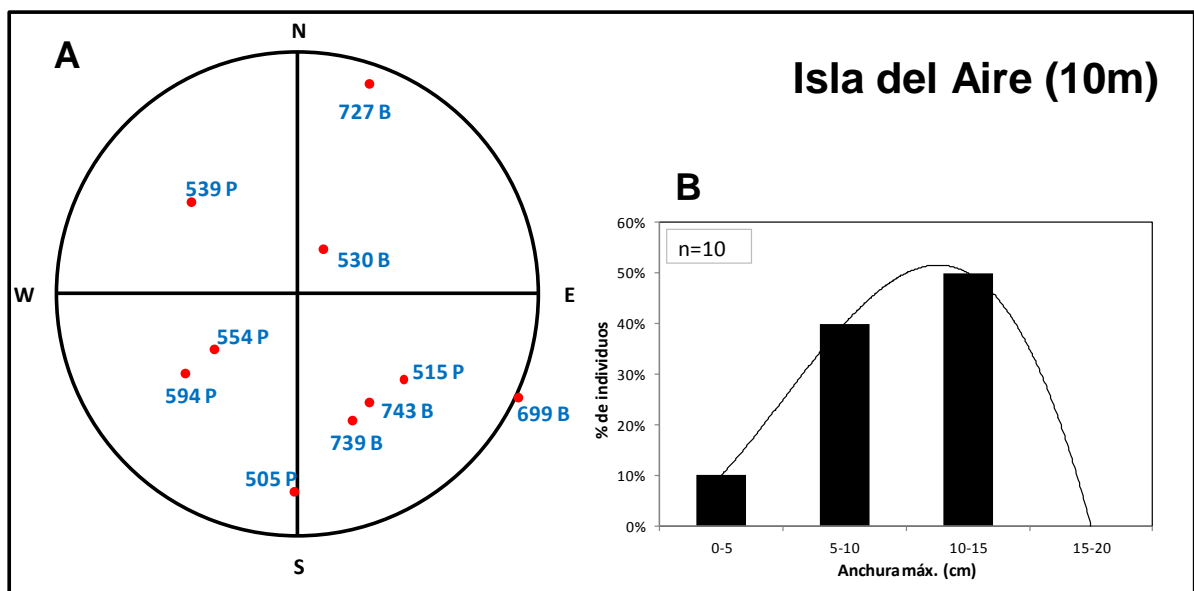


Figura 4.37. A) Parcela circular (área=113 m<sup>2</sup>), de individuos marcados de *P. nobilis* en la estación de la isla del Aire, en la cota de 10 m (IA-10). Se presenta un esquema de la situación de los individuos en la parcela circular. B=individuo marcado con brida; P=individuo marcado con piqueta. B) Histograma de tallas de la población de *P. nobilis* en la parcela circular de la estación de la isla del Aire, situada a 10 m de profundidad (IA-10). n=10 individuos.



### Praderas profundas

En las Figuras 4.38 a 4.41 se representan los recuentos, la distribución espacial y los histogramas de tallas de *P. nobilis*, para cada una de las parcelas instaladas en la cota profunda.

En la Figura 4.38A, se presentan los individuos marcados en la parcela de la estación de La Mola 2 (Mo2-20). Al igual que ocurría en el caso de las parcelas someras, ha sido en esta estación dónde se ha marcado un mayor número de ejemplares (n=12). En cuanto a las clases de tallas (Figura 4.38B), en esta cota de profundidad encontramos individuos de mayor talla, así un 16,7% son de gran talla (20-25 cm), clase que no aparecía en la cota somera a excepción de la estación de Puerto de Maó (Po-10). En esta parcela la mayoría de los ejemplares censados (50%) son de talla grande (15-20 cm), y el 33,3% son de talla mediana (10-15 cm) o reclutas (0-5 cm).

En la Figura 4.39A se presentan los individuos marcados en la parcela de la estación del Caló des Vi Blanc (VB-20), que al igual que ocurría en el caso de las parcelas someras, ha sido la parcela en dónde se ha marcado un menor número de ejemplares (n=6). En relación a las clases de tallas (Figura 4.39B), en esta cota de profundidad encontramos individuos de mayor talla, así un 16,7% son de gran talla (20-25 cm), clase que no aparecía en la cota somera a excepción de la estación de Puerto de Maó (Po-10). En esta parcela la mayoría de los ejemplares censados (50%) son de talla grande (15-20 cm), y el resto (33,3%) son de talla mediana (10-15 cm) o reclutas (0-5 cm).

En la Figura 4.40A se presentan los individuos marcados en la parcela de la estación de Cala Rafalet (CR-20), donde se han encontrado 11 individuos. Al igual que ocurre en el resto de estaciones, en esta cota de profundidad encontramos individuos de mayor talla (Figura 4.40B). Así el 16,7% son de gran talla (20-25 cm), aunque el mayor número de ejemplares censados (41,7%) son de talla grande (15-20 cm), y el resto (33,3%) son de talla mediana (10-15 cm) o juveniles (5-10 cm).

En la Figura 4.41A se presentan los individuos marcados en la parcela de la estación de la isla del Aire (IA-20). Se ha hallado también un número de individuos similar al resto de parcelas (n=9), de los que la mayoría (66,7%) son de talla grande (15-20 cm), y el resto (33,3%) son de talla mediana (10-15 cm) (Figura 4.41B).

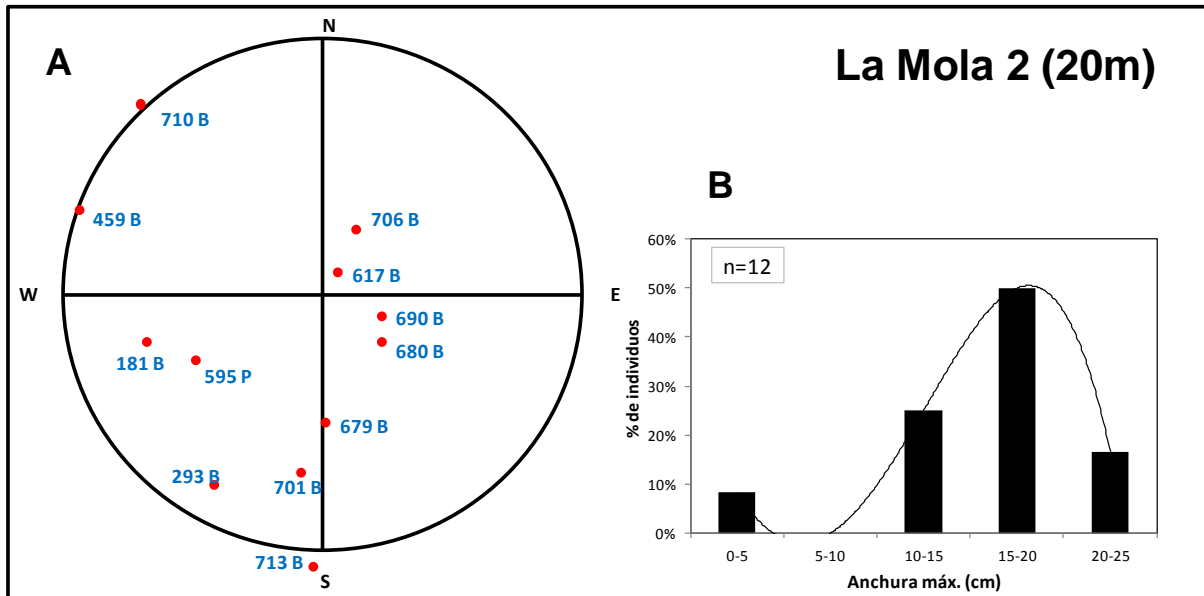


Figura 4.38. A) Parcela circular (área=113 m<sup>2</sup>), de individuos marcados de *P. nobilis* en la cota de 20 m de profundidad de la estación de La Mola 2 (Mo2-20). Se presenta un esquema de la situación de los individuos en la parcela. B=individuo marcado con brida; P=individuo marcado con piqueta. B) Histograma de tallas de la población de *P. nobilis* en la parcela circular de la estación de La Mola 2, situada a 20 m de profundidad (Mo2-20). n=12 individuos.

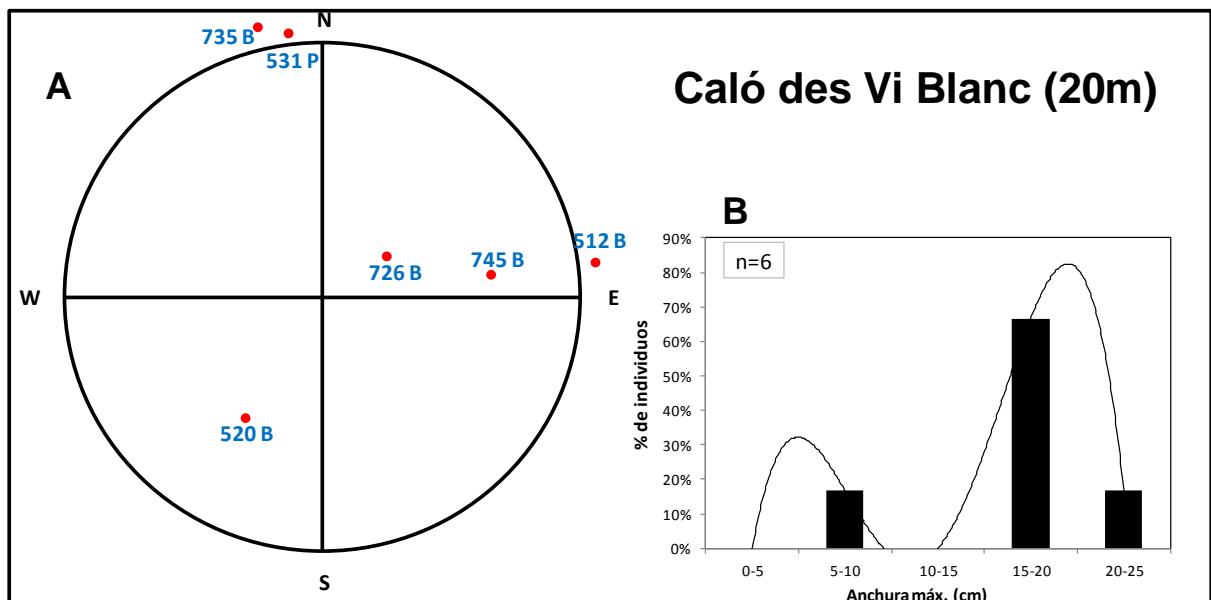


Figura 4.39. A) Parcela circular (área=113 m<sup>2</sup>), de individuos marcados de *P. nobilis* en la estación de La Mola 2, en la cota de 20 m (Mo2-20). Se presenta un esquema de la situación de los individuos en la parcela circular. B=individuo marcado con brida; P=individuo marcado con piqueta. B) Histograma de tallas de la población de *P. nobilis* en la parcela circular de la estación del Caló des Vi Blanc, situada a 20 m de profundidad (VB-20). n=6 individuos.

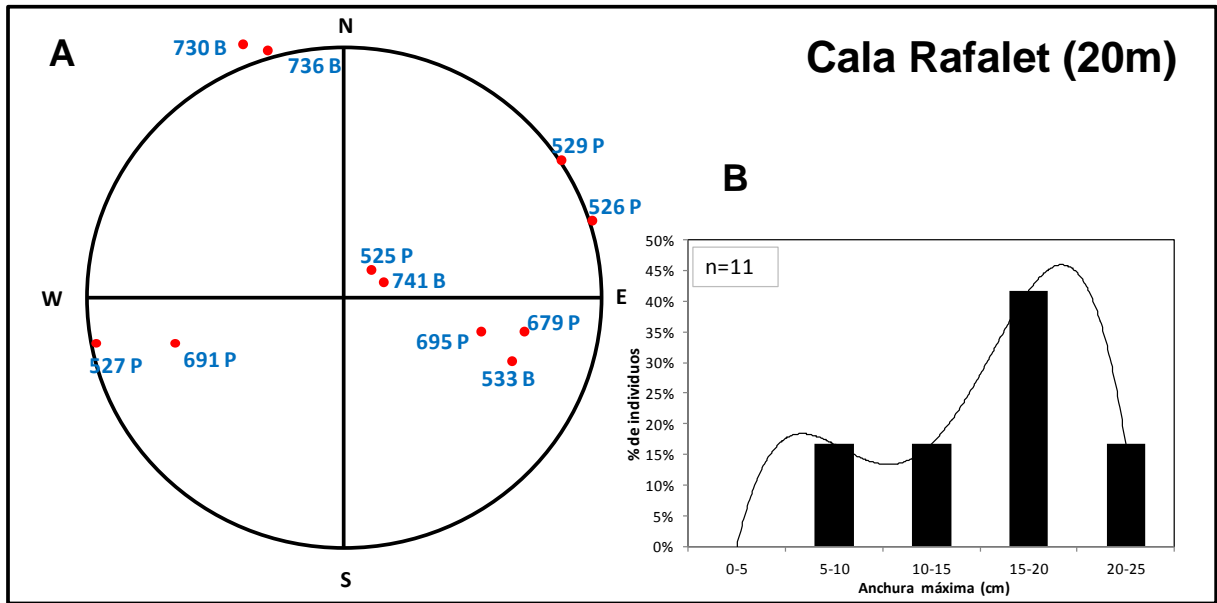


Figura 4.40. A) Parcela circular (área=113 m<sup>2</sup>), de individuos marcados de *P. nobilis* en la estación de Cala Rafalet, en la cota de 20 m (CR-20). Se presenta un esquema de la situación de los individuos en la parcela circular. B=individuo marcado con brida; P=individuo marcado con piqueta. B) Histograma de tallas de la población de *P. nobilis* en la parcela circular de la estación de Cala Rafalet, situada a 20 m de profundidad (CR-20). n=11 individuos.

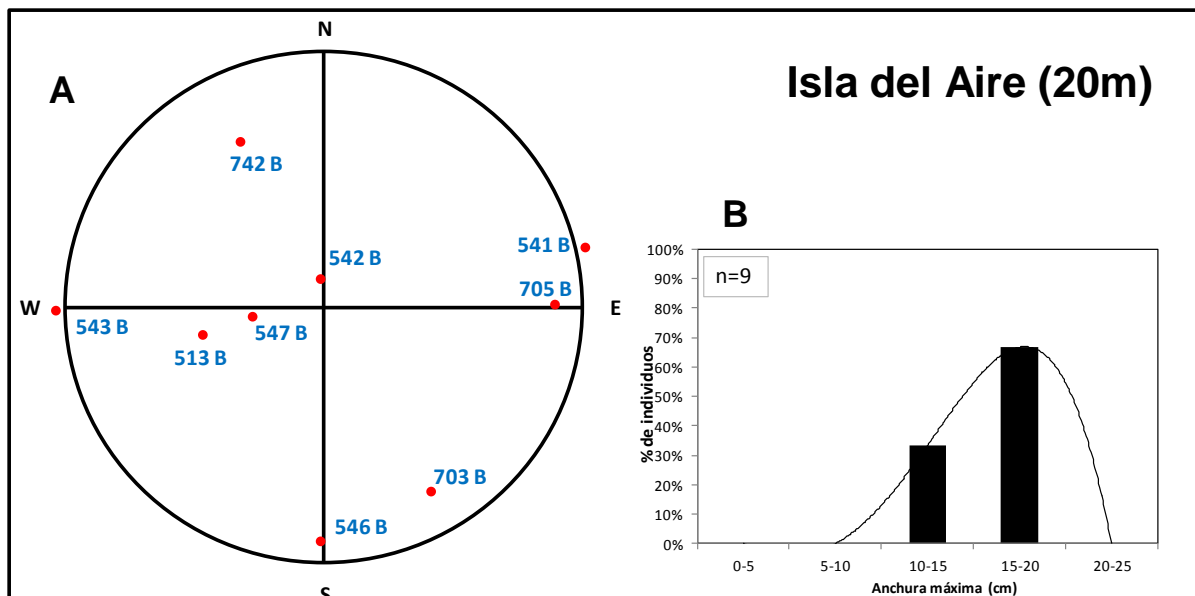


Figura 4.41. A) Parcela circular (área=113 m<sup>2</sup>), de individuos marcados de *P. nobilis* en la estación de la isla del Aire, en la cota de 20 m (IA-20). Se presenta un esquema de la situación de los individuos en la parcela circular. B=individuo marcado con brida; P=individuo marcado con piqueta. B) Histograma de tallas de la población de *P. nobilis* en la parcela circular de la estación de la isla del Aire, situada a 20 m de profundidad (IA-20). n=9 individuos.



## Caracterización sedimentaria en la zona de estudio

Se seleccionaron 4 localidades, de las 8 localidades iniciales, en las que se han recogido muestras de sedimento en dos cotas de profundidad, somera (10 m) y profunda (20 m), coincidiendo con las estaciones de caracterización de las comunidades bentónicas:

- La Mola 2: estaciones Mo2-10 y Mo2-20
- Caló des Vi Blanc: estaciones VB-10 y VB-20
- Alcaufar: estaciones AL-10 y AL-20
- Isla del Aire: estaciones IA-10 y IA-20.

No se pudieron recoger todas las muestras de sedimento así como estaba previsto, porque en algunas de las estaciones la potencia del sedimento era muy pequeña y no fue posible la recogida de sedimento. Las estaciones en las que no se pudieron recoger muestras de sedimento fueron: estación de la localidad del Caló des Vi Blanc en la cota de 20 m (VB-20), y estación de la localidad de la isla del Aire en la cota de 10 m (IA-10). Además de las estaciones previstas se ha recogido también sedimento de la nueva localidad establecida en el Puerto de Maó (Po-10).

## Caracterización granulométrica del sedimento

La composición granulométrica del sedimento para las 7 estaciones de muestreo se ha representado gráficamente en la Figura 4.42.

En el área de estudio predominan los sedimentos de mayor tamaño presentándose los porcentajes más elevados en las estaciones situadas a 10 m de profundidad (Figura 4.42). Así, en las cotas someras los porcentajes de arenas gruesas y muy gruesas superan el 80% en las estaciones situadas en el centro y sur de la zona de estudio (Caló des Vi Blanc y Alcaufar), mientras que en las estaciones situadas al norte estas fracciones del sedimento representan el 56,7% en la estación de La Mola 2 y únicamente el 16,2% en la estación de Puerto de Maó (Figura 4.42). Esta última estación es la que más difiere de todas las demás, al predominar los sedimentos finos y muy finos (66,1%).

Las estaciones de la cota profunda, siguen teniendo un elevado porcentaje de sedimento grueso y muy grueso, que aumenta de norte a sur, encontrándose los valores máximos, (90,8%) en la isla del Aire (Figura 4.42). En las estaciones situadas al norte (Mo2-20),



estos valores se reducen al 34,6% y aumenta el porcentaje de sedimento medio (42,2%) y fino (23,2%).

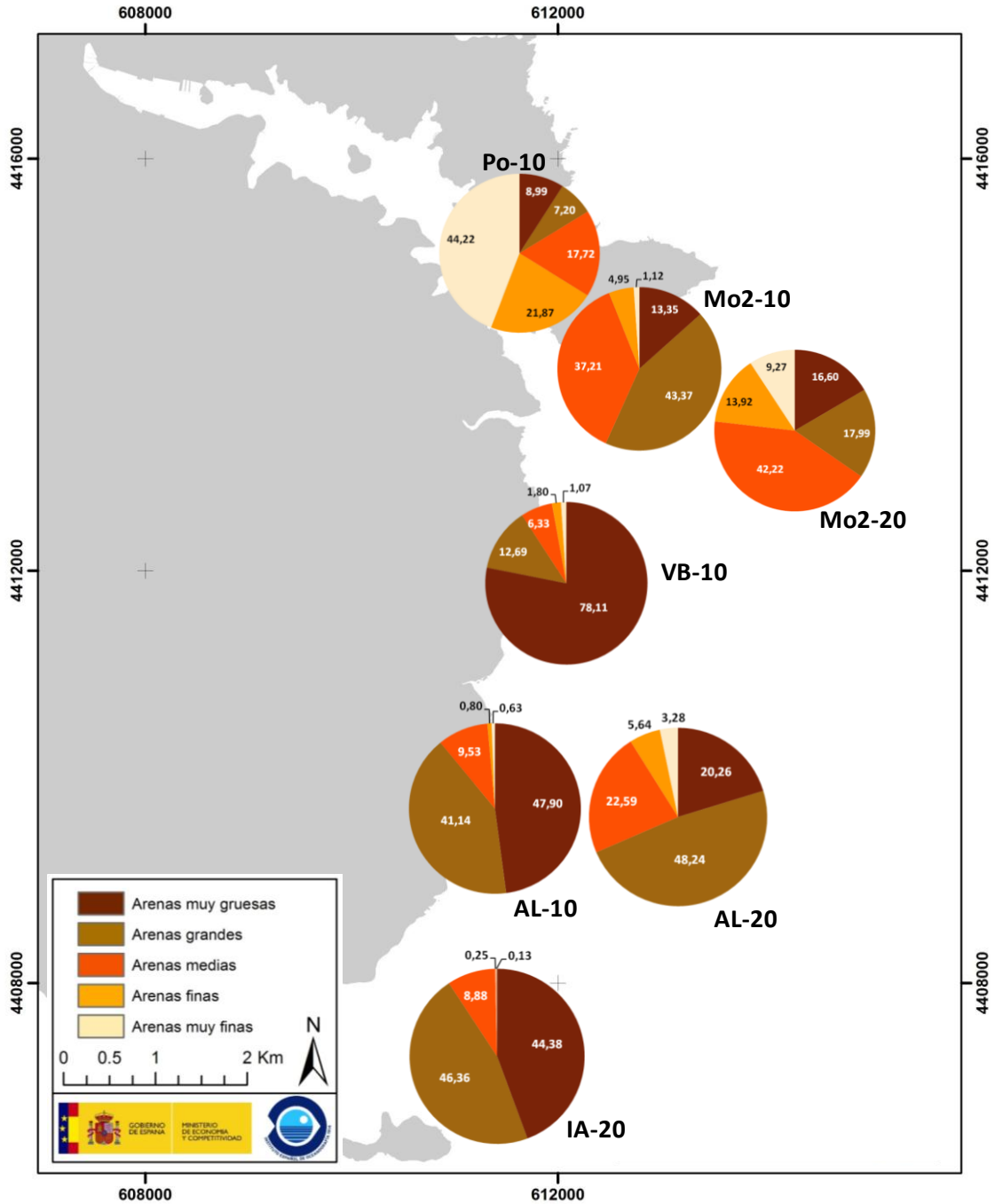


Figura 4.42. Porcentaje medio de las distintas fracciones de sedimento identificadas (Buchanan 1984), en las estaciones : La Mola 2: Mo2-10 y Mo2-20; Puerto de Maó: Po-10; Caló des Vi Blanc: VB-10; Alcaufar: AL-10 y AL-20; Isla del Aire: IA-20.

El análisis multi-variante (MDS), basado en el porcentaje de las distintas fracciones del sedimento de las muestras recogidas por estación, indica una diferenciación en la granulometría de los sedimentos entre estaciones. Así la estación de Puerto de Maó (Po-10), es la que está más separada del resto de estaciones, al presentar una composición granulométrica menos similar (Figura 4.43). Las estaciones situadas al sur del área de estudio, Alcaufar (AL-10 y AL-20) y la isla del Aire (IA-10 y IA-20), que poseen una mayor proporción de fracción gruesa, son similares y se hallan agrupadas. Mientras que entre las estaciones del norte hay una clara separación entre cotas de profundidad (Figura 4.43).

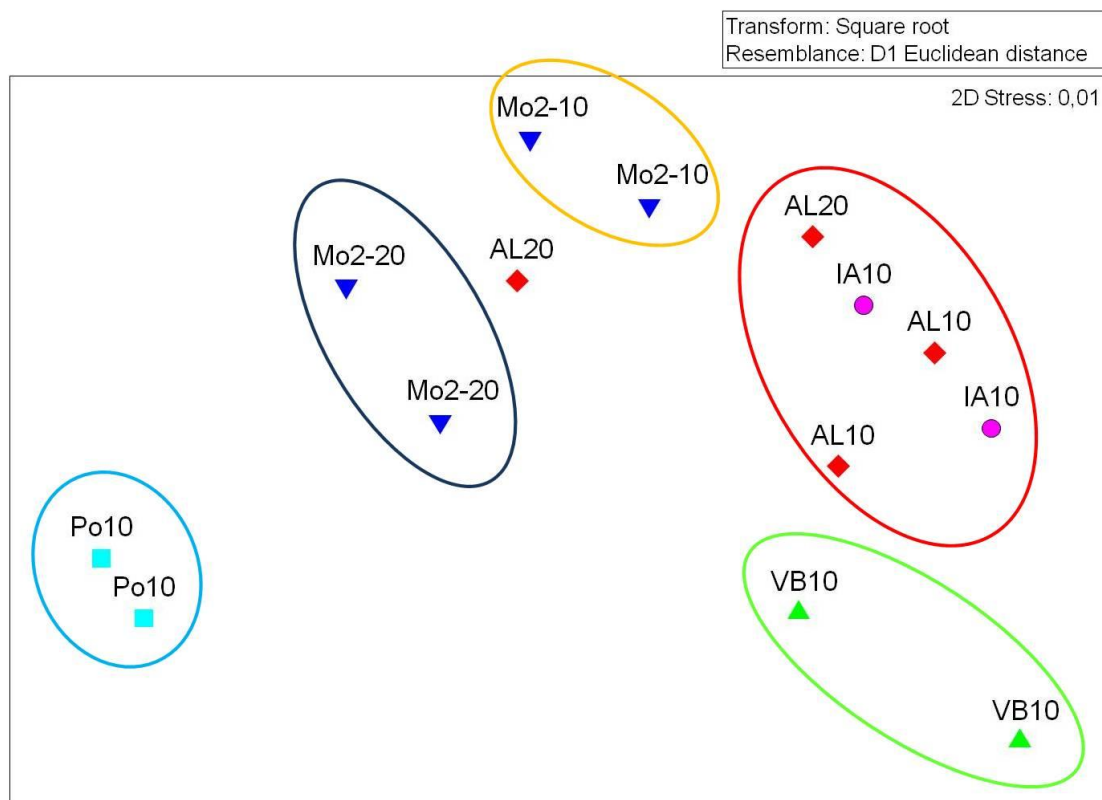


Figura 4.43. Resultados del análisis multi-variante (MDS) de la composición granulométrica del sedimento para las estaciones muestreadas a 10 m y 20 m de profundidad. La Mola 2: Mo2-10 y Mo2-20; Puerto de Maó: Po-10; Caló des Vi Blanc: VB-10; Alcaufar: AL-10 y AL-20; Isla del Aire: IA-20. En cada estación se tomaron 2 muestras de sedimento.

### Caracterización de la columna de agua

Los resultados obtenidos en la caracterización de la columna de agua se presentan para cada uno de los parámetros medidos y por estación. La toma de datos se ha realizado a tres cotas de profundidad (10, 20 y 30 m) en tres de las siete estaciones: La Mola 2, el



Caló des Vi Blanc y Alcaufar. En las otras cuatro estaciones se realizó un sólo perfil en la cota de 20 m

Los resultados complementan los datos hidrográficos tomados durante la campaña MAO1401\_HIDROGRAFÍA, incluidos en el apartado 3 del presente informe, en el que no se muestreó la zona costera. Los datos obtenidos muestran que la capa de mezcla se extiende desde la superficie hasta el fondo y los valores de todas las variables se encuentran en los rangos normales de principios de invierno.

En la Figura 4.44 se muestran los perfiles verticales de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) para todas las estaciones. Los valores se sitúan alrededor de los  $14^{\circ}\text{C}$  en un estrecho rango comprendido entre  $13,7$  y  $14,5^{\circ}\text{C}$  para toda la columna de agua entre 0 y 30 m.

En la Figura 4.45 se muestran los perfiles verticales de turbidez (NTU) para todas las estaciones. Los valores se sitúan alrededor de los 0,2 NTU, para toda la columna de agua entre 0 y 30 m, dándose los máximos valores en superficie, con un valor máximo de 1,37 NTU, en la estación de La Mola 1.

En la Figura 4.46 se muestran los perfiles verticales de pH para todas las estaciones. Los valores se sitúan alrededor de 8,2 para toda la columna de agua entre 0 y 30 m.

En la Figura 4.47 se muestran los perfiles verticales de fluorescencia ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) para todas las estaciones. En la mayoría de las estaciones los valores de fluorescencia aumentan en profundidad. Así, en la isla del Aire (IA) se observa un pico entre 17 y 23 m de profundidad y se alcanzan valores máximos de  $1,36 \text{ mg}/\text{m}^3$ . Destaca también el perfil de 20 m de la estación del Caló des Vi Blanc en el que aparece un pico al final del mismo, con un valor máximo de  $1,95 \text{ mg}/\text{m}^3$ .

En la Figura 4.48 se muestran los perfiles verticales de salinidad (psu) para todas las estaciones. Los valores se sitúan alrededor de 38 para toda la columna de agua entre 0 y 30 m.

En la Figura 4.49 se muestran los perfiles verticales de oxígeno disuelto ( $\text{ml}/\text{l}$ ) para todas las estaciones. Los valores se sitúan alrededor de los  $5,4 \text{ ml}/\text{l}$ , en un estrecho rango entre  $5,03$  y  $5,61 \text{ ml}/\text{l}$  para toda la columna de agua entre 0 y 30 m.



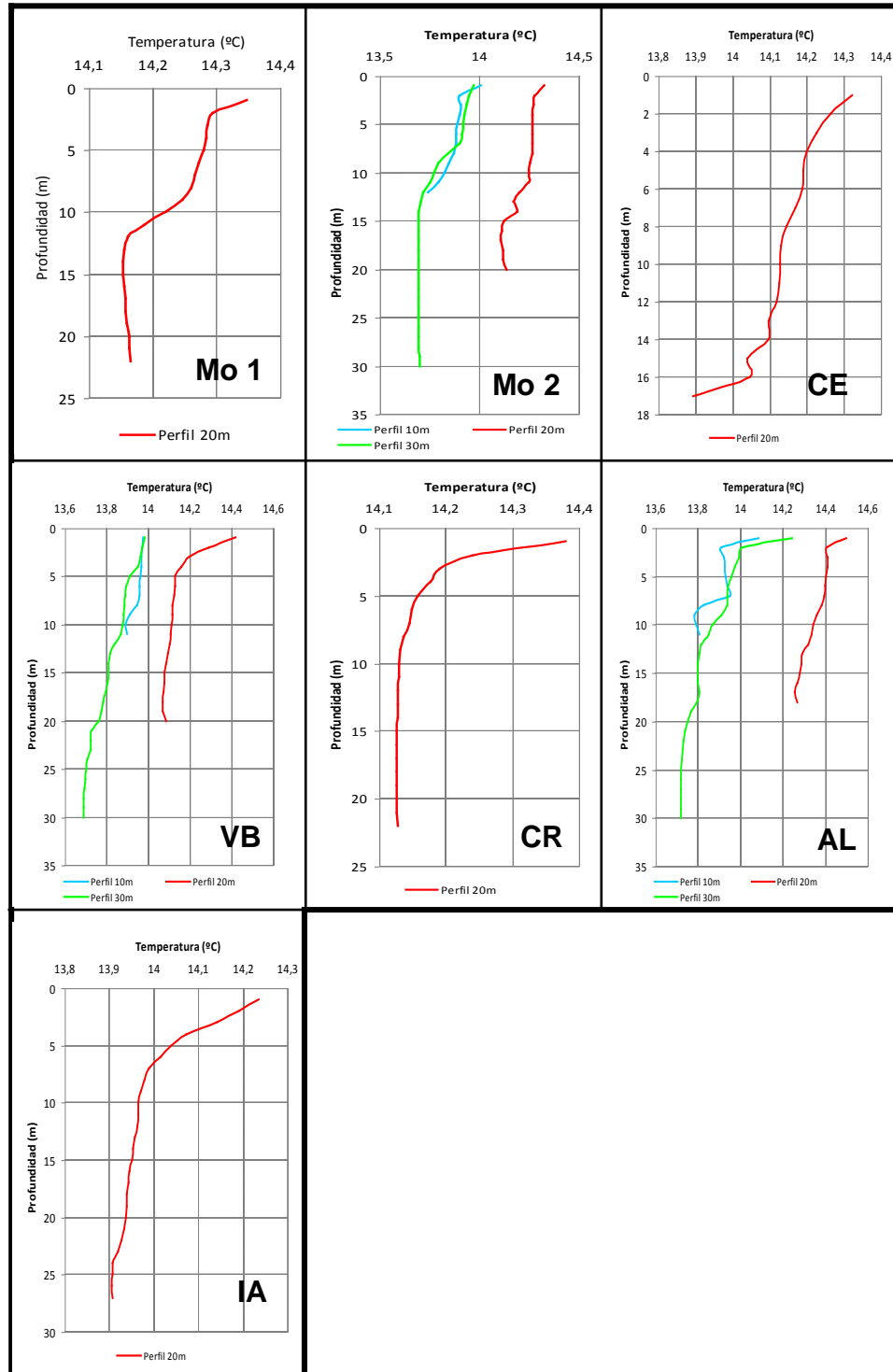


Figura 4.44. Caracterización de la columna de agua entre 10 y 30 m para la variable Temperatura (°C) en las estaciones de muestreo. Mo1: La Mola 1; Mo2: La Mola 2; CE: Cala Sant Esteve; VB: Caló des Vi Blanc; CR: Cala Rafalet; AL: Alcaufar; IA: Isla del Aire.

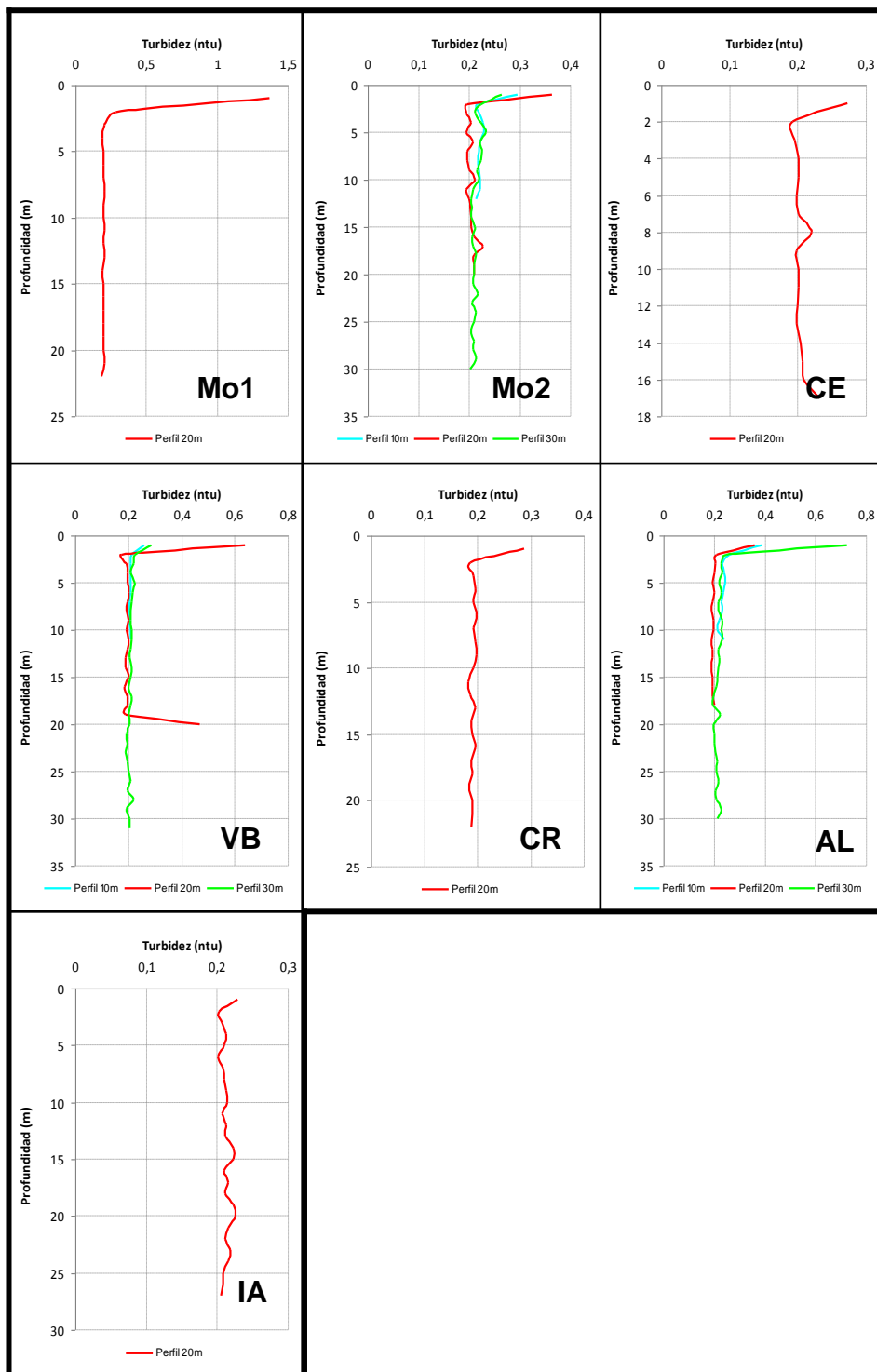


Figura 4.45. Caracterización de la columna de agua entre 10 y 30 m para la variable Turbidez (NTU) en las estaciones de muestreo. Mo1: La Mola 1; Mo2: La Mola 2; CE: Cala Sant Esteve; VB: Caló des Vi Blanc; CR: Cala Rafalet; AL: Alcaufar; IA: Isla del Aire.

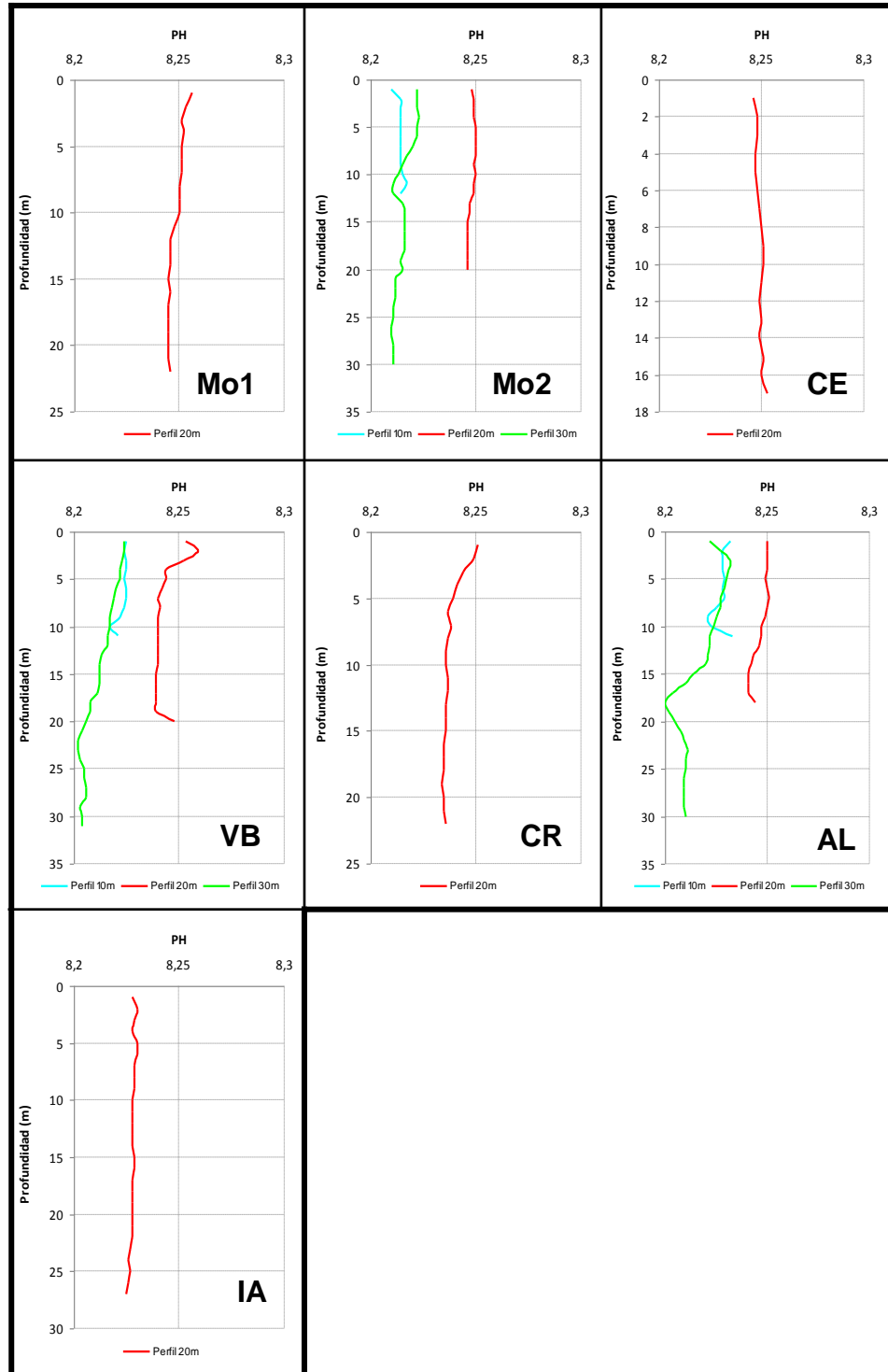


Figura 4.46. Caracterización de la columna de agua entre 10 y 30 m para la variable pH en las estaciones de muestreo. Mo1: La Mola 1; Mo2: La Mola 2; CE: Cala Sant Esteve; VB: Caló des Vi Blanc; CR: Cala Rafalet; AL: Alcaufar; IA: Isla del Aire.

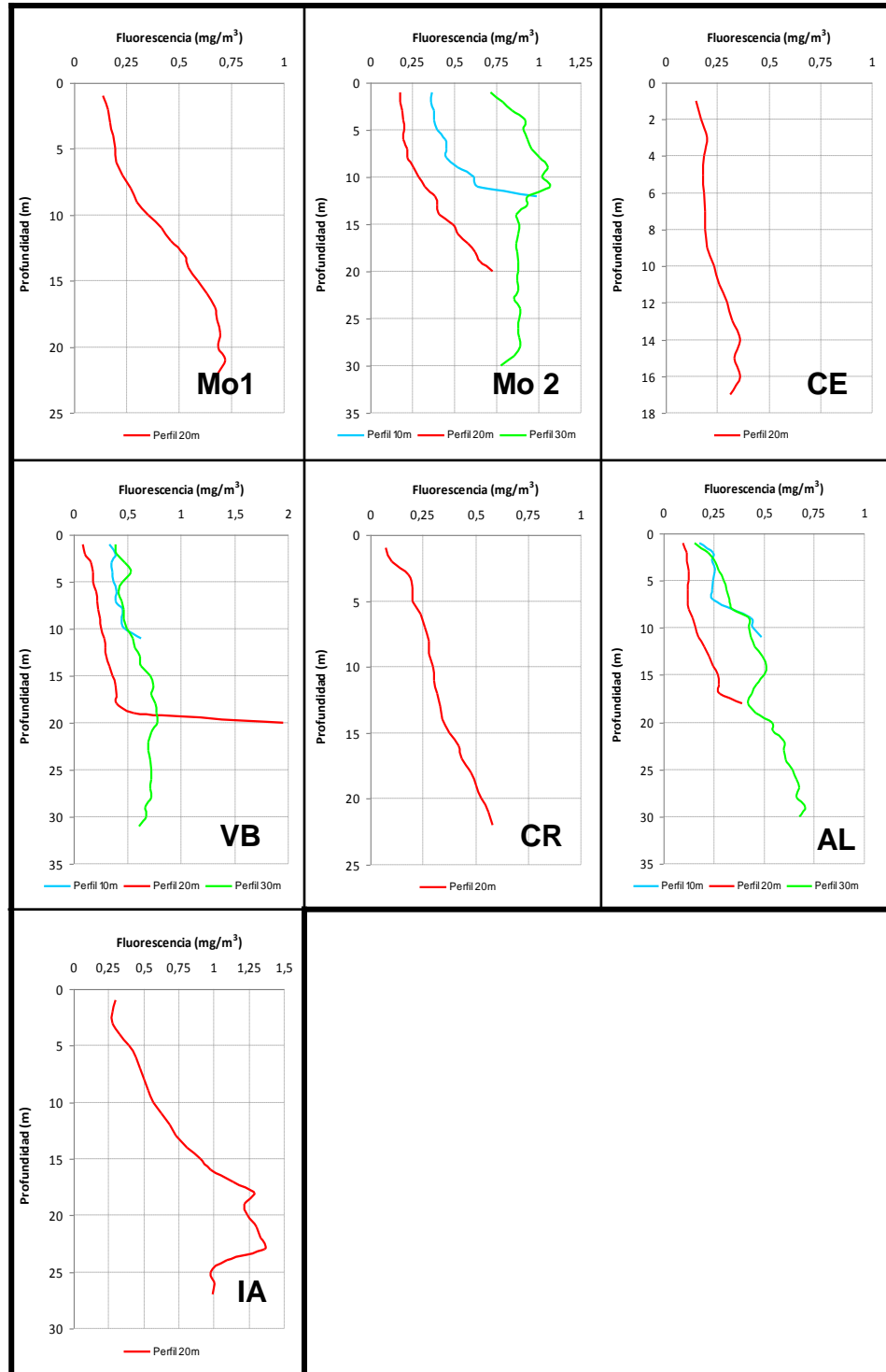


Figura 4.47. Caracterización de la columna de agua entre 10 y 30 m para la variable Fluorescencia ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) en las estaciones de muestreo. Mo1: La Mola 1; Mo2: La Mola 2; CE: Cala Sant Esteve; VB: Caló des Vi Blanc; CR: Cala Rafalet; AL: Alcaufar; IA: Isla del Aire.

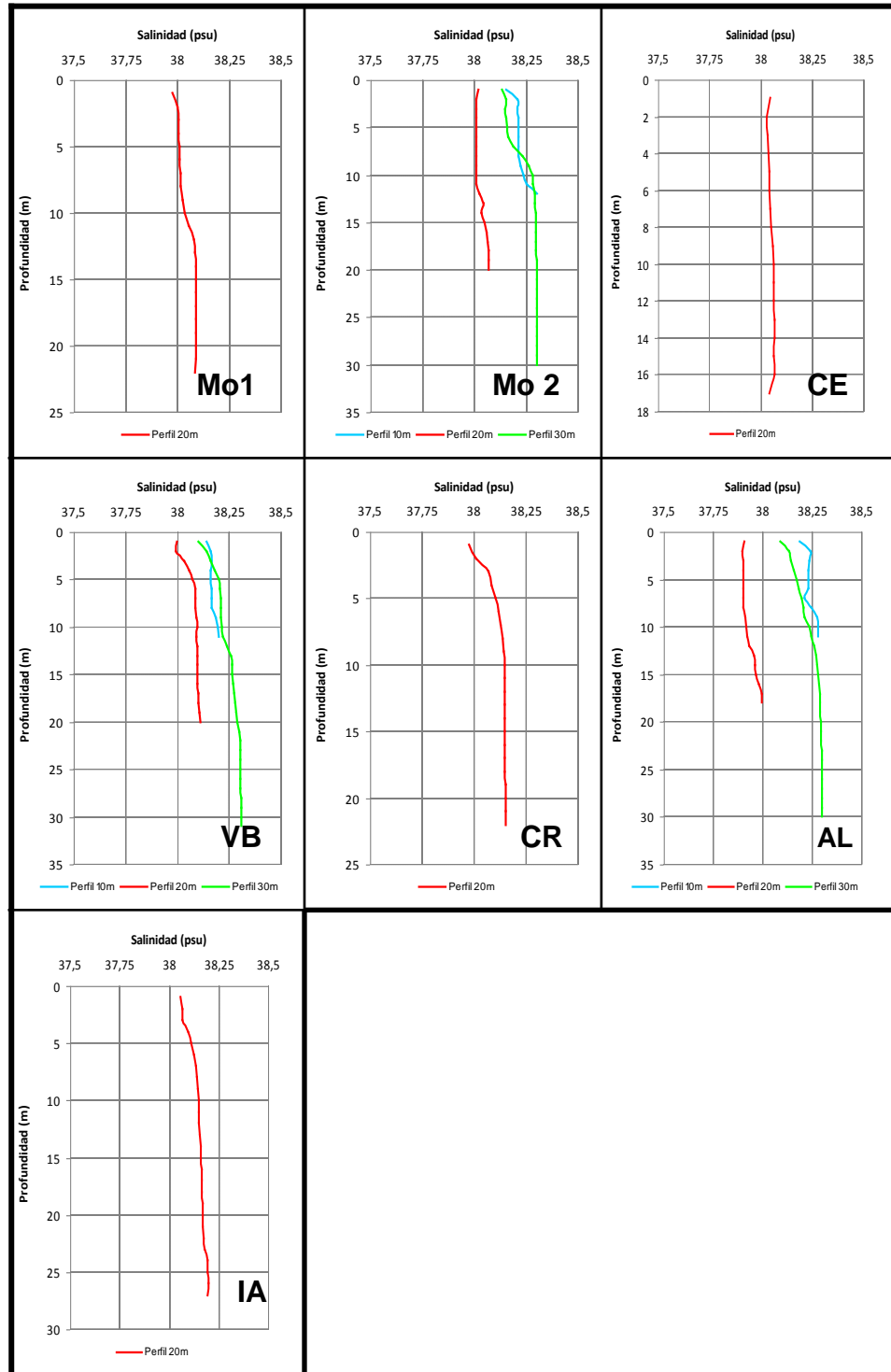


Figura 4.48. Caracterización de la columna de agua entre 10 y 30 m para la variable Salinidad (psu) en las estaciones de muestreo. Mo1: La Mola 1; Mo2: La Mola 2; CE: Cala Sant Esteve; VB: Caló des Vi Blanc; CR: Cala Rafalet; AL: Alcaufar; IA: Isla del Aire.

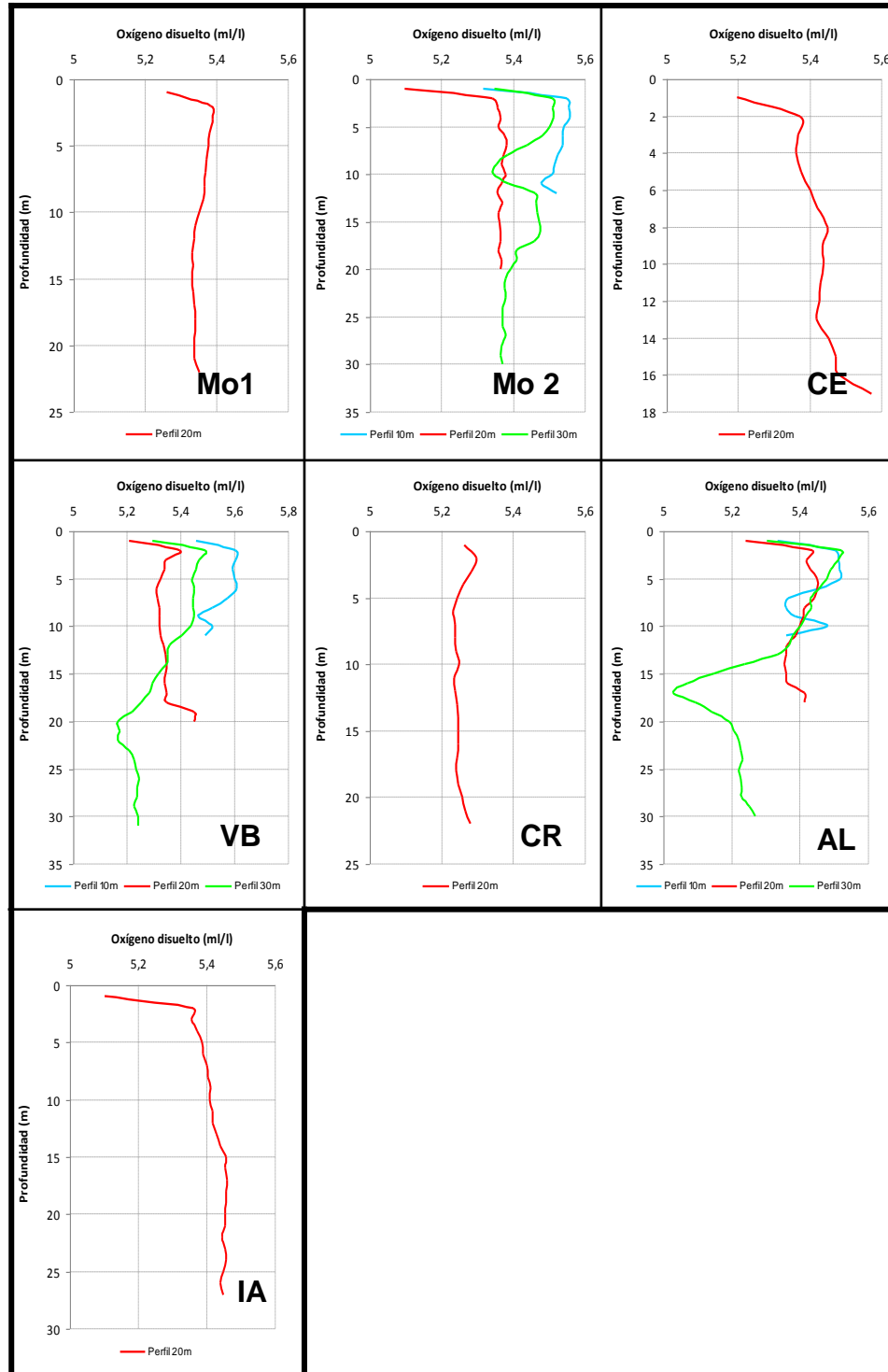


Figura 4.49. Caracterización de la columna de agua entre 10 y 30 m para la variable oxígeno disuelto (m/l) en las estaciones de muestreo. Mo1: La Mola 1; Mo2: La Mola 2; CE: Cala Sant Esteve; VB: Caló des Vi Blanc; CR: Cala Rrafalet; AL: Alcaufar; IA: Isla del Aire.



#### 4.4. DISCUSIÓN

*Posidonia oceanica* es una fanerógama marina endémica del Mediterráneo que forma extensas praderas desde la superficie hasta los 40 m de profundidad, constituyendo el ecosistema costero dominante y más productivo del Mediterráneo (Boudouresque *et al.*, 2009; Montefalcone, 2009). Debido a sus requerimientos de luz y calidad de sedimento, las fanerógamas marinas son sistemas muy sensibles a cambios asociados a la degradación de su hábitat natural (Montefalcone *et al.*, 2010). Su localización en zonas costeras, las hace especialmente sensibles a impactos de origen antrópico, que conlleva frecuentemente la pérdida y fragmentación del hábitat (Tanner, 2005). Las construcciones costeras, como los dragados y vertidos de estos sedimentos en zonas cercanas a praderas de *P. oceanica*, pueden alterar los procesos sedimentarios locales, produciendo un enterramiento de la pradera (Blanc y Jeudy de Grissac, 1989)

Para analizar los resultados obtenidos en el presente estudio para la comunidad de pradera de *P. oceanica* se han tenido en cuenta, además de diversos artículos científicos, los datos recopilados por la Red de vigilancia de praderas de *P. oceanica* de Baleares “Xarxa de *Posidonia*” (Álvarez y Grau, 2011), que ha recopilado datos desde el año 2002 en diferentes estaciones de Baleares. En concreto se han seleccionado las estaciones de la Red de vigilancia más similares a la pradera de estudio, en cuanto a profundidad (10 y 20 m) y ubicación. “La Xarxa de *Posidonia*” es el único trabajo que se ha encontrado que posee datos de la zona de estudio, que por su situación cuenta con praderas sometidas a un elevado régimen hidrodinámico, como se comentará más adelante, y que no puede compararse con praderas situadas en zonas más resguardadas y con otro régimen hidrodinámico.

Las praderas muestreadas en las estaciones de “la Xarxa de *Posidonia*” seleccionadas, se encuentran en buen estado de conservación y nos pueden servir como valores de referencia para compararlos con los obtenidos en el presente estudio. De hecho dos de las estaciones analizadas en el presente estudio, Cala Sant Esteve y el Puerto de Maó, son las mismas zonas en las que se realizaba el seguimiento de la pradera de *P. oceanica* por “la Xarxa de *Posidonia*”. En la Tabla 4.7 se resume los resultados de los dos descriptores de la pradera analizados (densidad de haces y límite inferior), que pueden ser comparados con los datos encontrados en la bibliografía. Los valores de densidad de haces de las estaciones de “la Xarxa de *Posidonia*” que se presentan, son una media de los valores obtenidos en el seguimiento anual entre los años 2004 y 2010.



Tabla 4.7. Se presentan valores consultados en la bibliografía de localidades de Menorca y valores de los descriptores de las estaciones de *P. oceanica* obtenidos en el presente estudio (Mo1-10, Mo2-10, Mo2-20, Po-10, CE-10, VB-10, VB-20, AL-10, Al-20, IA-10 y IA-20) en praderas someras (10 m) y profundas (20 m). Densidad de haces (numero de haces/m<sup>2</sup> ± error típico). Profundidad del límite inferior de la pradera de *P. oceanica* en m.\* Estaciones de la Xarxa de Posidonia (Álvarez y Grau, 2011).

Localidad	Año	Densidad de haces (haces/m <sup>2</sup> )	Límite inferior (m)
<b>Praderas someras</b>			
Cala Sant Esteve*	2004-2009	651,2±146,46	27
Puerto Maó*	2004-2009	226,7±43,32	12
Addaia*	2004-2010	772,8±60,04	28
Mo1-10	2014	634,7±1,33	20
Mo2-10	2014	682,7±64,68	23
Po-10	2014	301,3±50,93	11
CE-10	2014	604,0±14,05	26,5
VB-10	2014	565,3±29,69	30,1
AL-10	2014	717,3±11,62	35
IA-10	2014	633,3±73,77	22
<b>Praderas profundas</b>			
Cala Sant Esteve*	2004-2009	439,72±80,89	27
Addaia*	2004-2010	433,11±79,98	28
Mo2-20	2014	344,00±52,00	23
VB-20	2014	473,33±50,93	30,1
AL-20	2014	452,00±40,07	35
IA-20	2014	361,33±29,77	22

La densidad de haces de *P. oceanica* es el descriptor de abundancia que mejor reacciona a los cambios en las condiciones del agua. Las praderas de *P. oceanica* en todas las estaciones de la zona de estudio, a excepción de Puerto de Maó, tienen densidades que no presentan diferencias significativas entre sí y son similares a las encontradas en las estaciones de referencia de Cala Sant Esteve y Addaia (Tabla 4.7). La estación de Puerto de Maó presenta valores de densidad (301,3±50,93 haces/m<sup>2</sup>) menores que el resto de estaciones, aunque estos valores son similares a los que ya se han registrado con anterioridad en esta zona (226,7±43,32 haces/m<sup>2</sup>), como puede verse en la Tabla 4.7. Por su situación en una zona resguardada de la bocana del Puerto, presenta unas condiciones diferentes al resto de estaciones someras. Estos resultados se complementan con los valores obtenidos de composición granulométrica del sedimento (Figura 4.42), los cuales indican que la estación de Puerto de Maó presenta una elevada proporción (67,2%) de las fracciones finas y muy finas. Estos resultados indican que el





régimen sedimentario de esta pradera es totalmente diferente del resto de praderas de la cota somera estudiadas. Este hecho ha de tenerse en cuenta en los muestreos posteriores a las obras de dragado, para valorar los efectos del vertido sobre esta pradera.

En cuanto a los límites profundos de la pradera de *P. oceanica* hay una clara tendencia a aumentar en profundidad a medida que nos desplazamos hacia el sur. Así las estaciones situadas más al norte, como las dos de La Mola, son las que poseen los límites inferiores a menor profundidad (alrededor de 20 m). Los límites de las praderas, sobre todo el superior, están limitados por el régimen hidrodinámico, la energía del oleaje, pero en ocasiones el límite inferior puede estar determinado, además de por la luz, por corrientes de fondo constantes o episódicas (De Boer, 2007). Según los resultados obtenidos en la campaña de hidrografía (Apartado 3 del informe), existe una corriente geostrófica superficial importante (0-50 m de profundidad) que discurre de norte a sur, que ha llegado hasta los 50cm/s durante la campaña, pero que ha sido superior, hasta los 80 cm/s, en la zona de La Mola. Así pues el límite inferior de las praderas en el área de estudio parece verse afectado por esta corriente geostrófica, de manera que la pradera es más profunda en cuanto menos se ve afectada por esta corriente. Las praderas de las estaciones situadas más al sur, como Cala Rafalet y sobretodo Alcaufar tienen el límite inferior en cotas superiores a 30 m de profundidad, 32 y 35 m respectivamente. Cabe mencionar el límite de la pradera en la isla del Aire, que por su situación, a una profundidad de 22 m, también parece limitado por el elevado hidrodinamismo presente en esta zona cercana al canal.

Los procesos de sedimentación/erosión en las praderas están relacionados con el hidrodinamismo, los aportes sedimentarios y el tipo de fondo. Las praderas de *P. oceanica* aceleran la acumulación del sedimento (Gacia y Duarte, 2001) y reaccionan a esta acumulación mediante la estimulación del crecimiento vertical de sus rizomas (Marbà y Duarte, 1998). Sin embargo acumulaciones excesivas de sedimento deterioran el estado de las praderas. Enterramientos superiores a 10 cm provocan una mortalidad de haces del 50%, y del 100% cuando el enterramiento excede los 14-15 cm (Cabaço *et al.*, 2008). El umbral de sedimentación tolerable por la pradera está establecido en 5g/m<sup>2</sup> día. A partir de esa tasa el declive de las praderas se acelera (Díaz-Almela *et al.*, 2008). En términos de altura del sedimento en general, los meristemas apicales de los haces soportan una tasa que no exceda los 5 cm por año (Gacia y Duarte, 2001).



En las praderas estudiadas se ha valorado el desenterramiento de los haces en la fase previa al vertido, con objeto de determinar el posible impacto por una modificación de la tasa de sedimentación sobre las praderas una vez acabadas las obras. La totalidad de los haces muestreados presentaban un desenterramiento positivo, tanto en las praderas someras como en las profundas. En las praderas someras la mitad de las estaciones muestreadas, que coinciden con zonas más resguardadas (Mo2-10, VB-10 y Po-10), presentan haces con un desenterramiento dentro del rango *Favorable* para este descriptor (dentro del intervalo -5,5 cm) (Díaz-Almela y Marbà, 2009). Mientras que las otras tres estaciones, situadas en zonas más expuestas, presentan haces con un desenterramiento en el rango *Desfavorable-inadecuado*, (dentro del intervalo -7,7 cm) (Figura 4.18) (Díaz-Almela y Marbà, 2009). En las praderas profundas encontramos un patrón diferente, ya que sólo hay una estación, AL-20, que se encuentre dentro del rango favorable, mientras que las otras tres estaciones muestreadas, Mo2-20, VB-20 y IA-20, presentan haces con un desenterramiento en el rango *Desfavorable-malo*, por encima de los 7 cm de desenterramiento (Figura 4.19) (Díaz-Almela y Marbà, 2009). Estos resultados ponen de manifiesto la importancia del hidrodinamismo en la zona de estudio en las dos cotas de profundidad y el proceso erosivo que sufre esta costa. Estos resultados se complementan con los valores obtenidos de composición granulométrica del sedimento. Los elevados porcentajes de sedimento de tamaño grueso y muy grueso (Figura 4.42), que llegan al 90% en las estaciones situadas al sur como la isla del Aire, reflejan claramente este proceso erosivo, en el que la energía hidrodinámica juega un papel muy importante, junto con posibles aportaciones de bioclastos por procesos biogénicos.

De los parámetros oceanográficos analizados en la columna de agua, la turbidez permite explicar el posible impacto del vertido sobre las comunidades bentónicas. La turbidez es una medida de la materia en suspensión en el agua que reduce su transparencia, y que nos proporciona información sobre la calidad del agua. La transparencia del agua determina la cantidad de luz que incide sobre las praderas de *P. oceanica* y determina la profundidad del límite inferior de la pradera (Ruiz *et al.*, 2001; Duarte *et al.*, 2007), así un aumento de la turbidez del agua disminuirá su transparencia y por tanto la luz incidente que recibe la pradera en el límite inferior. Las materias en suspensión en mar abierto oscilan entre 0,5 y 2 mg/l, y en zonas costeras del Mediterráneo pueden aumentar hasta los 10 mg/l. Las unidades empleadas para valorar la turbidez son NTU (nephelometric turbidity units). Los valores registrados durante la campaña son en general bajos, alrededor de los 0,2 NTU, que representan materia en suspensión del orden de 1,5 mg/l.



El molusco endémico *P. nobilis* es el mayor bivalvo del Mediterráneo y uno de los mayores del mundo (Zavodnik *et al.*, 1991). Vive en aguas costeras, entre 0,5 y 60 m de profundidad (Butler *et al.*, 1993) sobre sustratos blandos colonizados por praderas de *P. oceanica* (Vicente, 1990; Richardson *et al.*, 1999). La regresión de esta especie está asociada a la degradación de la pradera de *P. oceanica* o de la calidad del agua, por lo que puede utilizarse como indicador de impacto ambiental sobre las praderas.

Las densidad de *P. nobilis* varía en función de la zona y de la profundidad, siendo esta última uno de los factores más importantes que afectan a la densidad y distribución de la especie (Katsanevakis, 2005, Vázquez-Luis y Deudero, 2014). Las densidades que se han encontrado en el área de estudio son similares en las dos profundidades muestreadas, con valores máximos de media de 7,3 ind/100 m<sup>2</sup> en estaciones de ambas cotas (AL-10, Mo2-20 y IA-20) y valores máximos por transecto de 16,7 ind/100 m<sup>2</sup> (AL-10) para la cota de somera y de 15 ind/100 m<sup>2</sup> (Mo2-20) para la cota profunda (Figuras 4.26 y 4.30). Estos valores son superiores a los encontrados en la bibliografía. García-March (2005) da valores para la densidad de esta especie en Alicante entre 0 y 5 ind/100 m<sup>2</sup>, siendo lo más común menos de 10 individuos por cada 100 m<sup>2</sup>. Si se comparan estos valores con otras zonas de Baleares, como Mallorca, los valores de densidad máxima son superiores a estaciones como Cala d'Or con una media de 4,8 ind/100 m<sup>2</sup>, siendo una de las estaciones de la isla con mayor densidad (Hendriks *et al.*, 2013). Aunque los valores de densidad de *P. nobilis* encontrados en la zona de estudio son elevados, son inferiores a zonas que poseen poblaciones bien estructuradas y libres de impactos, como las del PN de Cabrera, que en zonas resguardadas como cala Santa María (10 m), tiene una media 13,1 ind/100 m<sup>2</sup> en y un máximo por transecto de 37 ind/100 m<sup>2</sup>. Mientras que para la cota profunda (20 m) en cala Santa María la densidad media es de 16,9 ind/100 m<sup>2</sup> y un máximo por transecto de 29,3 ind/100 m<sup>2</sup> (Vázquez-Luis y Deudero, 2014).

La distribución de los ejemplares por clases de tallas se correlaciona con la profundidad, de forma que en las cotas someras se halla mayor número de individuos de talla pequeña, mientras que los ejemplares de mayor talla se encuentran en profundidad (Figuras 4.28 y 4.32). La estructura de tallas en las poblaciones de *P. nobilis* en el área de estudio difieren en función al grado de exposición de la estación. Así las estaciones más resguardadas, como La Mola 2 (Mo2-10) o Alcaufar (AL-10) en las cotas someras, son las que presentan un mayor número de individuos, tanto en los censos como en las parcelas permanentes, y poseen una estructura de tallas más completa (Figuras 4.28, 4.32, 4.33 a 4.41) Por el contrario las estaciones más expuestas presentan un menor número de ejemplares y una estructura de tallas menos diversa (CE-10, VB-10) (Figuras



4.28 y 4.32). Esta menor presencia de individuos de mayor talla en cotas someras se debe a una mayor influencia de los factores hidrodinámicos sobre la concha, en comparación con las cotas más profundas (García-March *et al.*, 2007a,b; Katsanevakis, 2007; Vázquez-Luis y Deudero, 2014).

Sólo se ha encontrado una especie de macroalga invasora *A. preissii*, colonizando las valvas de *P. nobilis*, con cobertura menores del 40% en todas las estaciones del área de estudio. Estos valores se deben principalmente a la época del año en la que se han realizado los muestreos (invierno). Las tres especies de macroalgas evaluadas (*A. preissii*, *C. racemosa* y *L. lallemandii*) poseen importantes variaciones estacionales en su tasa de crecimiento, que está asociada a la temperatura del agua, siendo en invierno la época de menor crecimiento tanto para *C. racemosa* (Ruitton *et al.*, 2005), *L. lallemandii* (Cebrian y Ballesteros, 2010), como para *A. preissii* (Piazzi *et al.*, 1996).

Los datos aportados en el presente trabajo representan el estado cero, previo al dragado del Puerto de Maó y al vertido de los sedimentos portuarios en el punto de vertido. El seguimiento posterior a las obras, permitirán evaluar la influencia del vertido del material dragado, sobre las comunidades bentónicas, especialmente sobre las praderas de *P. oceanica* y las poblaciones de *P. nobilis*.



**ANEXO 4.1. Resultados del test de Tukey para los valores de densidad de haces de P. oceanica en las 7 estaciones de pradera somera: Mo1-10: La Mola 1; Mo2-10: La Mola 2; Po-10: Puerto de Maó; CE-10: Cala Sant Esteve; VB-10: Caló des Vi Blanc; AL-10: Alcaufar; IA-10: Isla del Aire. Sig=nivel de significación \* La diferencia de medias es significativa al nivel  $p < 0,05$**

(I) ESTACIÓN	(J) ESTACIÓN	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite superior	Límite inferior
Mo1-10	Mo2-10	-48,00000	61,95544	,984	-259,5522	163,5522
	CE-10	30,66667	61,95544	,999	-180,8855	242,2189
	VB-10	69,33333	61,95544	,912	-142,2189	280,8855
	AL-10	-82,66667	61,95544	,825	-294,2189	128,8855
	IA-10	1,33333	61,95544	1,000	-210,2189	212,8855
	Po-10	333,33333(*)	61,95544	<b>,001</b>	121,7811	544,8855
Mo2-10	Mo1-10	48,00000	61,95544	,984	-163,5522	259,5522
	CE-10	78,66667	61,95544	,855	-132,8855	290,2189
	VB-10	117,33333	61,95544	,514	-94,2189	328,8855
	AL-10	-34,66667	61,95544	,997	-246,2189	176,8855
	IA-10	49,33333	61,95544	,982	-162,2189	260,8855
	Po-10	381,33333(*)	61,95544	<b>,000</b>	169,7811	592,8855
CE-10	Mo1-10	-30,66667	61,95544	,999	-242,2189	180,8855
	Mo2-10	-78,66667	61,95544	,855	-290,2189	132,8855
	VB-10	38,66667	61,95544	,995	-172,8855	250,2189
	AL-10	-113,33333	61,95544	,551	-324,8855	98,2189
	IA-10	-29,33333	61,95544	,999	-240,8855	182,2189
	Po-10	302,66667(*)	61,95544	<b>,003</b>	91,1145	514,2189
VB-10	Mo1-10	-69,33333	61,95544	,912	-280,8855	142,2189
	Mo2-10	-117,33333	61,95544	,514	-328,8855	94,2189
	CE-10	-38,66667	61,95544	,995	-250,2189	172,8855
	AL-10	-152,00000	61,95544	,247	-363,5522	59,5522
	IA-10	-68,00000	61,95544	,919	-279,5522	143,5522
	Po-10	264,00000(*)	61,95544	<b>,011</b>	52,4478	475,5522
AL-10	Mo1-10	82,66667	61,95544	,825	-128,8855	294,2189
	Mo2-10	34,66667	61,95544	,997	-176,8855	246,2189
	CE-10	113,33333	61,95544	,551	-98,2189	324,8855
	VB-10	152,00000	61,95544	,247	-59,5522	363,5522
	IA-10	84,00000	61,95544	,815	-127,5522	295,5522
	Po-10	416,00000(*)	61,95544	<b>,000</b>	204,4478	627,5522
IA-10	Mo1-10	-1,33333	61,95544	1,000	-212,8855	210,2189
	Mo2-10	-49,33333	61,95544	,982	-260,8855	162,2189
	CE-10	29,33333	61,95544	,999	-182,2189	240,8855
	VB-10	68,00000	61,95544	,919	-143,5522	279,5522
	AL-10	-84,00000	61,95544	,815	-295,5522	127,5522
	Po-10	332,00000(*)	61,95544	<b>,002</b>	120,4478	543,5522
Po-10	Mo1-10	-333,33333(*)	61,95544	<b>,001</b>	-544,8855	-121,7811
	Mo2-10	-381,33333(*)	61,95544	<b>,000</b>	-592,8855	-169,7811
	CE-10	-302,66667(*)	61,95544	<b>,003</b>	-514,2189	-91,1145



(I) ESTACIÓN	(J) ESTACIÓN	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite superior	Límite inferior
	VB-10	-264,00000(*)	61,95544	<b>,011</b>	-475,5522	-52,4478
	AL-10	-416,00000(*)	61,95544	<b>,000</b>	-627,5522	-204,4478
	IA-10	-332,00000(*)	61,95544	<b>,002</b>	-543,5522	-120,4478



**ANEXO 4.2. Resultados del test de Tukey para los valores de desenterramiento de los rizomas de *P. oceanica* en las 6 estaciones de praderas someras: Mo2-10: La Mola 2; Po-10: Puerto de Maó; CE-10: Cala Sant Esteve; VB-10: Caló des Vi Blanc; AL-10: Alcaufar; IA-10: Isla del Aire. Sig=nivel de significación. \* La diferencia de medias es significativa al nivel  $p<0,05$**

(I) ESTACIÓN (J) ESTACIÓN	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
				Límite superior	Límite inferior	
Mo2-10	CE.10	-2,50417(*)	,83616	<b>,036</b>	-4,9098	-,0985
	VB-10	-,36681	,90174	,999	-2,9611	2,2275
	AL-10	-2,47114(*)	,79942	<b>,027</b>	-4,7711	-,1712
	IA-10	-4,10000(*)	,88240	<b>,000</b>	-6,6387	-1,5613
Po-10	Mo2-10	-,36964	,90901	,999	-2,9849	2,2456
	CE-10	2,50417(*)	,83616	<b>,036</b>	,0985	4,9098
	VB-10	2,13736	,78896	,078	-,1325	4,4072
	AL-10	,03303	,66962	1,000	-1,8935	1,9595
IA-10	Mo2-10	-1,59583	,76677	,301	-3,8018	,6102
	CE-10	2,13452	,79725	,084	-,1592	4,4282
	VB-10	,36681	,90174	,999	-2,2275	2,9611
	AL-10	-2,13736	,78896	,078	-4,4072	,1325
AL-10	Mo2-10	-2,10433	,74991	,061	-4,2618	,0532
	CE-10	-3,73319(*)	,83780	<b>,000</b>	-6,1435	-1,3228
	VB-10	-,00283	,86578	1,000	-2,4937	2,4880
	IA-10	2,47114(*)	,79942	<b>,027</b>	,1712	4,7711
Mo2-10	CE-10	-,03303	,66962	1,000	-1,9595	1,8935
	VB-10	2,10433	,74991	,061	-,0532	4,2618
	AL-10	-1,62886	,72653	,223	-3,7191	,4614
	Po-10	2,10149	,75863	,067	-,0811	4,2841
CE-10	Mo2-10	4,10000(*)	,88240	<b>,000</b>	1,5613	6,6387
	VB-10	1,59583	,76677	,301	-,6102	3,8018
	AL-10	3,73319(*)	,83780	<b>,000</b>	1,3228	6,1435
	IA-10	1,62886	,72653	,223	-,4614	3,7191
VB-10	Po-10	3,73036(*)	,84561	<b>,000</b>	1,2975	6,1632
	Mo2-10	,36964	,90901	,999	-2,2456	2,9849
	CE-10	-2,13452	,79725	,084	-4,4282	,1592
	AL-10	,00283	,86578	1,000	-2,4880	2,4937
AL-10	Mo2-10	-2,10149	,75863	,067	-4,2841	,0811
	CE-10	-3,73036(*)	,84561	<b>,000</b>	-6,1632	-1,2975



**ANEXO 4.3. Resultados del test de Tukey para los valores de desenterramiento de los rizomas de P. oceanica en las 4 estaciones de praderas profundas: Mo2-20: La Mola 2; VB-20: Caló des Vi Blanc; AL-20: Alcaufar; IA-20: Isla del Aire. F=varianza entre estaciones; gl=grados de libertad Sig=nivel de significación. \* La diferencia de medias es significativa al nivel  $p < 0,05$**

(I) ESTACIÓN (J) ESTACIÓN		Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite superior	Límite inferior
Mo2-20	VB-20	-1,38872	,60436	,105	-2,9651	,1877
	AL-20	3,89333(*)	,58238	,000	2,3743	5,4124
	IA-20	-,29920	,58738	,957	-1,8313	1,2329
VB-20	Mo2-20	1,38872	,60436	,105	-,1877	2,9651
	AL-20	5,28205(*)	,60436	,000	3,7056	6,8585
	IA-20	1,08952	,60918	,284	-,4995	2,6785
AL-20	Mo2-20	-3,89333(*)	,58238	,000	-5,4124	-2,3743
	VB-20	-5,28205(*)	,60436	,000	-6,8585	-3,7056
	IA-20	-4,19253(*)	,58738	,000	-5,7246	-2,6604
IA-20	Mo2-20	,29920	,58738	,957	-1,2329	1,8313
	VB-20	-1,08952	,60918	,284	-2,6785	,4995
	AL-20	4,19253(*)	,58738	,000	2,6604	5,7246



# BENTOS DE FONDOS CIRCALITORALES BLANDOS

---





## 5. BENTOS DE FONDOS CIRCALITORALES BLANDOS

### 5.1. OBJETIVOS

La caracterización del medio físico y biológico del punto de vertido del material extraído en el proyecto de dragado del Puerto de Maó, solicitada por la Autoridad Portuaria de Baleares (APB) al Instituto Español de Oceanografía (IEO), incluyó, entre otros aspectos, el cartografiado del mega-bentos en los fondos circalitorales de la plataforma sudeste de Menorca, desde la Punta de s'Esperó, en la península de La Mola, y el Cap de Llevant, en la isla del Aire, aproximadamente entre 50 y 75 m de profundidad. Se trataba de completar y ampliar la prospección de las comunidades bentónicas, realizada por el Centre Balear de Biologia Aplicada (CBBA, 2013) y basada principalmente en imágenes de video en un radio de 1000 m alrededor del punto de vertido (Figura 5.1), y la Eco-cartografía del Litoral de Menorca, hasta 50 m de profundidad, realizada por la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y el Mar, del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (Figura 5.2).

Para ello, del 24 al 31 Enero 2014 se llevó a cabo la campaña MAO1401\_BIOBentos a bordo del B/O *Francisco de Paula Navarro*, para estimar la abundancia, biomasa y biodiversidad de los organismos mega-bentónicos, así como la distribución de las principales especies. En esta parte del informe se detallan los trabajos realizados, los resultados obtenidos y su interpretación, en relación a este objetivo.

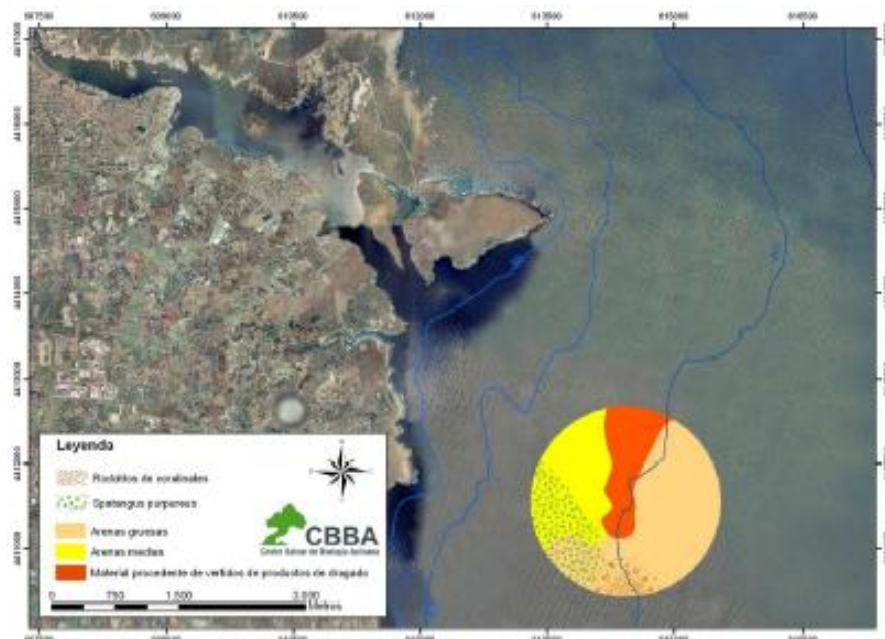


Figura 5.1. Cartografiado de los tipos de fondo y las comunidades bentónicas alrededor del punto de vertido, realizado por el Centre Balear de Biologia Aplicada (CBBA, 2013).

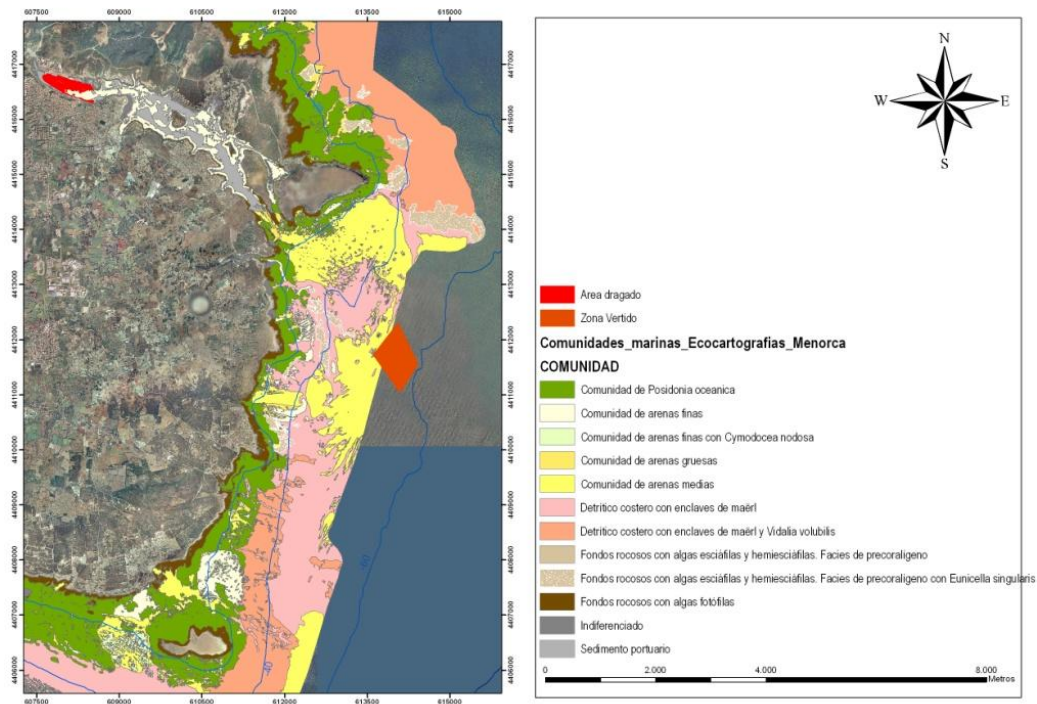


Figura 5.2. Eco-cartografía del litoral de Menorca entre La Mola y la isla del Aire, realizada por la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y el Mar, del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

## 5.2. METODOLOGÍA DE ESTUDIO Y MUESTREO

### Toma de muestras

Para la realización de la campaña MAO1401\_BIOBentos, se conformó un equipo compuesto por ocho científicos del Centro Oceanográfico de Baleares (IEO), el Institut de Ciències del Mar de Barcelona (Consejo Superior de Investigaciones Científicas), la Universitat de Girona y la empresa Centre Balear de Biologia Aplicada. Había especialistas en bentos y en la identificación y taxonomía de especies de algas, crustáceos decápodos y moluscos.

Se realizaron un total de 38 muestreos de macro-bentos con patín epi-bentónico, 3 de las cuales se consideraron nulos. Las características de estas estaciones se detallan en el Anexo 5.1. Las dimensiones del patín epi-bentónico son 0,8 m de abertura vertical y 1,3 m de abertura horizontal (ver fotografía adjunta), con un copo recolector de red de malla rómbica, de 10 mm de luz. Como muestreos adicionales, se realizaron seis estaciones con una draga van Veen, de 0,1 m<sup>2</sup> de capacidad, y se probó la utilización de la cámara submarina IPSE, sin buenos resultados, debido a la deriva excesiva del B/O con las condiciones meteorológicas adversas que se dieron durante toda la campaña.



La estrategia de muestreo con patín epi-bentónico estuvo basada en un muestro estratificado. Se diseñó una malla de muestreo considerando estratos batimétricos de 10 m, que constaba de 6 radiales perpendiculares a las isobatas, entre 50 y 80 m de profundidad. En cada radial se realizó un muestreo por estrato batimétrico, en puntos que a



priori no revistiesen peligro para el muestreador. Es decir, en fondos circalitorales blandos, según datos preliminares de la batimetría multi-haz, obtenidos durante la campaña previa MAO1401\_GEOBentos. Este muestreo se completó con estaciones destinadas a cubrir las áreas más extensas que quedaron entre radiales (siempre que el tipo de fondo no presentara problemas para el muestreo con patín epi-bentónico) y se intensificó el muestreo cerca del punto de vertido. El esfuerzo de muestreo fue mayor, cubriéndose un área más extensa, hacia el sur de la zona de vertido, debido a que las corrientes predominantes en la zona son de dirección norte a sur, con lo que se prevé que la dispersión de sedimentos del dragado sea también en esa misma dirección.

En todas las muestras realizadas con el patín epi-bentónico se utilizaron un sensor de profundidad y temperatura SCANMAR, y un sensor de profundidad y temperatura SBE-39, acoplado a la parte superior de la red del patín. El primero permitió el monitoreo, en tiempo real, del comportamiento del patín durante las maniobras de largado y virado, así como del tiempo de contacto con el fondo marino, mientras que el segundo permitió disponer de medidas más exactas de profundidad y temperatura, una vez terminado el muestreo. El equipo SCANTROL de que dispone el B/O se utilizó para controlar el largado de cable desde la maquinilla de pesca (aproximadamente 3 veces la profundidad de la estación). El tiempo de arrastre efectivo del patín sobre el fondo varió entre 2 y 3 minutos, a una velocidad de aproximadamente 2 nudos.

Una vez que la muestra del patín llegaba a bordo, era depositaba en cajas y se procedía a su triado y separado por especie o grupo taxonómico más bajo posible (ver fotografías adjuntas). Seguidamente se elaboró una lista faunística con el número de individuos y su peso (en algas sólo peso) de cada especie o taxón. En caso de que la muestra tuviera un contenido excesivo de arena o fango, que dificultase su triado, ésta se lavó utilizando cedazos de 8 y 2 mm. Se recogieron muestras de los ejemplares que no se pudieran



identificar a bordo, para su posterior identificación en el laboratorio y remisión a taxónomos expertos. Todos los datos obtenidos fueron informatizados a bordo en la base de datos OCEAN.



### Análisis de datos

A partir de la distancia recorrida por el patín epi-bentónico durante el transecto sobre el fondo (datos GPS) y sus dimensiones (1,3 m de ancho), se estimó el área muestreada en cada muestra. Esta área se utilizó para la estandarización de los datos de abundancia (individuos/500 m<sup>2</sup>) y biomasa (kg/500 m<sup>2</sup>) de las especies recogidas en cada muestra.

Se ha realizado un análisis de la distribución espacial de las principales especies y/o grupos taxonómicos más importantes, en relación a su abundancia, biomasa, contribución a la diversidad de los fondos prospectados y grado de protección. Se han elaborado mapas de contorno de la zona prospectada, utilizando la técnica de interpolación de la media ponderada por el inverso de la distancia (Davis, 1986), a partir de una potencia al cuadrado. Para ello se ha utilizado el programa SURFER 8.0.



### 5.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las 35 muestras de patín epi-bentónico (Figura 5.3) se recolectó 393 kg de biomasa mega-bentónica, perteneciente a un total de 238 especies o taxones de fauna y flora, y a 7156 individuos de especies o taxones de fauna. Las algas fueron el grupo más importante en cuanto a biomasa, seguidas por los equinodermos, mientras que en cuanto a número de especies los crustáceos fueron el grupo más importante (también en abundancia), seguido por los moluscos (Tabla 5.3). En la Tabla 5.2 se incluye el listado de las especies recolectadas en estas muestras, e identificadas hasta ahora, junto con su biomasa y abundancia total.

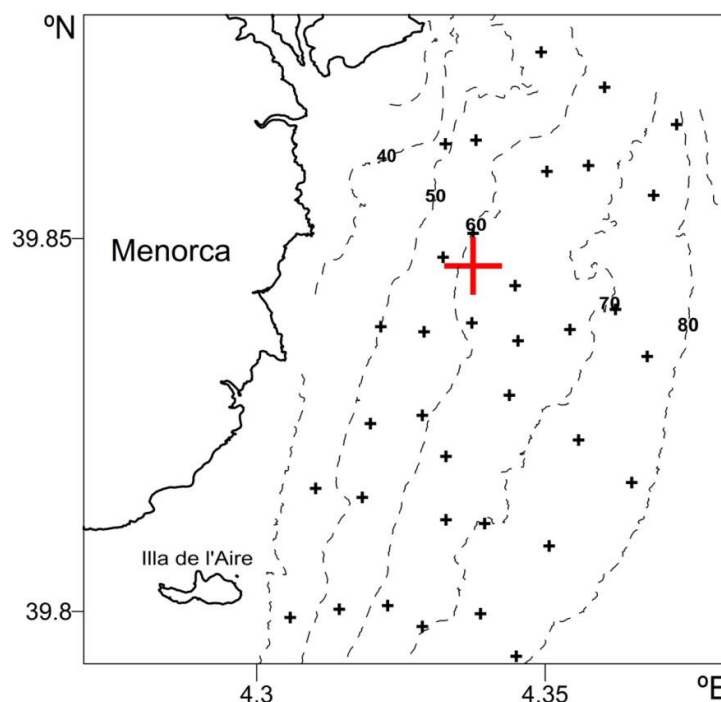


Figura 5.3. Mapa de la zona prospectada durante la campaña de investigación MAO1401\_BIOBentos, realizada por el IEO dentro del PVA del dragado del Puerto de Maó, en el que se muestran las estaciones de muestreo con patín epi-bentónico. La cruz roja indica el punto previsto para el vertido de materiales de dragado.

Es previsible que los valores de riqueza específica del mega-bentos en el punto de vertido y área adyacente se incrementen en el futuro, a medida que los diversos especialistas en determinados grupos taxonómicos, a quienes se les ha mandado las muestras recolectadas durante la campaña MAO1401\_BIOBentos, vayan identificándolas. No obstante, los valores estimados hasta ahora (238 especies o taxones de fauna y flora) son inferiores a los de otras áreas prospectadas en las islas Baleares, con la misma metodología que la aplicada en este estudio y rangos batimétricos similares, como el Canal de Menorca (520 especies recolectadas con patín epi-bentónico;



Barberá *et al.*, 2012) y la plataforma sur de Mallorca (443 especies recolectadas con patín epi-bentónico; M. Ramón; comunicación personal).

Tabla 5.1. Resumen de las capturas totales en biomasa (BT) y abundancia (AT) de los muestreos con patín epi-bentónico durante la campaña de investigación MAO1401\_BIOBentos, realizada por el IEO dentro del PVA del dragado del Puerto de Maó. Se indica el porcentaje respecto del total de la biomasa de cada grupo taxonómico, así como los porcentajes de biomasa y abundancia referidos sólo a fauna (BF y AF, respectivamente), y la riqueza específica (S).

Grupo	BT (kg)	AT (n)	% BT	% BF	% AF	S
Algas	331,0	--	84,2	--	--	36*
Briozoos	4,2	2	1,1	6,8	0,0	6*
Esponjas	1,7	14	0,4	2,7	0,2	2*
Cnidarios	1,2	210	0,3	2,0	2,9	9*
Anélidos	0,9	1349	0,2	1,5	18,9	7
Picnogónidos	0,00001	1	<0,0001	<0,0001	<0,0001	1
Crustáceos	1,9	3449	0,5	3,0	48,2	59
Moluscos	1,4	1101	0,4	2,3	15,4	52*
Equinodermos	43,3	571	11,0	69,5	8,0	20
Ascidias	4,8	344	1,2	7,7	4,8	19
Osteíctios	2,8	115	0,7	4,5	1,6	26

(\*): Grupos con especies aún por determinar en laboratorio.

Tabla 5.2. Lista de especies, por grupo taxonómico, con su valor total de biomasa (kg) y abundancia (n) para las 35 muestras válidas recolectadas con patín epi-bentónico durante la campaña de investigación MAO14021\_BIOBentos, realizada por el IEO dentro del PVA del dragado del Puerto de Maó.

Grupo taxonómico	kg	n
<b>ALGAS</b>		
<i>Botryocladia madagascariensis</i>	0,00200	--
<i>Laurencia chondrioides</i>	0,00020	--
<i>Microdyction tenuius</i>	0,00065	--
<i>Zanardinia typus</i>	0,08500	--
<i>Halimeda tuna</i>	0,00300	--
<i>Umbraulva olivascens</i>	0,00015	--
<i>Cystoseira spinosa compressa</i>	0,02200	--
<i>Kallymenia spp.</i>	0,00050	--





Grupo taxonómico	kg	n
<i>Halopithys incurva</i>	0,38550	--
<i>Polysiphonia nigra</i>	0,00631	--
<i>Cryptonemia tuniformis</i>	0,02400	--
<i>Gracilaria corallicola</i>	0,03260	--
<i>Phyllophora heredia</i>	0,00300	--
<i>Lithothamnion valens</i>	2,78100	--
<i>Acrothamnion preissii</i>	0,09300	--
<i>Caulerpa racemosa</i>	3,31580	--
<i>Gloiocladia microspora</i>	0,00050	--
<i>Sphaerococcus coronopifolius</i>	0,00020	--
<i>Rytiphlaea tinctoria</i>	0,01750	--
<i>Lithothamnion corallioides</i>	44,95800	--
<i>Phymatolithon calcareum</i>	118,43600	--
<i>Halopteris filicina</i>	0,02900	--
<i>Palmophyllum crassum</i>	0,00310	--
<i>Gracilaria</i> spp.	0,00030	--
<i>Valonia macrophysa</i>	0,02260	--
<i>Osmundaria volubilis</i>	0,05050	--
<i>Phyllophora crispa</i>	0,07300	--
<i>Peyssonnelia</i> spp.	0,20250	--
<i>Peyssonnelia rosa-marina</i>	1,20100	--
<i>Cymodocea nodosa</i>	0,00100	--
<i>Flabellia petiolata</i>	0,18550	--
<i>Spongites fruticulosus</i>	158,83500	--
<i>Codium bursa</i>	0,00200	--
<i>Anadyomena stellata</i>	0,00010	--
<i>Bela zonata</i>	0,00055	--
<i>Lithophyllum stictiaeformis</i>	0,20000	--
<b>BRIOZOOS</b>		
<i>Beania cylindrica</i>	2,94109	--
Bryozoa	0,98806	--
<i>Hornera</i> spp.	0,02579	--
<i>Myriapora truncata</i>	0,19600	--
<i>Pentapora fascialis</i>	0,06209	--
<i>Reteporella</i> spp.	0,03650	--
<b>ESPONJAS</b>		
Porifera	1,63991	--
<i>Suberites domuncula</i>	0,02000	1



Grupo taxonómico	kg	n
<b>CNIDARIOS</b>		
Actiniidae	0,01401	5
<i>Adamsia carciniopados</i>	0,10564	54
<i>Adamsia</i> spp.	0,00945	4
<i>Calliactis parasitica</i>	0,21690	28
<i>Caryophyllia</i> spp.	0,00266	3
<i>Eunicella</i> spp.	0,04300	1
Hydrozoa	0,38914	86
<i>Pelagia noctiluca</i>	0,44183	28
Pennatulidae	0,00065	1
<b>ANÉLIDOS</b>		
<i>Aphrodita aculeata</i>	0,12475	104
<i>Ditrupa arietrina</i>	0,20604	416
<i>Filograna implexa</i>	0,22408	--
<i>Hyalinoecia tubicola</i>	0,19681	464
<i>Laetmonice hystrix</i>	0,00200	2
<i>Lanice conchilega</i>	0,12211	285
Polychaeta	0,06970	78
Pycnogonida	0,00001	1
<b>CRUSTÁCEOS</b>		
<i>Achaeus cranchii</i>	0,00318	26
<i>Alpheus dentipes</i>	0,00018	1
<i>Alpheus macrocheles</i>	0,00085	3
<i>Anapagurus laevis</i>	0,01463	162
<i>Atelecyclus rotundatus</i>	0,00509	4
<i>Calappa granulata</i>	0,00120	3
<i>Calcinus tubularis</i>	0,00155	8
Caprellidae	0,00001	1
<i>Cestopagurus timidus</i>	0,00258	18
<i>Dardanus arrosor</i>	0,17784	129
<i>Dardanus calidus</i>	0,00057	2
<i>Dromia personata</i>	0,00475	1
<i>Ebalia deshayesi</i>	0,01078	86
<i>Ebalia tuberosa</i>	0,06206	199
<i>Ethusa mascarone</i>	0,00016	1
<i>Eurynome aspera</i>	0,02483	90
<i>Galathea dispersa</i>	0,00135	4
<i>Galathea intermedia</i>	0,00015	7



Grupo taxonómico	kg	n
<i>Galathea nexa</i>	0,00029	2
<i>Galathea strigosa</i>	0,00008	1
Gammaridea	0,00005	1
<i>Heterocrypta maltzani</i>	0,00011	7
<i>Inachus communissimus</i>	0,00995	7
<i>Inachus dorsettensis</i>	0,24867	906
<i>Inachus thoracicus</i>	0,26412	427
<i>Liocarcinus corrugatus</i>	0,00119	5
<i>Liocarcinus depurator</i>	0,00721	1
<i>Liocarcinus maculatus</i>	0,00266	22
<i>Liocarcinus zariquieyi</i>	0,00237	16
<i>Lophogaster typicus</i>	0,00095	8
<i>Lophozozymus incisus</i>	0,00039	2
<i>Macropodia linaresi</i>	0,01695	109
<i>Macropodia rostrata</i>	0,04287	247
<i>Maja crispata</i>	0,00606	3
<i>Munida rugosa</i>	0,00018	1
<i>Paguristes eremita</i>	0,00273	9
<i>Pagurus anachoretus</i>	0,00419	41
<i>Pagurus cuanensis</i>	0,00181	4
<i>Pagurus forbesii</i>	0,01824	62
<i>Pagurus prideaux</i>	0,75430	294
<i>Palicus caronii</i>	0,00317	6
<i>Pandalina brevisrostris</i>	0,01224	137
<i>Parthenopoides massena</i>	0,05641	182
<i>Periclimes scriptus</i>	0,00209	18
<i>Philocheras sculptus</i>	0,00181	23
<i>Pilumnus spinifer</i>	0,00139	4
<i>Pisa armata</i>	0,04475	26
<i>Pisa mucosa</i>	0,00102	2
<i>Pisa nodipes</i>	0,00349	7
<i>Pontocaris cataphracta</i>	0,00159	6
<i>Processa elegantula</i>	0,00041	3
<i>Processa macrophthalma</i>	0,01083	53
<i>Processa</i> spp.	0,00024	2
<i>Scyllarus pygmaeus</i>	0,01584	19
<i>Scyllarus</i> spp.	0,00017	2
<i>Thia scutellata</i>	0,00334	6



Grupo taxonómico	kg	n
<i>Xantho pilipes</i>	0,00198	21
Amphipoda	0,00016	10
Isopoda	0,00071	2
<b>MOLUSCOS</b>		
<i>Acanthocardia aculeata</i>	0,00025	1
<i>Acanthochitona crinita</i>	0,00560	12
<i>Antalis dentalis</i>	0,00010	1
<i>Antalis</i> spp.	0,00166	7
<i>Aporrhais pespelicani</i>	0,00247	1
Arcidae	0,00234	4
<i>Bela zonata</i>	0,00055	3
Bivalvia	0,01916	63
<i>Calliostoma granulatum</i>	0,00375	1
<i>Calliostoma</i> spp.	0,00212	5
<i>Calliostoma zizyphinum</i>	0,00034	1
<i>Calyptrea chinensis</i>	0,00868	34
<i>Chlamys glabra</i>	0,00253	2
<i>Clausinella fasciata</i>	0,44732	212
<i>Corbula gibba</i>	0,00346	8
<i>Crassopleura maravignae</i>	0,00021	1
<i>Dosinia</i> spp.	0,00012	1
<i>Eledone moschata</i>	0,10100	2
<i>Fusinus pulchelus</i>	0,01299	25
<i>Fusinus rostratus</i>	0,00134	1
<i>Fusinus</i> spp.	0,00808	13
<i>Gari costulata</i>	0,00496	26
<i>Gibbula magus</i>	0,00896	14
Glycymerididae	0,00086	4
<i>Gouldia minima</i>	0,01273	46
<i>Gouldia</i> spp.	0,00038	4
<i>Hiatella arctica</i>	0,00021	2
<i>Laevicardium crassum</i>	0,04134	47
<i>Lima lima</i>	0,00011	1
<i>Mimachlamys varia</i>	0,00065	3
Naticidae	0,00130	9
<i>Neopycnodonte cochlear</i>	0,05475	8
<i>Octopus vulgaris</i>	0,43900	2
<i>Opisthobranchia</i>	0,02167	10



Grupo taxonómico	kg	n
<i>Palliolum</i> spp.	0,00049	4
<i>Parvicardium</i> spp.	0,00027	1
<i>Pitar rudis</i>	0,00020	1
Polyplacophora	0,00070	3
<i>Scaphander lignarius</i>	0,00300	1
<i>Sepia elegans</i>	0,02010	5
<i>Sepia officinalis</i>	0,00100	1
<i>Sepietta oweniana</i>	0,00088	2
Sepiolidae	0,00269	4
<i>Spisula subtruncata</i>	0,00146	2
Tellinidae	0,00098	1
<i>Timoclea ovata</i>	0,06331	396
<i>Trivia arctica</i>	0,00128	4
<i>Trophon muricatus</i>	0,00019	1
<i>Turritella turbona</i>	0,09356	68
Velutinidae	0,00300	1
<i>Venus casina</i>	0,02043	29
<i>Venus verrucosa</i>	0,00833	3
<b>EQUINODERMOS</b>		
<i>Anseropoda placenta</i>	0,02265	13
<i>Antedon mediterranea</i>	0,01004	21
<i>Astropecten aranciacus</i>	2,50000	9
<i>Astropecten irregularis</i>	0,01454	2
<i>Echinaster sepositus</i>	0,64590	41
<i>Hacelia attenuata</i>	0,08800	2
<i>Holothuria tubulosa</i>	1,25600	7
<i>Luidia ciliaris</i>	0,08600	6
<i>Luidia sarsi</i>	0,05400	4
<i>Ophioderma longicauda</i>	0,00011	1
<i>Ophiomyxa pentagona</i>	0,01510	4
<i>Ophiopsila aranea</i>	0,03697	40
<i>Ophiura albida</i>	0,00880	89
<i>Ophiura grubei</i>	0,00122	12
<i>Ophiura ophiura</i>	0,54726	101
<i>Ophiura</i> spp.	0,00234	10
Ophiuridae	0,00286	14
<i>Parastichopus regalis</i>	0,80800	5
<i>Psammechinus microtuberculatus</i>	0,01833	33



Grupo taxonómico	kg	n
<i>Spatangus purpureus</i>	37,01600	166
<i>Sphaerechinus granularis</i>	0,17900	1
<b>ASCIDIAS</b>		
<i>Aplidium conicum</i>	0,19100	1
<i>Aplidium elegans</i>	0,07500	4
<i>Aplidium nordmanni</i>	0,06311	43
<i>Ascidia mentula</i>	0,45860	15
<i>Ascidia virginea</i>	0,00940	2
<i>Botryllus schlosseri</i>	0,27400	1
<i>Ciona intestinalis</i>	0,02400	1
<i>Ciona</i> spp.	0,00402	4
<i>Cystodytes dellechiaiei</i>	0,00180	2
<i>Diazona violacea</i>	0,80100	1
<i>Halocynthia papillosa</i>	0,02400	4
<i>Microcosmus vulgaris</i>	0,01500	1
<i>Molgula appendiculata</i>	1,41184	190
<i>Phallusia mammillata</i>	0,66500	2
<i>Polycarpa mamillaris</i>	0,60720	46
<i>Pseudodistoma cyrnusense</i>	0,01400	1
<i>Pyura microcosmus</i>	0,05037	13
<i>Pyura</i> spp.	0,00100	1
<i>Synoicum blochmanni</i>	0,11120	12
<b>OSTEICTIOS</b>		
<i>Arnoglossus thori</i>	0,00545	5
<i>Blennius ocellaris</i>	0,03700	1
<i>Bothus podas</i>	0,26100	7
<i>Buenia jeffreysii</i>	0,00777	21
<i>Callionymus reticulatus</i>	0,00396	2
<i>Carapus acus</i>	0,02024	4
<i>Coris julis</i>	0,01000	1
<i>Deltentosteus collonianus</i>	0,02820	8
<i>Diplecogaster bimaculata bimaculata</i>	0,00197	6
Gobiesocidae	0,00028	1
Gobiidae	0,00086	2
<i>Gobius roulei</i>	0,01548	10
<i>Gymnammodytes cicereus</i>	0,00250	2
<i>Lophius piscatorius</i>	0,78600	2
<i>Microchirus variegatus</i>	0,00200	1



Grupo taxonómico	kg	n
<i>Odondebuenia balearica</i>	0,00062	1
<i>Scorpaena notata</i>	0,12352	7
<i>Scorpaena scrofa</i>	0,26100	1
<i>Serranus cabrilla</i>	0,17502	6
<i>Serranus hepatus</i>	0,00200	1
<i>Speleogobius trigloides</i>	0,00020	1
<i>Symphodus mediterraneus</i>	0,00090	1
<i>Synodus saurus</i>	0,50400	6
<i>Trachinus draco</i>	0,37300	6
<i>Trachinus radiatus</i>	0,04000	1
<i>Trigloporus lastoviza</i>	0,13010	8

Las algas rojas calcáreas de la familia Corallinaceae (ver fotografía adjunta) representaron más del 95% de la biomasa total recolectada de algas. Dentro de esta familia predominaron las siguientes tres especies, que representaron entre el 90 y 100% de la biomasa de este grupo de algas: *Lithothamnion corallioides* y *Phymatolithon calcareum*, incluidas en el Anexo V de la Directiva Hábitat (especies de interés comunitario cuya captura en la naturaleza y explotación pueden verse sometidas a medidas de gestión), y *Spongites fruticulosus*. Atendiendo a los resultados de los rendimientos, el análisis de distribución espacial se centró en las algas, como grupo más importante en cuanto a biomasa, y crustáceos, como grupo más importante en cuanto a riqueza específica y abundancia.

El análisis de las algas incluyó el mapeado de la riqueza específica total (Figura 5.4), así como la biomasa de algas rojas calcáreas (Corallinaceae; Figura 5.3), que representaron casi el total de la biomasa de algas, y la biomasa de las tres principales especies de este grupo (Figuras 5.6 a 5.8). Los puntos de mayor riqueza específica de algas se localizan en la zona este y sureste, mientras que los valores mínimos aparecen en la zona central-oeste, al sur del punto vertido de los materiales de dragado, que muestra valores medios de riqueza específica de algas (Figura 5.4). En general, la biomasa de algas, para todo el grupo Corallinaceae y sus tres principales especies por separado, presenta valores máximos al sur-suroeste de la zona prospectada, mientras que la zona de vertido presenta los valores mínimos (Figuras 5.5 a 5.9). Las densidades de algas coralináceas estimadas en el sudeste de Menorca, con valores máximos (38 kg/500 m<sup>2</sup>), son inferiores a las del Canal de Menorca y plataforma sur de Mallorca, con valores entre 70 y 130 kg/500 m<sup>2</sup>.

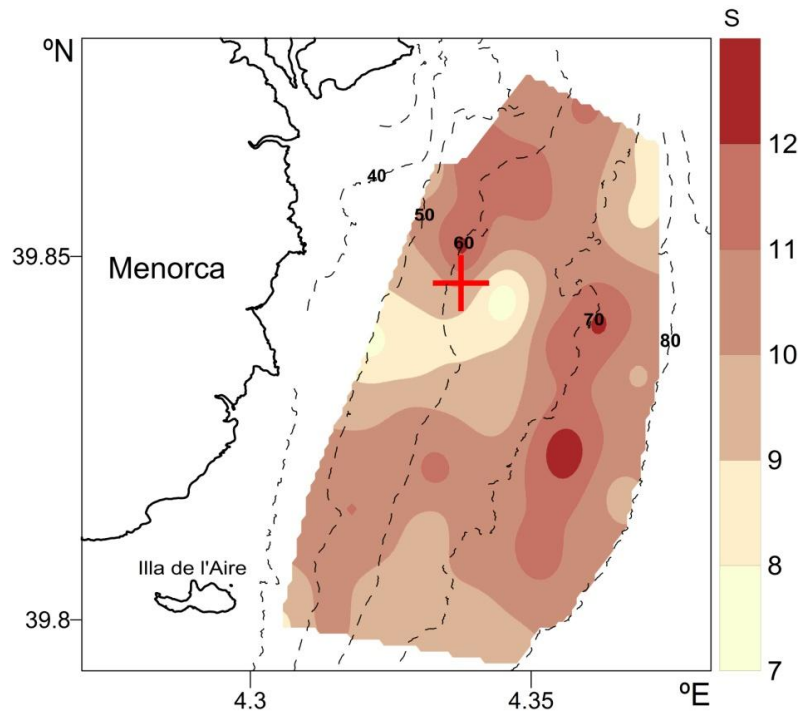


Figura 5.4. Mapa de contorno representando los resultados de la interpolación para la riqueza específica (S) de algas, estimado a partir de los muestreos con patín epi-bentónico durante la campaña. La cruz roja indica el punto previsto para el vertido de materiales de dragado.

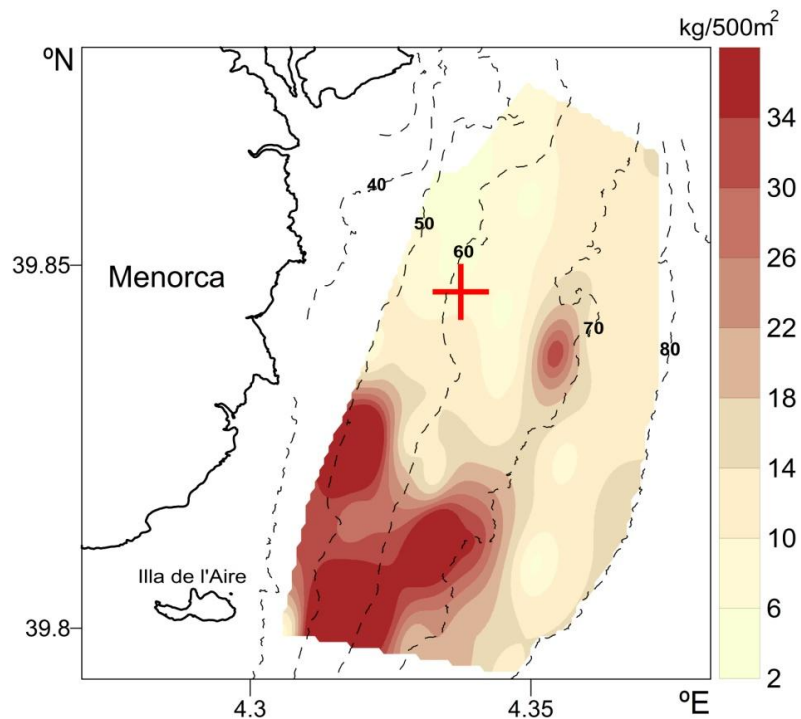


Figura 5.5. Mapa de contorno representando los resultados de la interpolación para la biomasa estandarizada ( $\text{kg}/500\text{m}^2$ ) del total de algas de la familia Corallinaceae, estimado a partir de los muestreos con patín epi-bentónico durante la campaña. La cruz roja indica el punto previsto para el vertido de materiales de dragado.



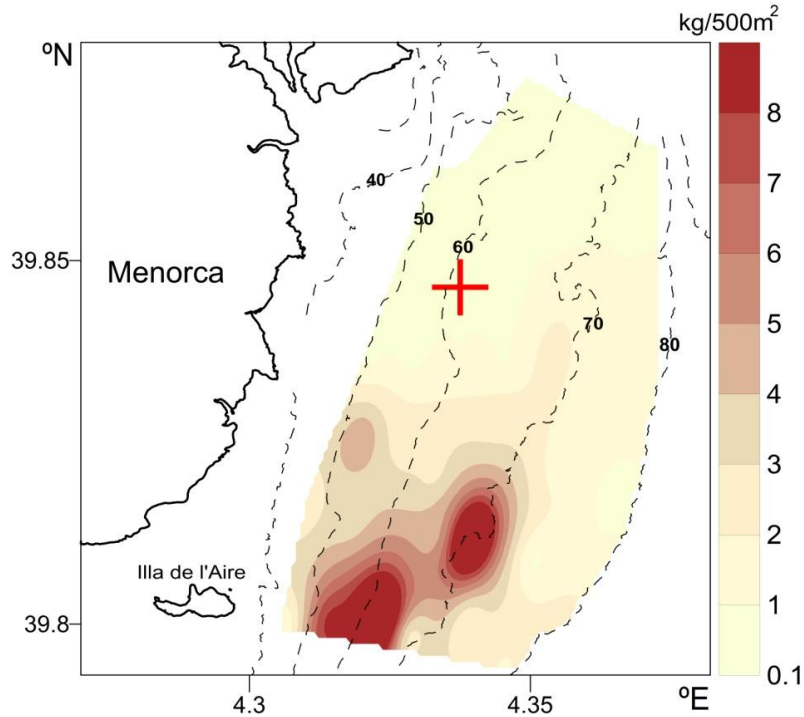


Figura 5.6. Mapa de contorno representando los resultados de la interpolación para la biomasa estandarizada ( $\text{kg}/500\text{m}^2$ ) del alga Coralinacea *L. corallioides*, estimado a partir de los muestreos con patín epi-bentónico durante la campaña. La cruz roja indica el punto previsto para el vertido de materiales de dragado.

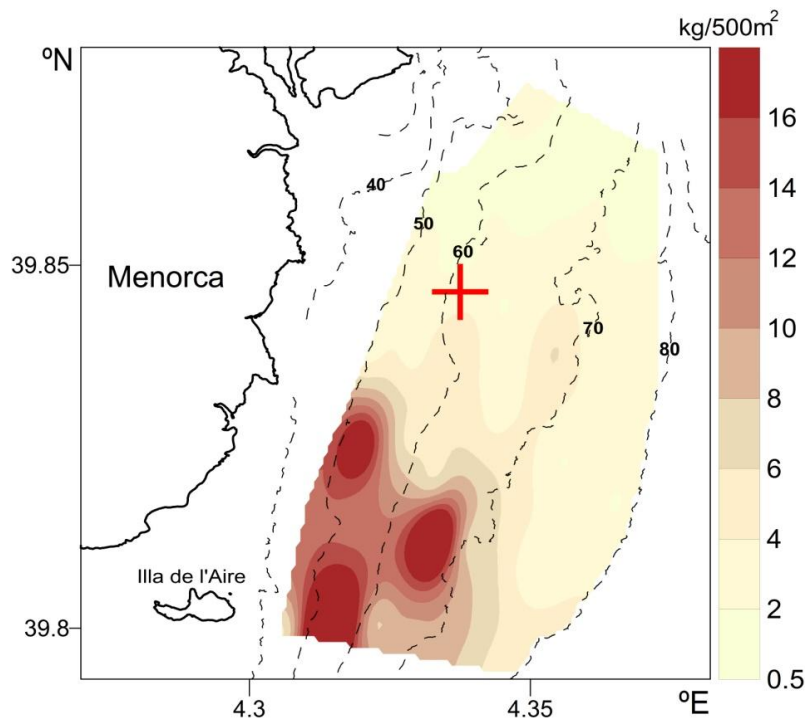


Figura 5.7. Mapa de contorno representando los resultados de la interpolación para la biomasa estandarizada ( $\text{kg}/500\text{m}^2$ ) del alga Coralinacea *P. calcareum*, estimado a partir de los muestreos con patín epi-bentónico durante la campaña. La cruz roja indica el punto previsto para el vertido de materiales de dragado.

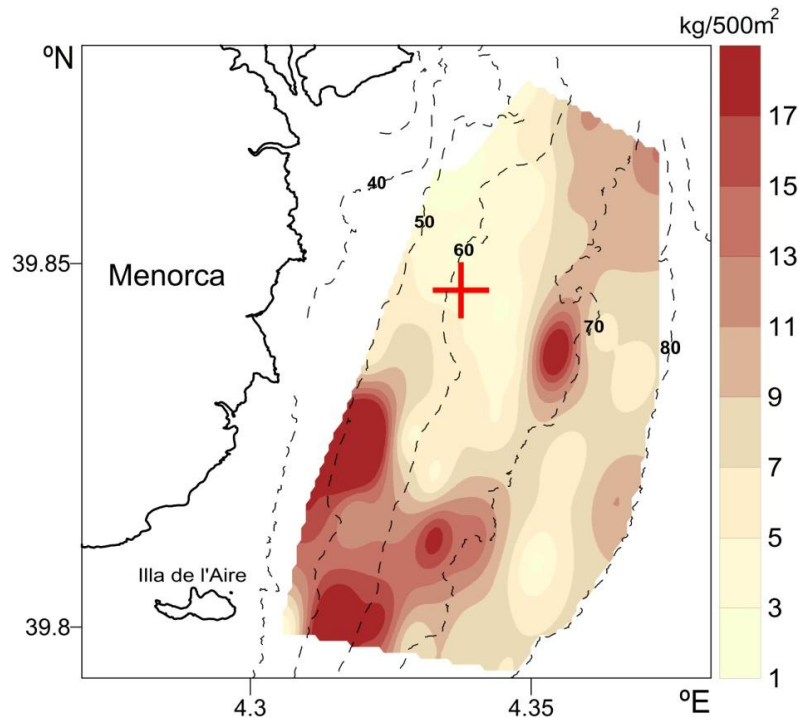


Figura 5.8. Mapa de contorno representando los resultados de la interpolación para la biomasa estandarizada (kg/500 m<sup>2</sup>) del alga *Corallinacea S. fruticulosus*, estimado a partir de los muestreos con patín epi-bentónico durante la campaña. La cruz roja indica el punto previsto para el vertido de materiales de dragado.

Las coralináceas, algas calcáreas de vida libre y crecimiento lento, conforman una comunidad conocida por el término bretón “maërl”, cuya estructura tridimensional sirve de sustrato y refugio a un gran número de especies de flora y fauna marina (Donnan y Moore, 2003a, 2003b). Junto con el coralígeno, los fondos de maërl son hábitats que forman parte de las biocenosis del detrítico costero de plataforma, interconectando a nivel ecológico las zonas litorales con las profundas. Son muy abundantes en los fondos de las islas Baleares. Estos fondos, de gran riqueza ecológica y muy vulnerables a los impactos antrópicos, han sido catalogados como uno de los hábitats sensibles del Mediterráneo (Ardizzone, 2006), junto con las praderas litorales de fanerógamas, entre otros. Los fondos de maërl han sido considerados como hábitats protegidos por el Reglamento Europeo CE nº 1967/2006 del Consejo, de 21 Diciembre 2006, relativo a las medidas de gestión para la explotación sostenible de los recursos pesqueros en el Mar Mediterráneo y por la Orden APA/79/2006, de 19 Enero 2006, por la que se establece un plan integral de gestión para la conservación de los recursos pesqueros en el Mediterráneo. En cualquier caso, las densidades máximas de las tres especies que conforman los fondos de maërl (*L. corallioides*, *P. calcareum* y *S. fruticulosus*) se estimaron al sur-suroeste de la zona prospectada, mientras que la zona de vertido presentó los valores mínimos.

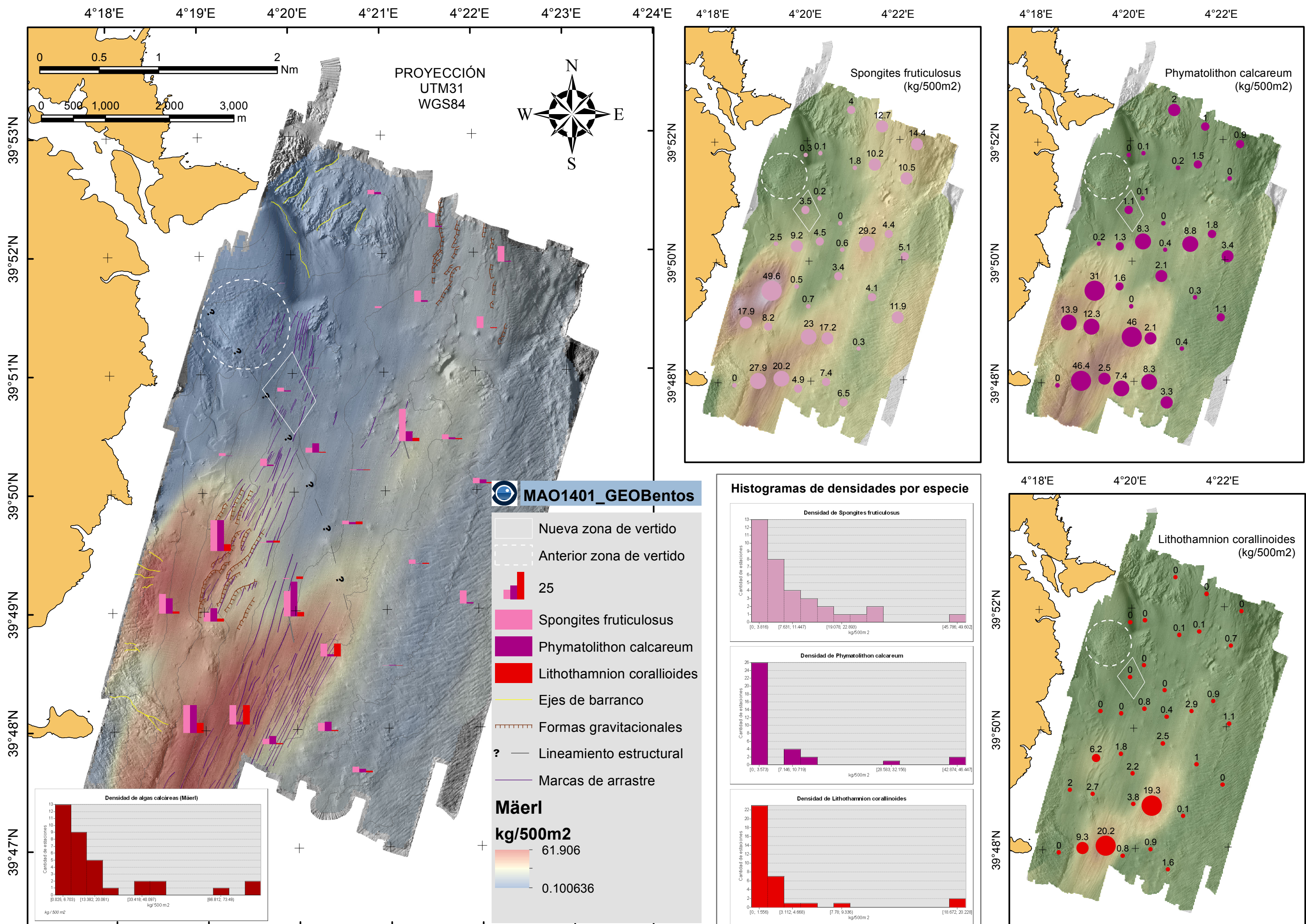


Figura 5.9



Es de destacar también la baja presencia y poca abundancia (casi inexistentes) de algas rojas blandas (p.ej. *Peyssonnelia* spp., *Osmundaria volubilis* y *Phyllophora crispa*). Estas especies forman unos fondos que, por su riqueza ecológica e importancia para el desarrollo de especies explotadas por la pesca, han sido identificadas como hábitats bentónicos de especial interés en la plataforma continental de las islas Baleares (*Essential Fish Habitats*; Ordines y Massutí, 2009), donde pueden llegar a alcanzar densidades muy elevadas (p.ej. hasta 1000 kg/500 m<sup>2</sup> en la plataforma sur de Mallorca). Estos fondos de algas rojas blandas predominan en áreas de corrientes débiles, a sotavento de las Islas (Ordines *et al.*, 2011).

En cuanto a los crustáceos, se analizó su riqueza específica (Figura 5.10), y abundancia y biomasa totales (Figuras 5.11 y 5.12, respectivamente). Su mayor riqueza específica se localizó en la zona este, mientras que los valores mínimos se encontraron en la zona noroeste, al norte del punto de vertido, que se sitúa en un área de valores medios. Cabe destacar la coincidencia de las zonas con los valores más altos tanto de biomasa como de abundancia y diversidad de algas coralínáceas y crustáceos.

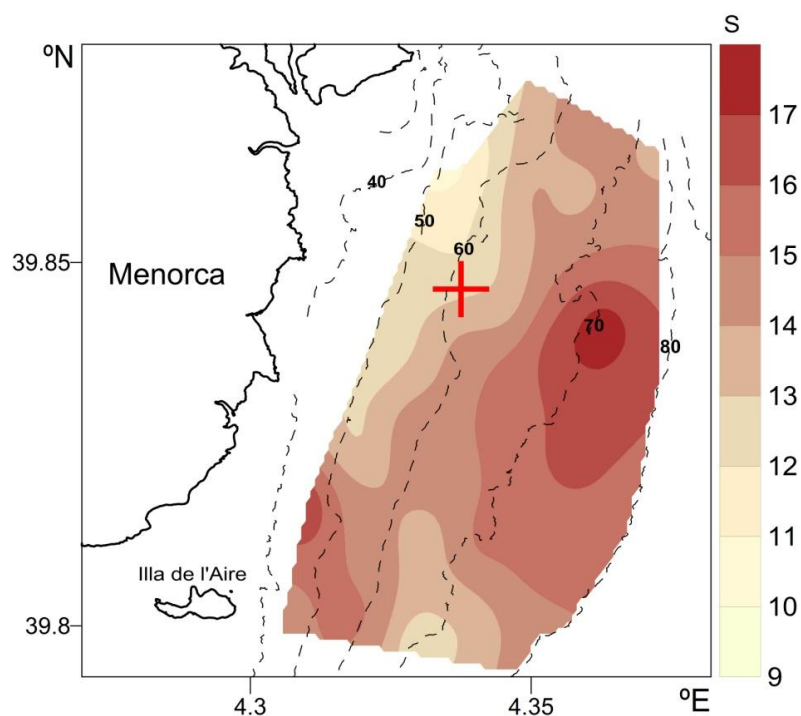


Figura 5.10. Mapa de contorno representando los resultados de la interpolación para la riqueza específica (S) de crustáceos, estimado a partir de los muestreos con patín epi-bentónico durante la campaña. La cruz roja indica el punto previsto para el vertido de materiales de dragado.

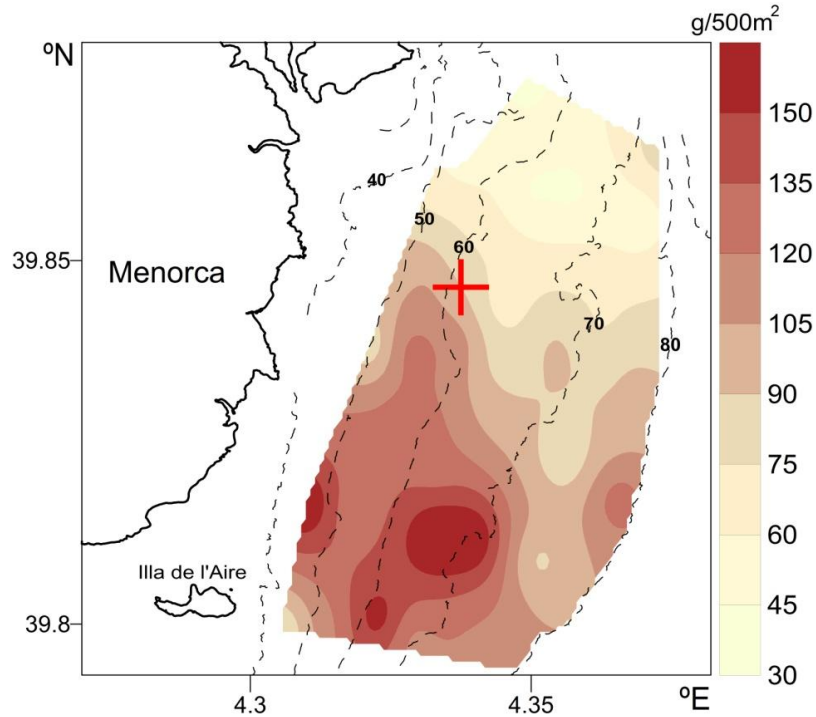


Figura 5.11. Mapa de contorno representando los resultados de la interpolación para la biomasa estandarizada ( $\text{kg}/500\text{m}^2$ ) de crustáceos, estimado a partir de los muestreos con patín epi-bentónico durante la campaña. La cruz roja indica el punto previsto para el vertido de materiales de dragado.

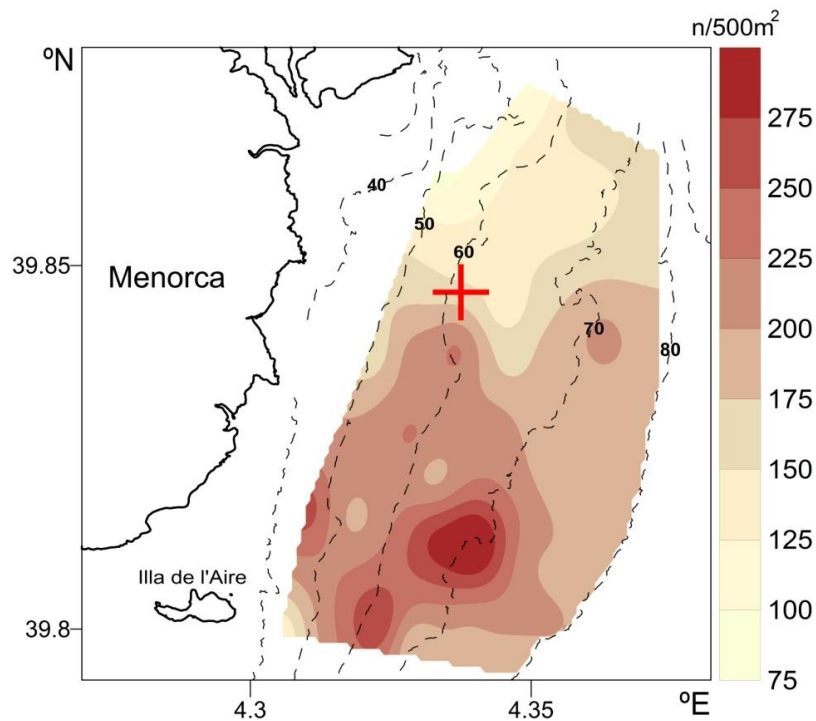


Figura 5.12. Mapa de contorno representando los resultados de la interpolación para la abundancia estandarizada ( $\text{individuos}/500\text{m}^2$ ) de crustáceos, estimado a partir de los muestreos con patín epi-bentónico durante la campaña. La cruz roja indica el punto previsto para el vertido de materiales de dragado.



Señalar, por último, que el punto de vertido del material extraído en el proyecto de dragado del Puerto de Maó presenta una diversidad y densidad de organismos megabentónicos menor a la de sus áreas adyacentes, con valores de biomasa bajos para las especies formadoras de fondos de maërl, hábitat protegido y de especial interés que se localiza en los fondos circalitorales blandos de las islas Baleares. En general, el bentos de la plataforma continental prospectada al sudeste de Menorca muestra una menor biomasa y diversidad, tanto por lo que se refiere a especies como a hábitats, que otras áreas del archipiélago.



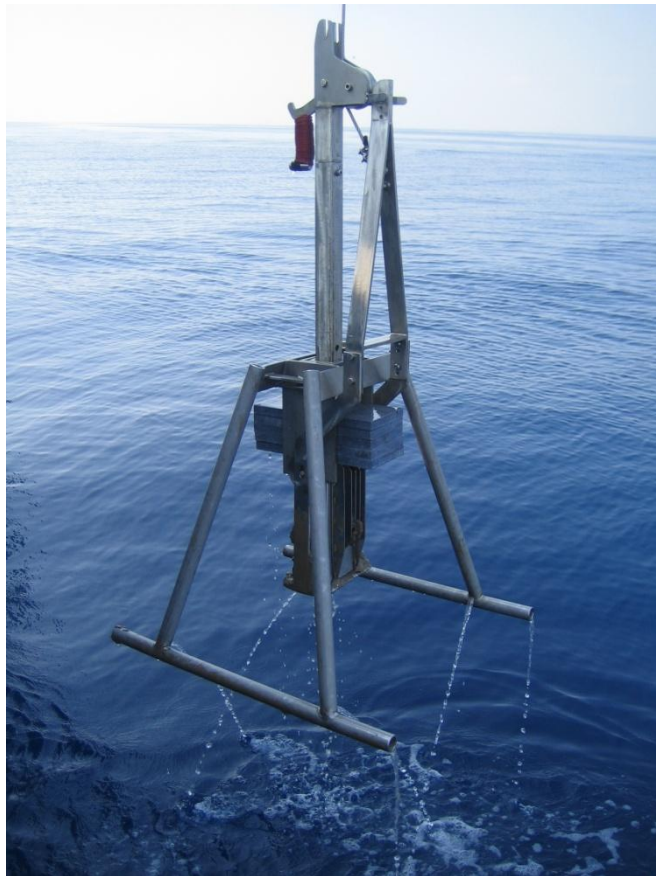
**ANEXO 5.1. Características de los muestreos con patín epi-bentónico durante la campaña de investigación MAO1401\_BIOBentos, realizada por el IEO dentro del PVA del dragado del Puerto de Maó**

Muestra	Validez	Fecha	Latitud (N)	Longitud (E)	Profundidad (m)
1	S	24/01/14	39,8703	4,3603	60
2	N	24/01/14	39,8597	4,3503	63
3	S	24/01/14	39,8590	4,3503	62
4	S	24/01/14	39,8437	4,3448	64
5	S	24/01/14	39,8363	4,3453	65
6	S	24/01/14	39,8290	4,3438	64
7	S	24/01/14	39,8088	4,3507	72
8	S	24/01/14	39,7997	4,3388	72
9	S	24/01/14	39,7940	4,3450	75
10	S	24/01/14	39,7980	4,3287	67
11	S	24/01/14	39,8123	4,3328	64
12	S	25/01/14	39,8653	4,3728	74
13	S	25/01/14	39,8252	4,3197	52
14	S	25/01/14	39,8375	4,3290	55
15	S	25/01/14	39,8382	4,3215	48
16	S	25/01/14	39,8475	4,3323	56
17	S	26/01/14	39,8558	4,3688	71
18	S	26/01/14	39,8405	4,3622	70
19	S	26/01/14	39,8230	4,3558	71
20	S	26/01/14	39,8208	4,3328	62
21	S	26/01/14	39,8153	4,3183	50
22	N	27/01/14	39,8008	4,3145	52
23	S	27/01/14	39,8003	4,3143	51
24	S	27/01/14	39,8008	4,3227	61
25	S	27/01/14	39,8387	4,3373	62
26	S	27/01/14	39,8507	4,3375	58
27	S	27/01/14	39,8632	4,3380	56
28	S	28/01/14	39,8342	4,3677	74
29	S	28/01/14	39,8118	4,3395	70
30	S	28/01/14	39,8263	4,3287	58
31	S	29/01/14	39,8378	4,3543	67
32	S	29/01/14	39,8173	4,3650	78
33	S	29/01/14	39,8598	4,3575	66
34	N	30/01/14	39,8193	4,3113	46
35	S	30/01/14	39,8165	4,3102	45
36	S	30/01/14	39,8627	4,3327	45
37	S	30/01/14	39,8750	4,3493	54
38	S	30/01/14	39,7992	4,3058	41



# CONTAMINANTES

---







## 6. CONTAMINANTES

### 6.1. OBJETIVOS

Las obras de adecuación del calado del Puerto de Maó llevan asociado un Plan de Vigilancia Ambiental (PVA) relativo a las actuaciones que implican el dragado del material sedimentario de dicho Puerto y su vertido posterior en mar abierto, a más de una milla de la costa, sobre una cota de profundidad de 52 m. La caracterización previa del sedimento a dragar ha puesto de manifiesto la existencia de altos niveles de metales pesados. Por ello, es necesaria una caracterización adecuada de los contaminantes, ya que en zonas próximas al dragado y vertido del material, se encuentran áreas de interés ambiental, de marisqueo, acuicultura y también caladeros de pesca tradicional.

En el marco de este PVA, el IEO ha desarrollado un estudio integrado de los niveles de contaminantes en matrices ambientalmente relevantes del medio marino en el interior y exterior del Puerto de Maó, así como de los efectos biológicos y ecológicos de la contaminación. De este modo, se evaluará la transferencia final de contaminantes metálicos y orgánicos a los ecosistemas próximos y sus posibles consecuencias en especies objetivo. Este apartado recoge los resultados de este estudio en la fase previa a las obras de dragado.

### 6.2. METODOLOGÍA DE ESTUDIO Y MUESTREO

#### Compartimentos estudiados

- **Medio marino**

Los contaminantes presentan gran afinidad por las partículas en suspensión tanto sólidas como coloidales, que son en muchos casos su medio de transporte. Una parte significativa de estos contaminantes acaban incorporándose al sedimento, que actúa como un sumidero y está considerado como una fuente potencial de contaminación, tanto para los organismos que viven en contacto con el fondo marino como para la columna de agua. El destino final de los contaminantes depende de la dinámica de la materia particulada, que tiende a depositarse en zonas de baja energía hidrodinámica, como estuarios y zonas costeras próximas a áreas industriales y urbanas. Por todo lo anterior se analizaron muestras de:

- Agua superficial (<0,5 m) disueltas (<0,22  $\mu\text{m}$ )
- Sedimento superficial (<1 cm).



- **Biota marina**

- Mejillón (*Mytilus galloprovincialis*)

Por su amplia distribución geográfica, su condición sésil, su capacidad para acumular contaminantes y reflejar las concentraciones del medio circundante, este molusco bivalvo filtrado es ampliamente utilizado en los programas de vigilancia de la contaminación marina, para evaluar la calidad química de las aguas, determinar las tendencias de los contaminantes en el espacio y en el tiempo e identificar fuentes potenciales de contaminación. A nivel internacional está reconocido su uso como especie bioindicadora de la contaminación química de las aguas marinas y de los efectos biológicos asociados a ésta.

Los mejillones son capaces de sobrevivir en condiciones aéreas de exposición durante muchos días, y su capacidad para mantener las valvas cerradas y resistir a estas condiciones está relacionada con la cantidad de ATP (trifosfato de adenosina) disponible para estimular el músculo aductor. En los mejillones que habitan ambientes contaminados, parte de su energía metabólica es gastada en los procesos de detoxificación y mecanismos metabólicos de defensa, reduciéndose por tanto el ATP disponible para otras funciones fisiológicas. La disminución de la capacidad de supervivencia en condiciones aéreas de los mejillones se ha relacionado con la exposición a contaminantes químicos (SoS: *Stress on Stress*) y la cuantificación de esta respuesta se utiliza como un biomarcador general de efecto, indicando alteraciones en la fisiología de los organismos, que hace que éstos sean más sensibles a cambios ambientales adicionales (Zwaan y Eertman, 1996).

La estabilidad de la membrana lisosomal (LMS) es un biomarcador de efecto relacionado con una situación de estrés general en la fisiología del organismo (Moore *et al.*, 2004). Los lisosomas son el principal sitio celular donde se produce la detoxificación de los contaminantes químicos. La LMS es un biomarcador no específico, muy sensible a una gran variedad de contaminantes y que es utilizado como índice de daño celular. La disfunción de los procesos lisosomales ha sido relacionada con muchos aspectos de patologías asociadas a la toxicidad química y procesos degenerativos. La disminución de la estabilidad de la membrana lisosomal se ha relacionado con la exposición a muchos tipos de contaminantes químicos, aunque no se pueden considerar como los únicos factores que alteran este biomarcador citológico. La autofagia lisosomal proporciona una segunda línea de defensa en los organismos contra el estrés oxidativo y la capacidad para regular al máximo de manera efectiva este proceso. Por ello, es un factor



significativo, que probablemente contribuye a la capacidad de ciertos organismos para tolerar ambientes contaminados y con condiciones estresantes.

- Caracola (*Stramonita haemastoma*)

En la zona de marisqueo de Menorca se explotan diferentes especies de interés comercial entre las que se encuentra la caracola *S. haemastoma*. Este molusco gasterópodo no se usa habitualmente como indicadora de contaminación por lo que no existen datos previos de niveles de contaminantes para esta especie en el Mediterráneo, que permitan la valoración de las concentraciones obtenidas en sus tejidos en esta primera fase del trabajo. Sin embargo la presencia de contaminantes en esta especie y su variación a medio y largo plazo puede ser indicativa de la influencia, si existe, que tiene el vertido de material dragado en la biota marina de la costa este de Menorca.

- Especies ícticas de interés pesquero

Para evaluar los posibles riesgos para la salud humana derivados del consumo de productos de la pesca, se seleccionaron tres peces bentónicos y necto-bentónicos: el salmonete de roca (*Mullus surmuletus*), el cabracho (*Scorpanea scrofa*) y el rape (*Lophius piscatorius*). Se trata de especies objetivo de la pesquería de artes menores (principalmente trasmallo) y de arrastre de fondo que se desarrollan en Menorca. Se distribuyen en fondos rocosos y sedimentarios de la plataforma y el talud continental.

## Toma y preparación de muestras

### Agua

Las muestras de agua superficial (<0,5 m) disueltas (<0,22 µm) se tomaron durante la campaña MAO1401\_HIDROGRAFIA, desarrollada del 20 al 26 Enero 2014, a bordo del B/O *Socib*. Se siguieron los protocolos de muestreo establecidos para el estudio de metales traza en agua de mar (Tovar-Sánchez, 2012). Las estaciones se distribuyen según el mapa de la Figura 6.1. Una vez concluida la campaña, las muestras fueron enviadas al Institut Mediterrani d'Estudis Avançats (IMEDEA), para su posterior análisis.

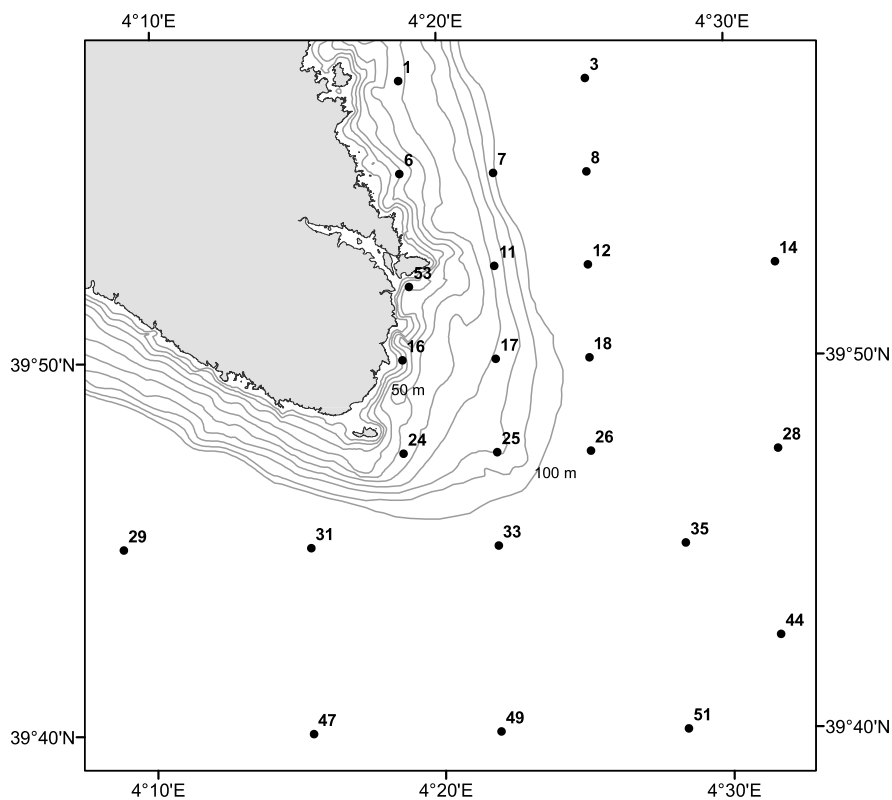


Figura 6.1. Localización de las estaciones muestreadas para el estudio de metales trazas en agua al este de Menorca, en la zona adyacente al Puerto de Maó.

### Sedimento

Se obtuvieron con draga *Box corer* en las estaciones que se muestran en la Figura 6.2. Se consideraron tres estaciones a lo largo del Puerto de Maó (EI) y otras tres situadas en el área de influencia de este Puerto (EE). Además se incluyó otra en el punto seleccionado para el vertido del material procedente del dragado (PV). En cada estación se tomaron tres muestras, que una vez liofilizadas, se combinaron proporcionalmente obteniendo una muestra mixta con mayor representatividad de cada área.

Las muestras de sedimento superficial (<1 cm) se almacenaron a -25°C, para su posterior envío al Centro Oceanográfico de Murcia y hasta su liofilización en el laboratorio. Una vez liofilizado, el sedimento se tamizó a través de una malla de 2 mm de luz para eliminar los restos de conchas y otros materiales con poca capacidad para retener contaminantes orgánicos e inorgánicos. Los análisis químicos se realizaron en esta fracción, denominada fracción total, que constituye una matriz adecuada para establecer la distribución espacial de los contaminantes.

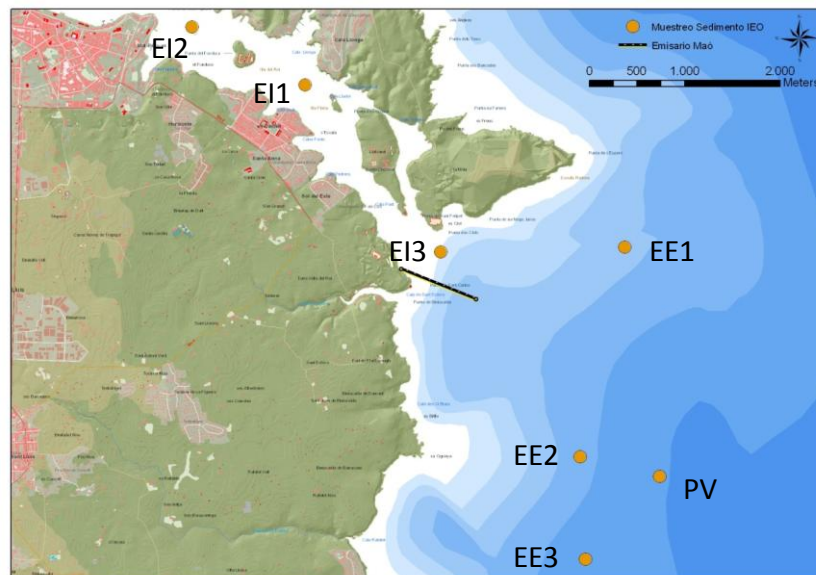


Figura 6.2. Localización de las estaciones de sedimentación en el área de estudio: puntos ubicados dentro del Puerto de Maó (EI), en la zona exterior del Puerto (EE) y en el punto de vertido propuesto para el dragado (PV).

### **Mejillón (*M. galloprovincialis*)**

Se muestrearon dos estaciones de miticultura, situadas en el Puerto de Maó (Figura 6.3): En Enero 2014 se tomaron ejemplares de la Estación 5294, junto a la Base Naval, y en Febrero 2014 se tomaron ejemplares de la Estación 5289, frente Cala Rata. Los mejillones se limpiaron y se tallaron inmediatamente después de su recolección, preparándose tres submuestras compuestas de 50-90 mejillones cada una, con un intervalo de talla comprendido entre 4 y 5 cm (muestra 14MG5289 y 14MG5294). También se cogió una muestra con mejillones de tamaño 3-4 cm en el caso de la muestra de Cala Rata (14MG5289A). Una vez agrupadas, las submuestras se almacenaron a -20°C, para su envío y posterior tratamiento en el Centro Oceanográfico de Murcia. Para determinar los biomarcadores SoS y LMS se muestrearon 40 y 12 mejillones vivos, con el biso intacto y de talla estandarizada (4-5 cm), respectivamente. El resultado de los análisis de estas muestras recogidas en 2014, se compararon con muestras de mejillón recogidas en esa zona durante 2013 dentro del programa de vigilancia de la contaminación marina que el IEO lleva a cabo a lo largo de toda la costa mediterránea española, para evaluar la calidad química de las aguas marinas (13MG5289).

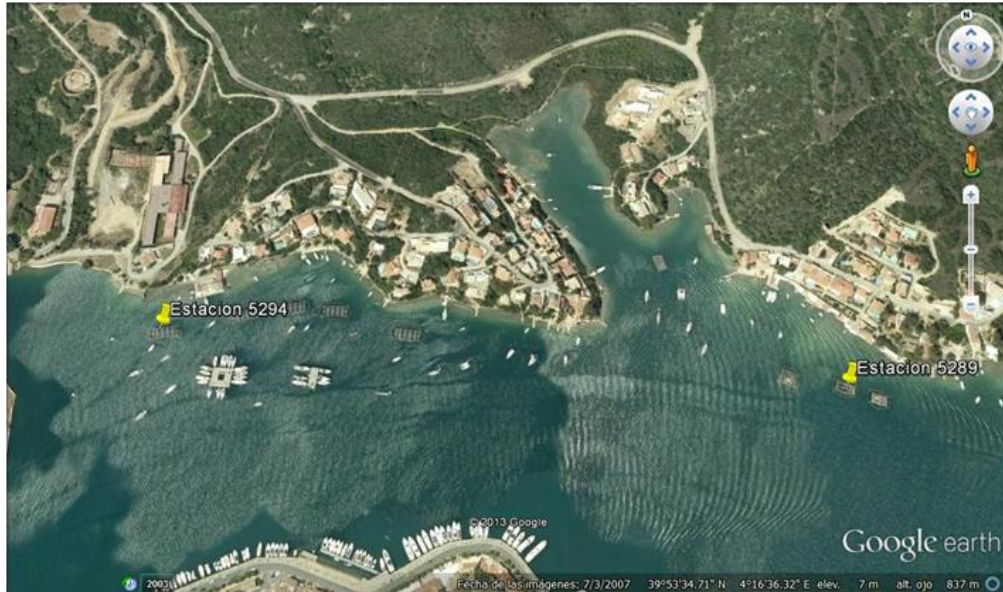


Figura 6.3. Localización de las estaciones de muestreo de mejillón (*M. galloprovincialis*) en el Puerto de Maó.

Una vez descongelada la submuestra, los mejillones se abrieron en una cabina de flujo laminar y se drenó el líquido intervalvar. Las partes blandas obtenidas de cada submuestra se depositaron en cajas Petri taradas, se pesaron y se almacenaron a  $-20^{\circ}\text{C}$ . Asimismo, se pesaron las valvas de los mejillones que componían cada submuestra. A continuación se inició el proceso de liofilización. Cada muestra se pesó antes y después del proceso, con el fin de calcular la relación de liofilización, que es el cociente entre el peso fresco y el peso seco de la muestra. La muestra liofilizada se molió y se homogeneizó, utilizando un molino de bolas. Una vez homogeneizada, se introdujo en un frasco de vidrio opaco, perfectamente limpio, y se almacenó en un desecador, para evitar la humedad, fuera del alcance de la luz.

### **Caracola (*S. haemastoma*)**

Las muestras se recogieron durante Enero-Febrero 2014, en las áreas que se muestran en la Figura 6.4. El bajo número de ejemplares hizo necesario integrar individuos recolectados en zonas próximas. Por ello, la muestra mixta de La Mola incluye La Mola interior y La Mola exterior, la muestra mixta de Sa Cigonya incluye individuos de Sa Cigonya y Rafalet, y la muestra de Sant Esteve sólo tiene individuos de esta zona. Una vez agrupadas, las muestras se almacenaron a  $-20^{\circ}\text{C}$ , para su envío y posterior tratamiento en el Centro Oceanográfico de Murcia.



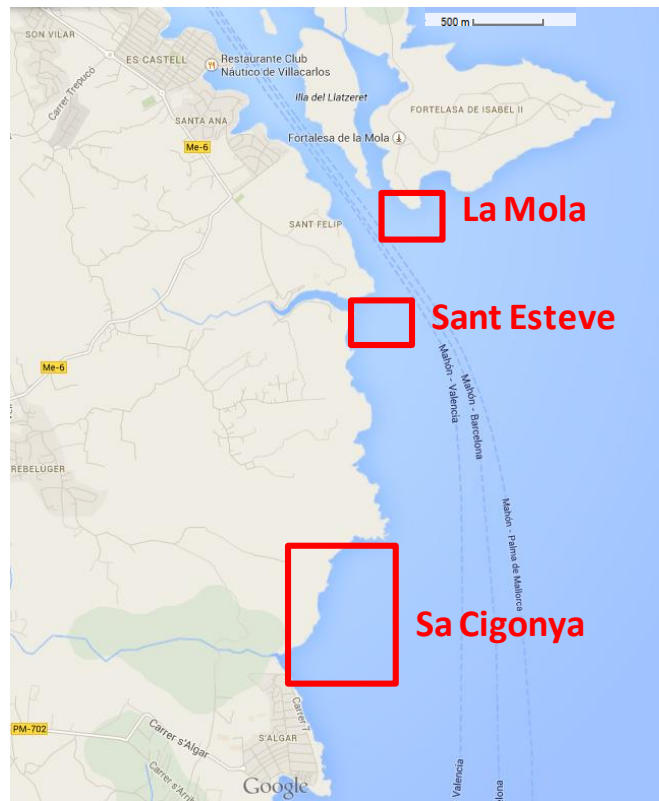


Figura 6.4. Localización de las estaciones de muestreo de caracola (*S. haemastoma*) en el área de influencia del Puerto de Maó.

Las muestras se descongelaron en el laboratorio, se diseccionaron para obtener el cuerpo blando de cada individuo y se realizaron muestras mixtas para conseguir tejido suficiente para los análisis químicos individuales. La muestra mixta se molturó en fresco y se liofilizó. Posteriormente se molturó de nuevo para conseguir una muestra homogénea y se almacenó en frascos de vidrio opaco hasta la realización de los análisis químicos.

### Especies de interés comercial

Las muestras fueron recogidas por pescadores locales, bajo la supervisión de personal del Centro Oceanográfico de Baleares, siguiendo el protocolo enviado por el equipo de contaminación marina del Centro Oceanográfico de Vigo. La estrategia de muestreo se ha basado en un estudio comparativo entre los caladeros del este y sudeste de Menorca, en los que opera la flota pesquera del Puerto de Maó, y otra zona bastante alejada del mismo, los caladeros del oeste u suroeste de Menorca, en los que opera la flota pesquera del Puerto de Ciutadella. En esta área, considerada como zona control o de referencia, las especies “a priori” no deberían estar afectadas por contaminantes procedentes del Puerto de Maó, o estarlo en mucho menor grado. El número de ejemplares para cada una

de las tres especies a estudiar se ha establecido de forma que los resultados tengan la suficiente significación estadística. Se intentó recoger como mínimo 5 ejemplares por especie en cada zona de estudio. En la Figura 6.5 se muestra la distribución espacial de las muestras recogidas.

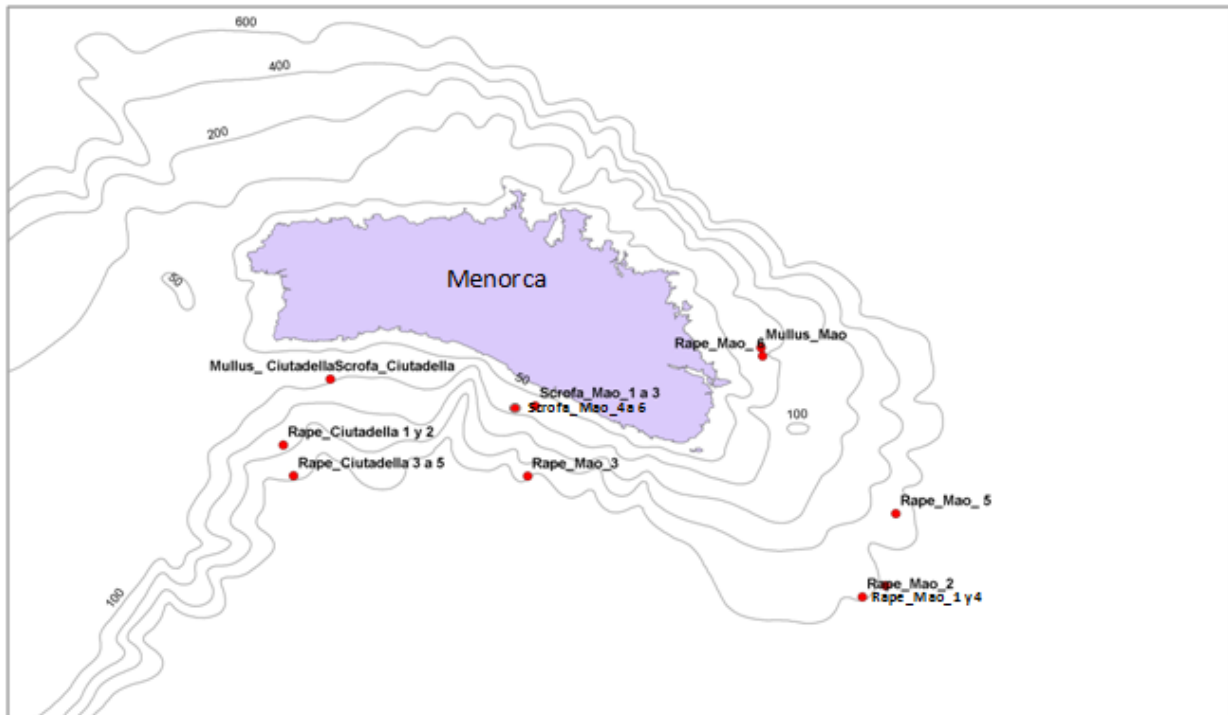


Figura 6.5. Localización de las muestras de especies de interés comercial en el área donde faena la flota pesquera del Puerto de Maó y en una zona control, donde faena la flota pesquera de Ciudadella.

Después de la obtención de los parámetros biométricos esenciales, los ejemplares obtenidos se congelaron inmediatamente a  $-20^{\circ}\text{C}$ , para su envío al Centro Oceanográfico de Vigo. El protocolo pre-analítico comprende todos los procesos a los que es sometida la muestra, incluyendo la determinación de los parámetros biométricos básicos del ejemplar (talla, peso y sexo), el fileteado, trituración, homogenización y liofilización de la muestra de tejido muscular para analizar.

### Granulometría y determinación del carbono orgánico en sedimentos

Complementariamente al análisis de los contaminantes químicos, en el Centro Oceanográfico de Murcia se determinó el porcentaje de fracción fina y el contenido de carbono orgánico total de las muestras de sedimentos. Estos parámetros definen la afinidad y la capacidad del sedimento para retener los contaminantes orgánicos e



inorgánicos y son necesarios en la interpretación de las concentraciones de microcontaminantes. A continuación, se resume la metodología empleada en su análisis:

- Obtención de la fracción inferior a 63  $\mu\text{m}$ : Muestras de 10 g se dispersaron en 300 ml de agua destilada. Tras agitar durante 2 horas, usando un agitador magnético, la muestra en suspensión se tamizó a través de una malla de 63  $\mu\text{m}$  con un flujo suave de agua, para forzar el paso de las partículas de menor diámetro. Finalmente, la fracción retenida en el tamiz se secó en una estufa a 40°C y, tras 2 horas en un desecador, se pesó para calcular el porcentaje de fracción fina.
- Carbono orgánico total: Muestras de 10 mg se trataron con una solución 1M de ácido fosfórico en una cápsula de estaño. Después de secar en una estufa a 60°C, el carbono orgánico total se determinó en un analizador elemental de CNH.

## Análisis de contaminantes y control de calidad

### Agua

La recepción y tratamiento de las muestras se realizó en una sala blanca, acondicionada para el tratamiento y análisis de elementos traza: p.ej. Ag, Cd, Co, Cu, Fe, Pb, Mo, Ni, V y Zn. Las muestras se acidificaron a  $\text{pH} < 2$  con HCl de la máxima pureza y se sometieron a un proceso de pre-concentración, usando el método de extracción orgánica líquido-líquido descrito por Bruland *et al.* (1985). Las muestras fueron finalmente analizadas por ICP-MS (PerkinElmer ELAN DRC-e). El método de preconcentración y análisis se testó y validó mediante el uso y análisis de material de referencia certificado para metales traza en agua de mar NASS-5 y NASS-6 (NRC-INMS CRM). El resultado de estos análisis se recoge en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1. Concentraciones certificadas y medidas en muestras de material de referencia para metales traza en agua de mar (NASS5 y NASS6).

	NASS 5 ( $\mu\text{G/l}$ )		NASS 5 ( $\mu\text{G/l}$ )		
	Certificado	Medido	Certificado	Medido 1	Medido 2
<b>Cd</b>	0,023 $\pm$ 0,003	0,034	0,0303 $\pm$ 0,0019	0,043	0,043
<b>Co</b>	0,011 $\pm$ 0,003	0,014	0,015	0,015	0,015
<b>Cu</b>	0,297 $\pm$ 0,046	0,33	0,242 $\pm$ 0,025	0,244	0,245
<b>Fe</b>	0,207 $\pm$ 0,035	0,193	0,483 $\pm$ 0,045	no medido	no medido



NASS 5 (µG/l)			NASS 5 (µG/l)		
	Certificado	Medido	Certificado	Medido 1	Medido 2
Mo	9,6 ± 1,0	8,3	9,7	9	8,9
Ni	0,253 ± 0,028	0,241	0,294 ± 0,025	0,262	0,257
Pb	0,008 ± 0,005	0,004	0,006 ± 0,002	0,003	0,003
Zn	0,102 ± 0,039	0,165	0,251 ± 0,020	0,247	0,247

### Sedimento, mejillón y caracola

Los análisis químicos que se realizaron en el Centro Oceanográfico de Murcia para la fracción total de sedimento y los tejidos blandos de mejillón y de caracola, se llevaron a cabo de acuerdo con los protocolos que se describen a continuación para cada uno de los grupos de contaminantes prioritarios.

#### a) Compuestos orgánicos persistentes

- Extracción de la muestra

Aproximadamente 1-2 g de tejido liofilizado se mezcló con sulfato sódico anhidro y se extrajeron los lípidos durante 8 h en un Soxhlet, con una mezcla de dos disolventes orgánicos, n-pentano y diclorometano (150 ml, 1:1). Los lípidos extraíbles se determinaron por evaporación de una alícuota del extracto en una placa calefactora y por diferencia gravimétrica. El proceso de extracción del sedimento fue similar, aunque en este caso la cantidad de muestra empleada fue 20 g de sedimento, liofilizado y tamizado por un tamiz de 2 mm de luz. El tiempo de extracción fue 12 h.

- Eliminación de azufre en los sedimentos

El azufre presente habitualmente en las muestras de sedimento, que interfiere en la determinación de los PCBs y OCs, se eliminó tratando el extracto con limaduras de cobre previamente activado con un ácido.

- Purificación y fraccionamiento de la muestra

El extracto se purificó eliminando los lípidos y otros compuestos que pueden interferir en los análisis. Para ello, se utilizó una columna de alúmina, desactivada con un 6% de agua, y pentano en la elución. Los extractos se concentraron inicialmente en un rotavapor y a continuación mediante corriente de nitrógeno, hasta alcanzar el volumen final requerido. El extracto obtenido se dividió en dos fracciones en una columna de sílica,



desactivada con un 3% de agua. Las fracciones obtenidas para su posterior análisis cromatográfico fueron:

- Fracción I: contenía todos los PCBs y los compuestos clorados HCB, aldrín, isodrin, trans-nonachlor, pp'DDE, pp'DDT y op'DDT, y se obtuvo tras la elución con un disolvente apolar como es el isooctano.
- Fracción II: contenía endrín, dieldrín,  $\alpha$ -HCH, lindano y p,p'DDD, y se obtuvo mediante la elución con una mezcla de éter etílico e isooctano.

- Análisis y cuantificación

La cuantificación de los diferentes compuestos presentes en las dos fracciones se realizó mediante cromatografía de gases con detector de masas (EI), utilizando una columna capilar de baja polaridad SPB5 (Soporte 5% fenil 95% metil Siloxano, 50 m de longitud, 0,25 mm de diámetro interno y 0,40  $\mu$ m de espesor de película). Como gas portador se utilizó helio. El equipo estaba equipado con un detector PTV programado con una temperatura inicial de 60°C y un gradiente de temperatura hasta alcanzar 300°C. El volumen de inyección fue de 20  $\mu$ l. Las muestras se analizaron en modo SIM usando para la cuantificación las masas más abundantes de los compuestos analizados. La temperatura del horno fue programada a 90°C durante 3 min, y después se incrementó hasta 210°C mediante una rampa de 30°C/min. Después de 40 min a 210°C, la temperatura del horno se elevó mediante una rampa de 3°C/min hasta 270°C, permaneciendo estable durante 15 min. La cuantificación se realizó mediante una curva de calibrado de 9 concentraciones diferentes para cada analito, realizada previamente al análisis de cada lote de muestras. Como patrón interno se usó el PCB-155, ausente en las muestras ambientales.

A su vez, para verificar una correcta cuantificación, se analizaron las muestras mediante cromatografía de gases acoplado a un detector de captura de electrones (ECD). Se utiliza una columna idéntica a la del cromatógrafo de gases con detector de masas. Como gas portador se utilizó helio. El volumen de inyección fue de 2,5  $\mu$ l. La temperatura del horno fue programada a 90°C durante 3 min, y después se incrementó hasta 210°C mediante una rampa de 30°C/min. Después de 40 min a 210°C, la temperatura del horno se elevó mediante una rampa de 5°C/min hasta 230°C, permaneciendo estable durante 10 min. Después de los 10 min a 230°C, la temperatura del horno se elevó mediante una rampa de 10°C/min hasta 250°C, permaneciendo estable durante 10 min. La cuantificación se



realizó del mismo modo que la mencionada anteriormente para el cromatografo de gases con el detector de masas.

b) Hidrocarburos aromáticos policíclicos

- Extracción de la muestra

Se extrajeron 10 g de sedimento, previamente tamizado en una malla de 2 mm de luz o 2-4 g de tejido liofilizado de caracola o mejillón, 10 h en un Soxhlet con una mezcla de dos disolventes orgánicos: hexano y acetona (3:1).

- Purificación y fraccionamiento de la muestra

El extracto se purificó eliminando los lípidos y otros compuestos que pueden interferir en los análisis. Para ello, se utilizó una columna de alúmina, parcialmente desactivada (10%) utilizando hexano como eluyente. Los extractos se concentraron inicialmente en un rotavapor y posteriormente aplicando corriente de nitrógeno, redisolviéndolos finalmente en acetonitrilo hasta alcanzar el volumen final requerido.

- Cuantificación

La cuantificación de los hidrocarburos aromáticos policíclicos se realizó mediante cromatografía líquida de alta resolución con detección de fluorescencia, utilizando longitudes de onda (excitación y emisión) específicas para cada uno de los analitos. La separación de los analitos se ha realizado trabajando en régimen de gradiente, tanto de disolventes (metanol-agua) como de flujo. La cuantificación se ha realizado mediante calibración externa, utilizando metil-criseno como patrón interno.

c) Metales pesados

Como paso previo, a la cuantificación de los elementos objeto de estudio, fue necesaria la mineralización de la muestra, empleándose para ello un ataque con un ácido fuerte y caliente, siendo diferente la mineralización de las muestras de sedimentos que las de organismos. En ambos casos se utilizaron reactores a presión para microondas de laboratorio.

- Digestión de la muestra

Sedimentos: Para todos los elementos analizados, excepto el mercurio, se pesaron aproximadamente 0,5 g de sedimento seco en un vaso de digestión de Teflón y se le



añadieron 1 ml de agua regia y 5 ml de ácido fluorhídrico. Los vasos de digestión se cerraron y se calentaron en un horno microondas durante 30 min. a 160°C. Una vez enfriados, se abrieron y se transvasó el contenido a un matraz aforado de plástico, de 50 ml, que contenía 4,7 g de ácido bórico, para neutralizar el exceso de ácido fluorhídrico, ajustando finalmente el volumen con agua Milli-Q. Para la cuantificación del Hg se pesan 0,3 g de sedimento y se le añade 6 ml de ácido nítrico. Se aplica el mismo programa de digestión de microondas que el resto de los metales para una vez frío ajustar el volumen a 25 ml con agua Milli-Q. (Quelle *et al.*, 2011).

Biota: Aproximadamente 0,3 g de tejido liofilizado se pesa en un vaso de digestión y se le añade 1 ml de agua Milli-Q y 5 ml de ácido nítrico. Se calientan en un horno microondas durante 10 min. a 90 °C para posteriormente someterlos 60 min. a 180 °C. Una vez la muestra fría, se transfiere a un matraz aforado de 25 ml ajustando el volumen con agua Milli-Q (Besada *et al.*, 2011).

- Limpieza y pureza de los reactivos

Hay que destacar el cumplimiento de los estrictos protocolos para la limpieza del material que está en contacto con la muestra. La pureza de todos los reactivos empleados fue en todos los casos calidad Ultrapura o similar.

- Determinación de la humedad residual

Se realizó paralelamente en una porción del liofilizado mediante secado hasta peso constante a 105° C (al menos 24 horas).

- Análisis y cuantificación

Se ha utilizado la Espectrofotometría de Absorción Atómica con Cámara de Grafito y corrector Zeeman, empleando siempre condiciones SPTF (Stabilized Temperature Platform Furnace), ó la Espectrofotometría de Absorción Atómica con llama, empleando las condiciones habitualmente recomendadas (Perkin-Elmer Analyst 800). La calibración se ha realizó con patrones externos. El número de patrones, así como su concentración, se determinó teniendo en cuenta el rango lineal de cada elemento y las concentraciones esperadas. El Hg se determinó con el método de vapor frío automatizado, mediante la técnica de análisis por Inyección en Flujo (Perkin-Elmer FIMS 400).

En la Tabla 6.2 se muestra la relación de parámetros y analitos determinados en cada una de las matrices ambientales caracterizadas.



Tabla 6.2. Relación de parámetros y analitos determinados en sedimento (SEDIM) y biota.

VARIABLES CONSIDERADAS		MATRICES	
		SEDIM	BIOTA
<b>METALES (MP)</b>			
Al	Aluminio	+	
As	Arsénico	+	+
Cd	Cadmio	+	+
Cu	Cobre	+	+
Cr	Cromo	+	
Fe	Hierro	+	
Hg	Mercurio	+	+
Li	Litio	+	
Mn	Manganeso	+	
Ni	Níquel	+	+
Pb	Plomo	+	+
Zn	Zinc	+	+
<b>COMPUESTOS ORGÁNICOS PERSISTENTES (COPs)</b>	PCBs: 28, 52,101,105,118,138,153,156 y 180 a-Hexaclorociclohexano lindano Hexaclorobenceno p,p´DDE; p,p´DDT; p,p´DDD; o,p DDT Transnonaclor Dieldrín Aldrín	+	+
<b>HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (HAPs)</b>	Antraceno Fenantreno Fluoranteno Fluoreno Pireno Benzo[a]antraceno Criseno Benzo[b]fluoranteno Benzo[k]fluoranteno Benzo[a]pireno Benzo[e]pireno Benzo[g,h,i]perileno Indeno[1-2-3-cd]pireno Dibenzo(ah)antraceno	+	+
<b>PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS</b>	Granulometría (%) Contenido de carbono orgánico	+	

Todos los trabajos de laboratorio que se han detallado para el análisis de contaminantes en sedimento, mejillón y caracola, se han desarrollado de acuerdo con unos protocolos de control de calidad de los análisis de matrices marinas, con controles de calidad internos (análisis de materiales de referencia) y externos (participando en ejercicios de intercalibración). Los grupos de contaminación marina del IEO participan anualmente en los ejercicios de intercalibración organizados por el Programa QUASIMEME (*Quality*





*Assurance of Information in Marine Environmental in Europe*). El grupo de contaminación del Centro Oceanográfico de Murcia participa, además, en el ejercicio que organiza el Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA), en el marco del MED POL.

### **Especies de interés comercial**

Para el análisis de los metales As, Cd, Cu, Hg, Pb y Zn en el tejido muscular de las especies seleccionadas, se aplicó el procedimiento habitualmente empleado en el Centro Oceanográfico de Vigo para la determinación de muestras de organismos marinos (Besada *et al.*, 2006; Besada *et al.*, 2011). Aproximadamente 1,2-1,5 g de tejido muscular fresco se pesó en un vaso de digestión y se le añadió 6 ml de ácido nítrico Suprapur Merck. Se calentó en un horno microondas durante 10 minutos a 90°C, para posteriormente someterlo 60 minutos a 180°C. Una vez la muestra fría, se transfirió a un matraz aforado de 25 ml, ajustando el volumen con agua Milli-Q. La cuantificación se llevó a cabo mediante espectrofotometría de absorción atómica, con cámara de grafito con corrector Zeeman (As, Cd, Cu y Pb) o con llama (Zn). El Hg se determinó mediante espectrometría de absorción atómica por inyección de flujo por el método de vapor frío.

Las muestras han sido incluidas en el sistema de control de calidad que tiene establecido el Centro Oceanográfico de Vigo, y que incluye uso de materiales de referencia certificados, blancos, muestras por duplicado, cartas de control, etc. Los procedimientos analíticos están validados por la participación sistemática en ejercicios de intercalibración internacionales, como los realizados por QUASIMEME (*Quality Assurance of Information for Marine Environmental Monitoring in Europe*), y por el Organismo Internacional de la Energía Atómica (IAEA).

### **Análisis biológicos (biomarcadores) en mejillón**

La supervivencia de los mejillones en condiciones aéreas (SoS) se realizó inmediatamente tras el muestreo y cada 24 horas hasta el momento en el que se alcanzó el 100% de mortalidad. Los animales se consideraron vivos cuando resistían con energía la separación de sus valvas y se consideraron muertos si las valvas estaban abiertas y los estímulos externos (compresión de las valvas) no producían ninguna respuesta. Los resultados de SoS son expresados como el Umbral Letal para el 50% (LT50) de mortalidad o mediana del tiempo de supervivencia en el que el 50% de los mejillones de una estación de muestreo están muertos. Unidades = días.



La LMS se determinó mediante el Ensayo de Retención del Rojo Neutro (Moore *et al.*, 2004). Se realizaron una serie de observaciones microscópicas (x400) de muestras de hemolinfa de 12 individuos a tiempos 15, 30, 60, 90, 120, 150 y 180 minutos tras la incubación de la muestra con colorante rojo neutro para determinar: i) el % de hemocitos de la muestra que retienen el colorante rojo neutro dentro de los lisosomas ii) el % de hemocitos (granulocitos) que presentan patologías lisosomales. El tiempo de Retención (TR) (expresado en minutos) es definido como el tiempo previo a la observación en el que más del 50% de los hemocitos de una muestra de mejillón muestran pérdida del colorante rojo neutro hacia el citosol o sufren patologías lisosomales.

Todo este trabajo de laboratorio se ha desarrollado de acuerdo con unos protocolos de control de calidad de los análisis de matrices marinas. La última participación en ejercicios de intercalibración de determinación de la membrana lisosomal se realizó en Junio del 2013. El análisis del Stress on Stress no requiere intercalibración dada la sencillez de la metodología.

### **Evaluación de los resultados analíticos**

El estado actual de la calidad química del Puerto de Maó, y de su área litoral próxima, se ha establecido utilizando los niveles de referencia ambientales propuestos por organismos internacionales para contaminantes orgánicos en sedimentos y mejillón.

### **Hidrocarburos aromáticos policíclicos**

La evaluación del impacto que puede tener la presencia de contaminantes orgánicos se ha realizado utilizando como valores de referencia, los propuestos por los organismos internacionales. Concretamente se han utilizado los valores propuestos por OSPAR (*Environmental Assessment Criteria*, EACs) o los calculados por la US-EPA (ERL) (Tabla 6.3). Los BACs se han desarrollado para el Océano Atlántico, y sería necesario establecer valores específicos para el ámbito mediterráneo. Por ello cuando se dispone de una base de datos suficiente, como ocurre con mejillón, se han determinado los criterios de evaluación basales propios de esta zona (BAC Mediterráneo español), calculando el percentil 90 de la concentración en áreas de referencia (las de menor presión e impacto) y aplicando el mismo factor de incertidumbre analítica para cada compuesto que se aplicó en OSPAR.



Tabla 6.3. Criterios seleccionados como niveles basales y valores de referencia para la evaluación de PAHs en las muestras de sedimento y mejillón (*M. galloprovincialis*).

Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos	BAC España Mediterráneo (µg/kg p.s.)	OSPAR EACs	BAC OSPAR España (µg/kg p.s.)	ERL
Fenantreno	24,3	1700	7,3	240
Antraceno	4,1	290	1,8	85
Fluoranteno	6,8	110	14,4	600
Pireno	6,1	100	11,3	665
Benzo[a]antraceno	1,3	80	7,1	261
Criseno	2,4	-	8,0	384
Benzo[k]fluoranteno	1,8	260	-	-
Benzo[a]pireno	1,3	600	8,2	430
Benzo[ghi]perileno	1,3	110	6,9	85
Indeno[123-c,d]pireno	0,8	-	8,3	240

### Contaminantes organoclorados

El conjunto de criterios de valoración para los niveles de contaminantes organoclorados aplicados se recopilan en la Tabla 6.4. Para los PCBs se han definido una serie de valores EACs aplicables a biota, concretamente a cada uno de los 7 congéneres de PCBs propuestos por ICES. En sedimento los valores usados para la valoración se han obtenido a partir de los datos ERL definidos por la US EPA para la suma total de PCBs y adaptado por OSPAR como suma de los 7 PCBs ICES. También se han usado los valores ERL para diferentes pesticidas clorados para los que no se han definido unos valores de EAC. Los BACs en sedimento se han adaptado de OSPAR donde se definieron para un sedimento con un porcentaje de TOC de 2,5%.

Junto con estos valores se han definido unos criterios de valoración de niveles basales (BACs), que permiten identificar aquellas zonas donde los niveles contaminantes marinos son próximos a cero o debidos a procesos naturales. En el caso de los compuestos sintéticos producidos por el hombre, como PCBs o los pesticidas clorados, los niveles de línea base son 0, por lo que el valor BACs es definido teniendo en consideración los errores de las metodologías de análisis.



Tabla 6.4. Criterios seleccionados como niveles basales y valores de referencia para la evaluación de compuestos organoclorados en las muestras de sedimento, mejillón y salmonete de la demarcación levantino-balear.

PCBs y Pesticidas clorados	Mejillón		Sedimento	
	OSPAR BAC	OSPAR EACs	OSPAR BAC	NOAA ERL
	µg/kg p.f.		µg/kg p.s.	
CB28	0,15	0,64	--	--
CB52	0,15	1,08	--	--
CB101	0,14	1,20	--	--
CB105	0,15	--	--	--
CB118	0,12	0,24	--	--
CB138	0,12	3,16	--	--
CB153	0,12	16,00	--	--
CB156	0,12	--	--	--
CB180	0,12	4,80	--	--
7 PCBs ICES	--	--	0,46	11,50
Lindano	0,19	0,29	0,13	3,00
α-HCH	0,13	--	--	--
pp' DDE	0,13	10*	0,09	2,20
HCB	0,13	--	0,16	20,00
Dieldrín	--	10*	0,19	2,00

\*OSPAR Commission 2000.

### Metales pesados

Las concentraciones de metales en sedimentos de la zona de estudio han sido evaluadas de comparándolas con los valores o rangos de efectos (ER) (Tabla 6.5), establecidos en Estados Unidos por la Environmental Protection Agency (EPA, 2002) como criterios de evaluación de la calidad de los sedimentos marinos para predecir efectos biológicos adversos sobre los organismos. Los valores ER fueron establecidos después de recoger una gran cantidad de información sobre las concentraciones de contaminantes en sedimentos en los que se habían detectado efectos biológicos. Una vez recogida la información, se calcularon los dos principales criterios de evaluación. El valor ERL (Effects-Range-Low) se define como el percentil del 10% inferior de los datos de concentraciones en sedimentos asociados con efectos adversos (ecológicos o biológicos), y el ERM (Effect-Range-Median) como la mediana de las concentraciones asociadas con efectos biológicos. Si la concentración del metal se encuentra por debajo del ERL no se esperan efectos adversos en los organismos. Si los valores se encuentran por encima del ERM pueden producirse efectos perjudiciales.



Tabla 6.5. Valores correspondientes a los ERL y ERM (expresados en mg/kg peso seco).

Metales	ERL	ERM
As	8,2	70
Cd	1.2	9,6
Cu	34	270
Cr	81	370
Ni	21	52
Pb	47	220
Zn	150	410
Hg	0,15	0,71

Los resultados obtenidos en los mejillones analizados se van a comparar con los niveles basales y los valores de referencia que se han utilizado como criterios de calidad en la evaluación inicial de la demarcación levantino-balear de las estrategias marinas españolas. En el documento correspondiente a la “Estrategia marina para la demarcación levantino-balear: Descriptor 8” se señala que “dada la ausencia de criterios de valoración específicos para mejillón (silvestre) en la región mediterránea los nivel de fondo o concentración de base o “background” (BCs) y los BACs (Background Assessment Criteria) han sido calculados utilizando el percentil 90 de las concentraciones de Cd, Hg y Pb en estaciones de referencia (limpias o mínimamente impactadas) del litoral mediterráneo de España existentes en la base de datos del IEO. Como límite superior se consideraron las concentraciones máximas permitidas por la legislación para consumo humano (EC)”. Ver Tabla 6.6.

Tabla 6.6. Criterios seleccionados como niveles basales y valores de referencia para el mejillón. Unidades: mg/kg p.s. [http://www.magrama.gob.es/es/costas/temas/estrategias-marinas/IV\\_D8\\_Levantino-Balear\\_tcm7-207261.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/costas/temas/estrategias-marinas/IV_D8_Levantino-Balear_tcm7-207261.pdf)

Metales	BC	BAC	EC
Cd	0,725	1,088	5
Hg	0,125	0,188	2,5
Pb	2,53	3,80	7,5

### Biomarcadores

En esta valoración se han utilizado los BACs y EACs propuestos por Davies et al. (2012) y aquéllos obtenidos a través de la base de datos disponible por el IEO, utilizando datos



nacionales, siguiendo siempre la metodología propuesta por para otras especies (Davies y Vethaak, 2012 (Tabla 6.7). Dado que existen múltiples factores ambientales y biológicos que afectan a las respuestas biológicas, se recomienda que los criterios de valoración se desarrollen atendiendo a las especies, género, distribución geográfica, rango de talla, estación de muestreo y temperatura media del agua en el momento del muestreo (Davies y Vethaak, 2012).

Tabla 6.7. Valores de respuestas basales (BACs) y criterios ambientales de valoración (EACs) para la evaluación de los efectos biológicos de la contaminación en salmonete de fango y mejillón de la demarcación levantino-balear.

Respuesta biológica (Biomarcador)	Especie objetivo	BAC	EAC
Estabilidad de la membrana lisosomal (minutos) Periodo de muestreo mayo-junio	Todas las especies Técnica de retención del colorante rojo neutro	120	45
Stress on Stress (días de supervivencia en aire) Periodo de muestreo mayo-junio	<i>Mytilus</i> sp. (Rango talla 4-5 cm)	10	5

### 6.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Metales traza en agua

En la Tabla 6.8 y las Figuras 6.6-6.15 se recogen las concentraciones de los diferentes metales medidos en las estaciones muestreadas. Los valores obtenidos se encuentran dentro de los valores habitualmente encontrados en aguas del Mar Mediterráneo. Los rangos de concentración medidos para los diferentes metales estudiados fueron: Ag: 1,03-4,73 pM; Cd: 0,21-0,25 nM; Co: 134,4-188,4 pM; Cu: 1,74-4,52 nM; Fe: 0,79-717 nM; Mo: 102,63-110,19 nM; Ni: 3,01-3,49 nM; Pb: 65,46-148,70 pM; V: 56,68-91,53 nM; Zn: 1,99-4,40 nM.

Generalmente las mayores concentraciones se obtuvieron en aquellas estaciones cercanas a la costa y en particular a la desembocadura del Puerto. Así, las mayores concentraciones de Fe (7,2 nM), Pb (148,7 pM) y Co (186,5 pM) se obtuvieron de manera puntual en la estación 53, la más cercana a la desembocadura del Puerto de Maó.



Tabla 6.8. Concentración superficial disuelta de metales en las diferentes estaciones muestreadas.

Estación	Fecha	Longitud	Latitud	Ag (pM)	Cd (nM)	Co (pM)	Cu (nM)	Fe (nM)	Mo (nM)	Ni (nM)	Pb (pM)	V (nM)	Zn (nM)
1	24/01/14	4,3112	39,9584	1,36	0,24	134,4	2,18	2,57	109,08	3,24	75,27	62,91	2,10
3	24/01/14	4,4198	39,9584	2,57	0,23	173,3	2,41	1,76	109,45	3,42	75,67	68,85	2,66
6	21/01/14	4,3112	39,9167	nd	0,24	148,4	2,73	3,39	107,36	3,20	71,23	75,18	2,06
7	22/01/14	4,3655	39,9167	nd	0,24	155,4	4,49	2,33	106,91	3,24	71,69	56,79	2,68
8	22/01/14	4,4198	39,9167	1,12	0,23	165,5	2,73	1,92	107,34	3,27	69,10	62,26	2,38
11	20/01/14	4,3655	39,8750	nd	0,23	135,7	2,00	1,90	105,63	3,22	76,75	76,41	2,43
12	21/01/14	4,4198	39,8750	1,29	0,24	143,9	2,82	2,37	108,40	3,20	73,54	57,41	2,20
14	22/01/14	4,5284	39,8750	1,31	0,24	177,7	4,24	3,02	108,80	3,39	73,66	69,44	2,43
16	20/01/14	4,3112	39,8334	nd	0,23	155,5	2,11	2,21	106,73	3,20	80,39	87,97	2,62
17	20/01/14	4,3655	39,8334	1,59	0,23	178,3	2,69	2,14	110,19	3,49	75,79	74,06	2,68
18	21/01/14	4,4198	39,8334	1,03	0,23	163,9	3,35	2,12	105,27	3,23	70,63	66,15	2,07
24	21/01/14	4,3112	39,7917	1,15	0,23	152,7	2,23	1,92	108,84	3,29	84,51	60,52	2,81
25	21/01/14	4,3655	39,7917	1,30	0,24	160,3	2,08	1,37	107,96	3,36	74,99	91,53	2,49
26	22/01/14	4,4198	39,7917	1,51	0,23	188,4	2,71	2,29	106,68	3,35	77,28	76,05	2,36
28	24/01/14	4,5284	39,7917	1,98	0,25	169,5	4,52	2,77	107,28	3,33	73,30	69,24	2,29
29	21/01/14	4,1483	39,7500	nd	0,21	158,5	4,02	2,65	102,63	3,01	65,46	56,68	2,15
31	21/01/14	4,2569	39,7500	1,08	0,24	154,2	4,46	2,49	107,06	3,19	69,75	56,98	3,58
33	21/01/14	4,3655	39,7500	1,25	0,24	162,9	3,09	1,74	108,71	3,37	70,45	65,46	2,33
35	22/01/14	4,4741	39,7500	1,11	0,24	177,3	2,49	1,61	106,81	3,41	76,95	84,34	2,59
44	26/01/14	4,5284	39,7084	nd	0,24	135,7	2,00	2,18	109,06	3,12	72,36	62,32	2,28
47	25/01/14	4,2569	39,6667	1,14	0,25	185,1	3,13	1,70	108,62	3,36	78,72	78,96	4,40
49	25/01/14	4,3655	39,6667	nd	0,22	165,6	2,35	2,05	107,07	3,11	67,46	66,84	1,99
51	25/01/14	4,4741	39,6667	nd	0,24	147,4	1,74	0,79	109,01	3,19	72,80	87,03	2,19
53	20/01/14	4,3158	39,8662	4,73	0,23	186,5	3,55	7,17	108,02	3,41	148,70	59,83	3,82

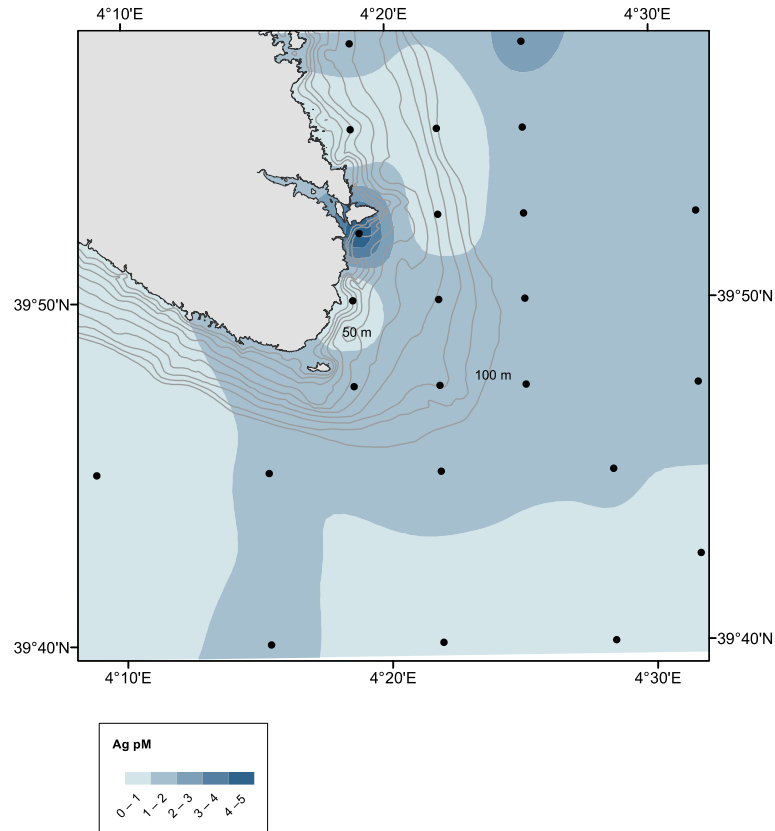


Figura 6.6. Mapa de la concentración de Plata en agua superficial en la zona adyacente al Puerto de Maó, al este de Menorca.

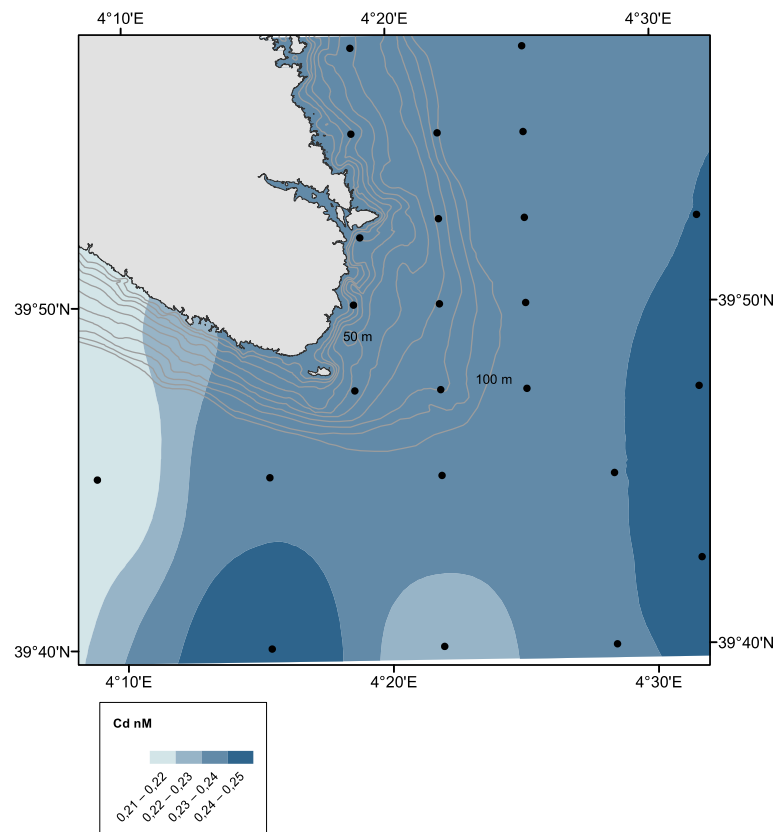


Figura 6.7. Mapa de la concentración de Cadmio en la zona adyacente al Puerto de Maó, al este de Menorca.



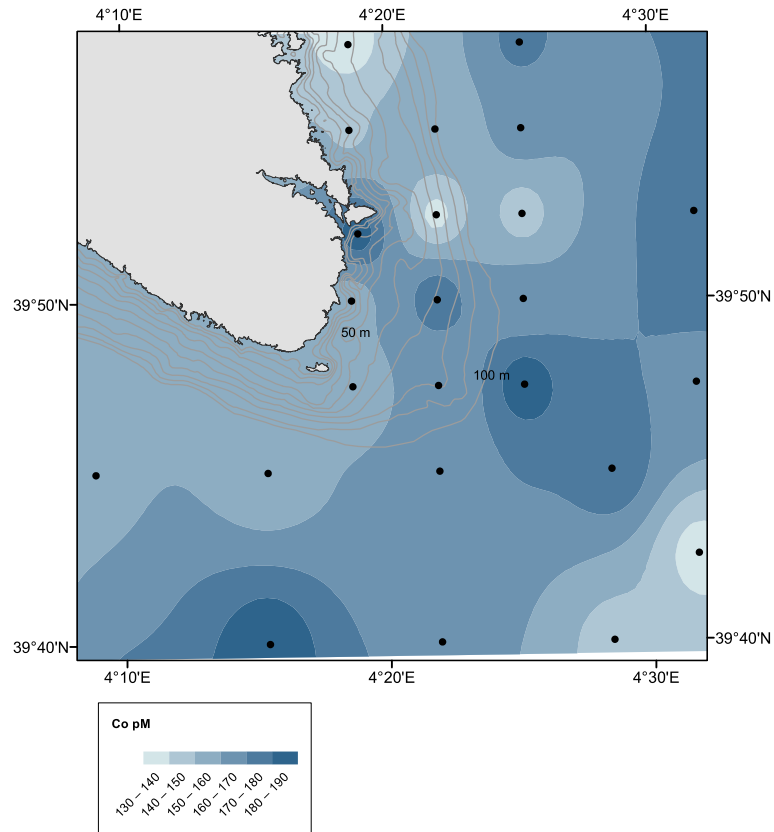


Figura 6.8. Mapa de la concentración de Cobalto en la zona adyacente al Puerto de Maó, al este de Menorca.

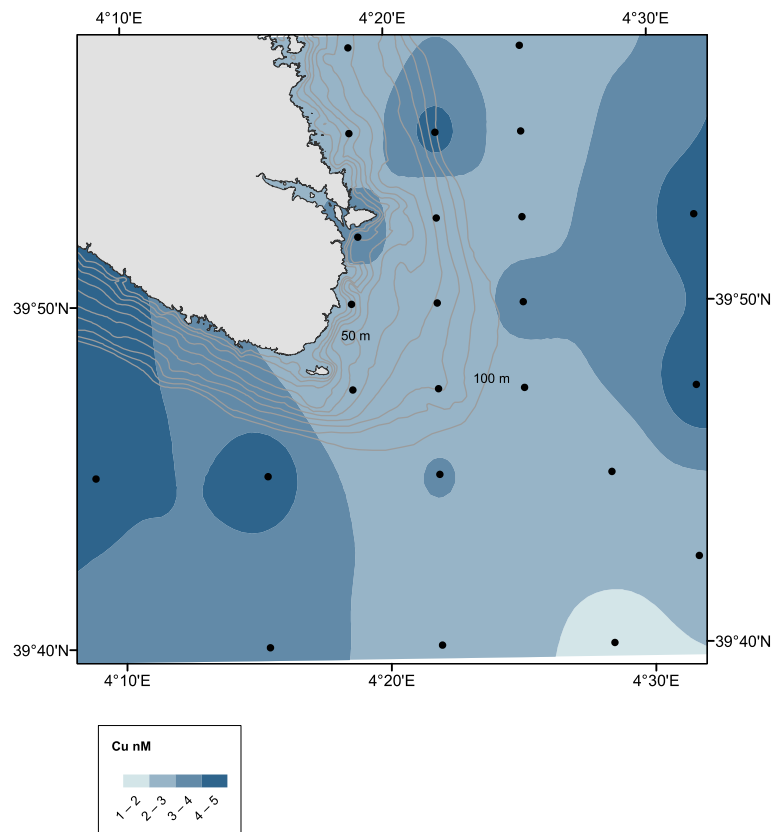


Figura 6.9. Mapa de la concentración de Cobre en la zona adyacente al Puerto de Maó, al este de Menorca.

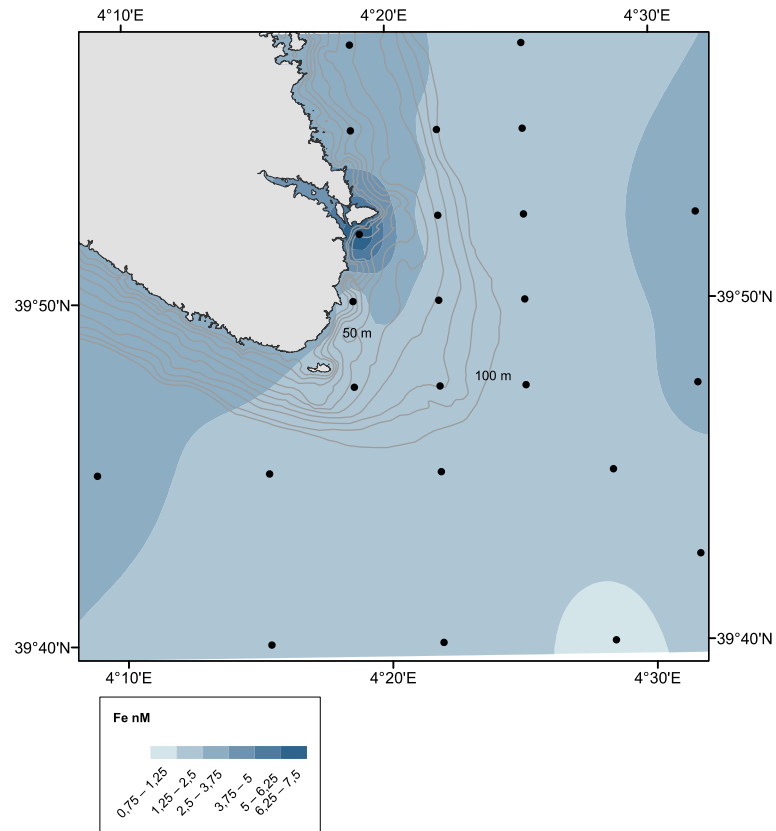


Figura 6.10. Mapa de la concentración de Hierro en la zona adyacente al Puerto de Maó, al este de Menorca.

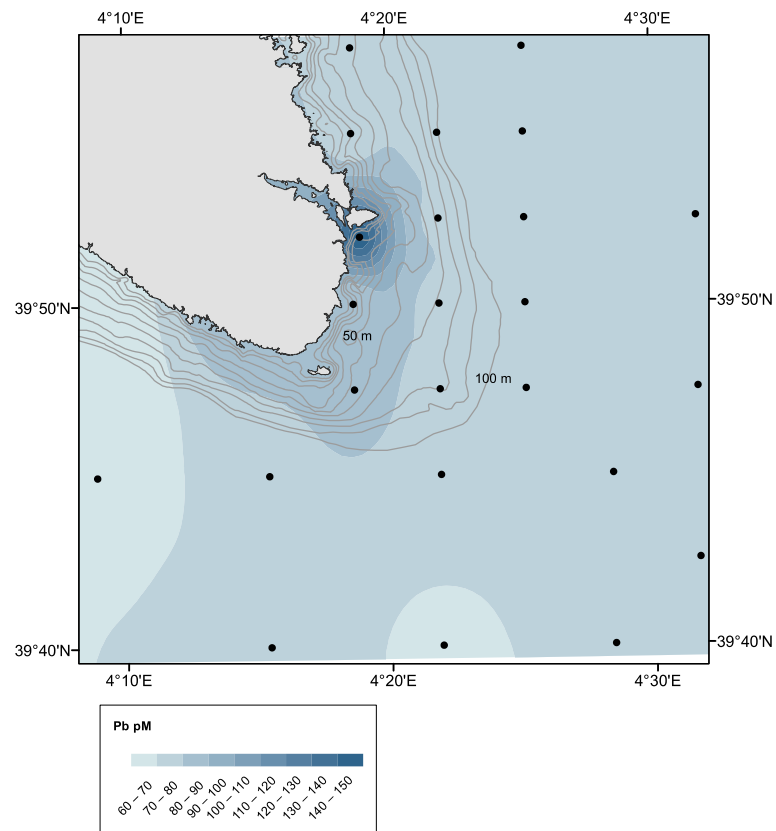


Figura 6.11. Mapa de la concentración de Plomo en la zona adyacente al Puerto de Maó, al este de Menorca.

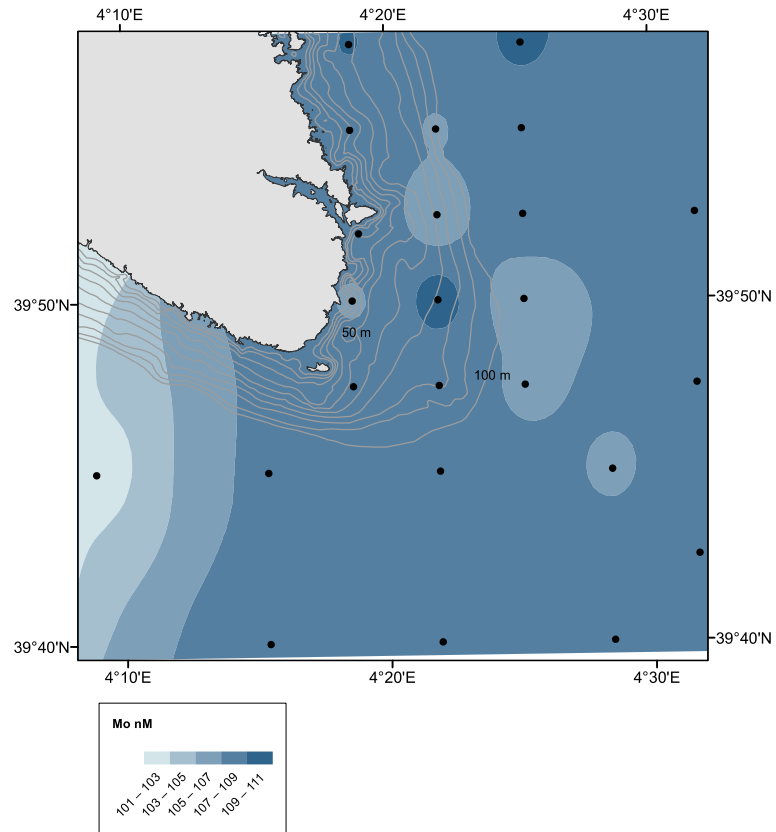


Figura 6.12. Mapa de la concentración de Molibdeno en la zona adyacente al Puerto de Maó, al este de Menorca.

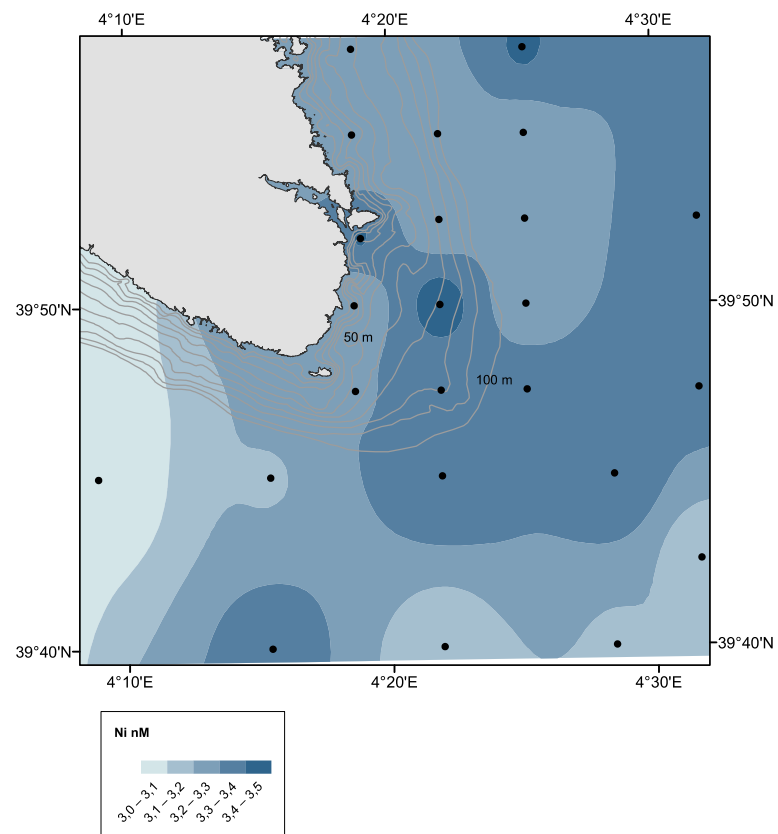


Figura 6.13. Mapa de la concentración de Níquel en la zona adyacente al Puerto de Maó, al este de Menorca.

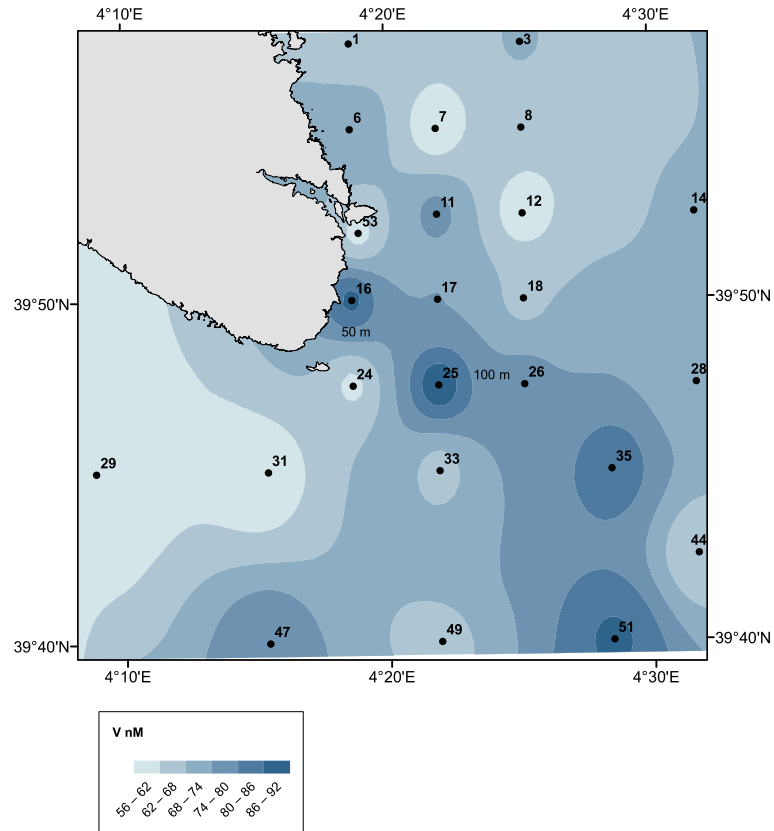


Figura 6.14. Mapa de la concentración de Vanadio en la zona adyacente al Puerto de Maó, al este de Menorca.

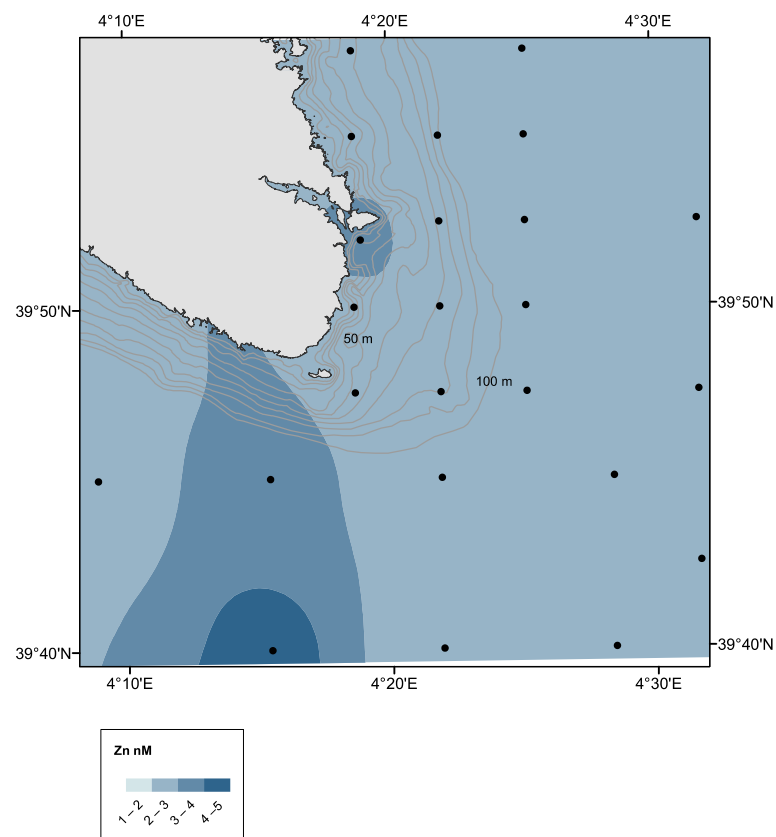


Figura 6.15. Mapa de la concentración de Zinc en la zona adyacente al Puerto de Maó, al este de Menorca.



### Caracterización del sedimento

Por lo que respecta a la granulometría, la Figura 6.16 muestra la distribución de la fracción inferior a 63  $\mu\text{m}$ , expresada en porcentaje, mientras que la Figura 6.17 muestra el contenido de carbono orgánico total, expresado en porcentaje, que en todos los casos ha sido inferior al 2,5% del peso de la muestra.

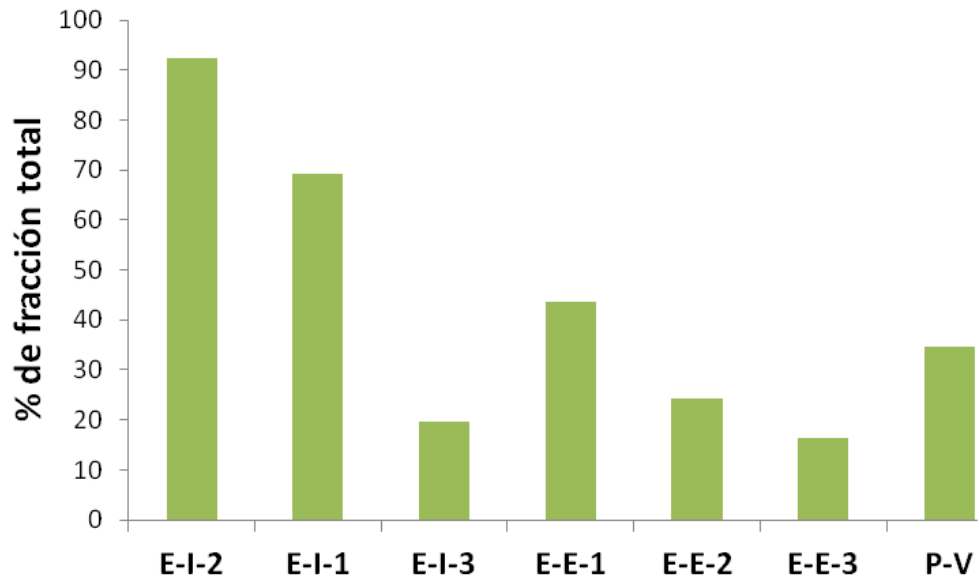


Figura 6.16. Fracción inferior a 63  $\mu\text{m}$  en los sedimentos de los distintos puntos de muestreo, expresada en porcentaje.

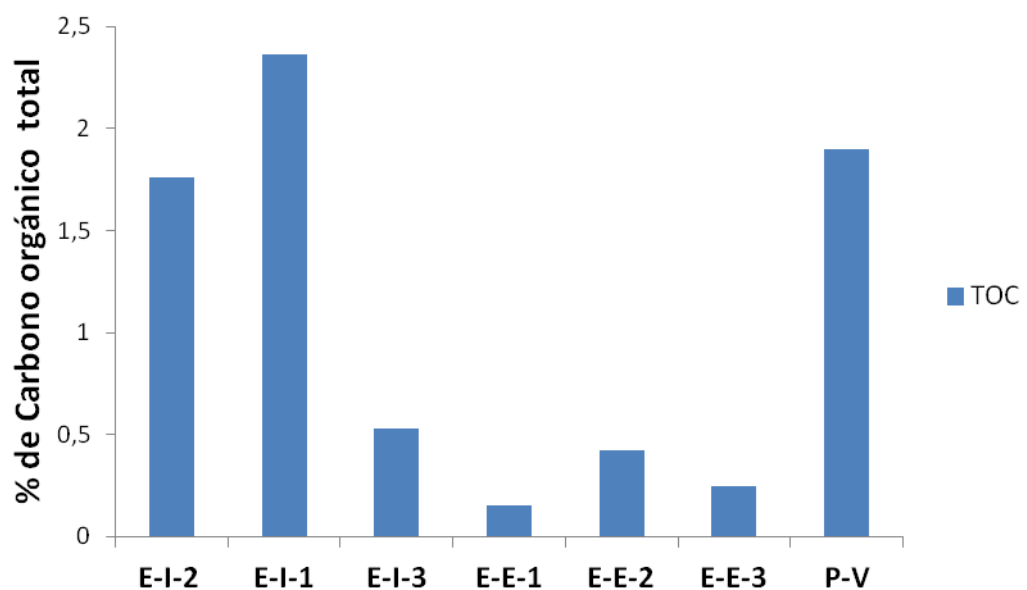


Figura 6.17. Contenido de carbono orgánico total en los sedimentos de los distintos puntos de muestreo, expresada en porcentaje.



## Niveles de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs)

### HAPs en sedimento

La distribución de la suma de los 14 hidrocarburos aromáticos policíclicos analizados se muestra en la Figura 6.18 y para cada uno de los homólogos en la Tabla 6.9. Los niveles máximos, superiores a 2000 µg/kg en peso seco, se han detectado en el interior del Puerto de Maó, como consecuencia de la actividad portuaria, de los núcleos urbanos y del relativo confinamiento de este sistema. En la Figura 6.18a se aprecia un gradiente claro en la concentración de PAHs en los sedimentos desde el interior del Puerto hacia el Mediterráneo. Sin embargo las concentraciones son significativamente inferiores en las muestras del Mediterráneo y por ello se ha ampliado el gráfico (Figura 6.18b) para poder visualizar los niveles observados en estos puntos.

Tabla 6.9. Concentraciones de los homólogos de hidrocarburos aromáticos policíclicos analizados en la fracción inferior a 2 mm de sedimento. Los datos se han expresado como µg/kg de p.s.

Homólogo	Estación de muestreo						
	EI2	EI1	EI3	EE1	EE2	EE3	PV
Fluoreno	9,4	5,6	6,3	0,3	0,1	1,0	0,0
Fenantreno	95,3	60,1	36,1	0,8	0,3	15,9	0,2
Antraceno	27,9	16,0	11,6	0,2	0,0	2,1	0,0
Fluoranteno	278,6	233,1	93,9	1,6	0,7	28,0	0,6
Pireno	256,6	274,1	77,8	0,4	0,3	25,3	0,2
Benzo (a) antraceno	279,0	310,2	50,0	0,1	0,0	15,8	0,0
Criseno	200,0	240,8	51,8	0,7	0,5	17,1	0,5
Benzo (e) pireno	203,4	164,2	35,9	0,9	1,0	12,1	0,8
Benzo (b) fluoranteno	211,9	194,4	41,1	1,1	1,4	13,6	1,2
Benzo (k) fluoranteno	122,5	110,9	21,0	0,3	0,4	7,0	0,3
Benzo (a) pireno	231,7	234,2	51,6	0,1	0,0	15,8	0,0
Benzo (g,h,i) perileno	233,8	193,6	31,4	1,0	0,6	11,3	0,4
Dibenzo (a,h) antraceno	17,5	18,3	3,0	0,0	0,0	1,1	0,0
Indeno (1,2,3-c,d) pireno	123,5	114,1	27,4	0,6	0,3	6,5	0,0
<b>PAHs TOTAL</b>	<b>2291,1</b>	<b>2169,6</b>	<b>539,0</b>	<b>8,3</b>	<b>5,8</b>	<b>172,6</b>	<b>4,3</b>

Según los ERL propuestos por la EPA y aceptados por OSPAR y MEDPOL, las concentraciones de benzo-a-antraceno y benzo(g,h,i)perileno detectadas en el punto de muestreo EI2 (más interior y próximo al Puerto) no deben provocar efectos tóxicos agudos sobre los organismos del entorno, pero podrían producir efectos como consecuencia de la exposición crónica a estos niveles de contaminación. El criterio de



seguridad sin efecto en el entorno también se supera para el benzo(g,h,i)perileno en el punto de muestreo EI1 (situado en la parte central del Puerto).

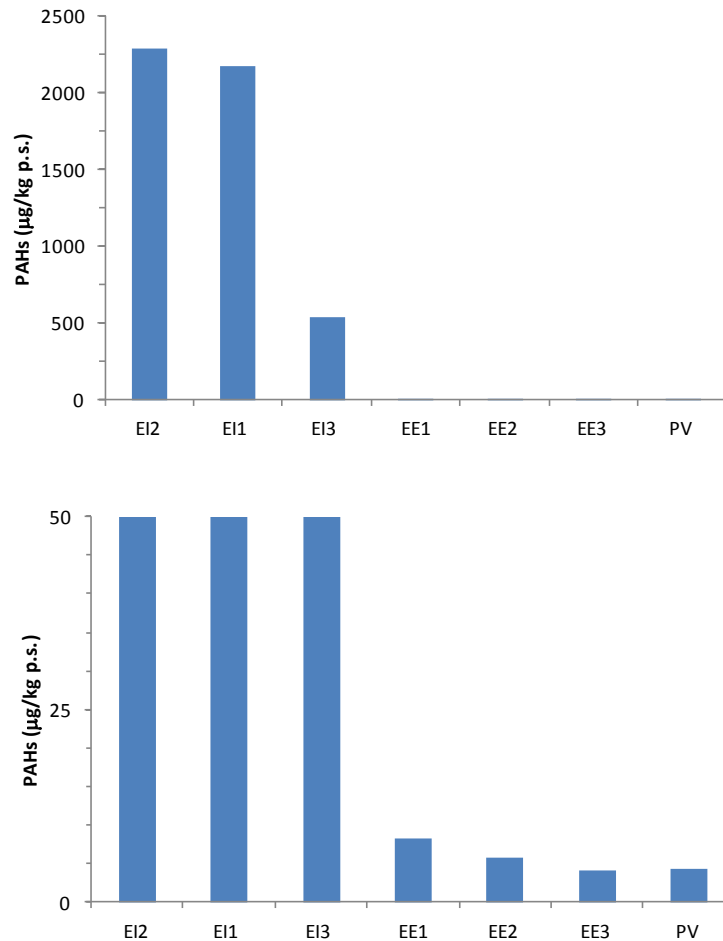


Figura 6.18. Distribución de la suma de la concentración de 14 hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs; µg/kg en peso seco) en sedimentos del Puerto de Maó (EI) y de su área de influencia (EE), así como en el punto propuesto para el vertido del dragado del Puerto (PV).

### HAPs en mejillón (*M. galloprovincialis*)

La concentración media de HAPs (suma de 14 compuestos) en mejillón se muestra en la Figura 6.19 para los dos puntos de muestreo (14MG5294 más próximo al Puerto y 14MG5289 que está algo más alejado). La concentración de PAHs es significativamente superior en los mejillones más próximos al Puerto, aunque el periodo de fondeo en este punto es sólo de 1 mes, por lo que son menos representativos que los de las jaulas 14MG5289. En este último punto los mejillones de mayor tamaño (14MG5289, 4-5 cm) tienen una concentración ligeramente superior a la de los mejillones de 3-4cm (14MG5289A). Además se muestra la concentración media de junio de 2013 para este mismo punto (13MG5289) y es sensiblemente inferior. Este dato corresponde a



mejillones con mayor periodo de exposición de otra época del año y por ello no son directamente comparables. Sin embargo servirán de referencia para el muestreo que se realice en junio de 2014 (tras el dragado).

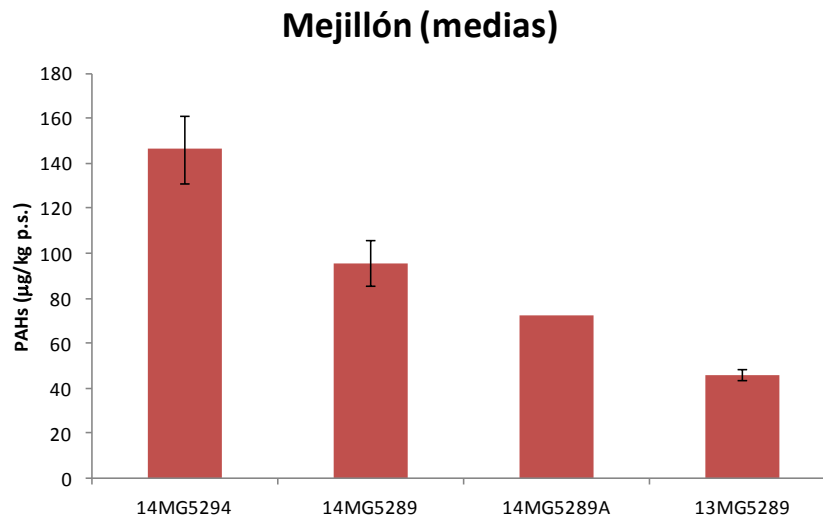


Figura 6.19. Concentración de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs; peso seco) en mejillón (*M. galloprovincialis*) del Puerto de Maó, en dos puntos situados a distancia creciente de la zona portuaria (invierno de 2014) y en el punto más alejado (junio de 2013).

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos más abundantes en mejillón son pireno, fluoranteno, benzo-e-pireno y benzo-b-fluoranteno (Tabla 6.10). Las concentraciones detectadas superan ampliamente los niveles basales propuestos para el Mediterráneo (León *et al.*, 2013) mostrando la incidencia de la contaminación urbana y portuaria. Sin embargo atendiendo a los criterios ecotoxicológicos de OSPAR y MEDPOL (EACs) las concentraciones detectadas en mejillón de HAPs no deben producir efectos agudos o crónicos en el entorno.

Tabla 6.10. Concentraciones de los homólogos de hidrocarburos aromáticos policíclicos analizados en mejillón (*M. galloprovincialis*) del puerto de Maó. Los datos se han expresado como µg/kg de p.f.

Homólogo	Estación de muestreo				
	14MG5289		14MG5289A	14MG5294	
	Media	Desviación típica	Media	Media	Desviación típica
Fluoreno	0,06	0,02	0,05	0,28	0,27
Fenantreno	1,18	0,20	0,84	1,75	0,55
Antraceno	<L.D.	<L.D.	<L.D.	0,03	0,05
Fluoranteno	1,38	0,15	0,98	2,59	0,26





Homólogo	Estación de muestreo				
	14MG5289		14MG5289A	14MG5294	
	Media	Desviación típica	Media	Media	Desviación típica
Pireno	1,28	0,11	1,05	2,85	0,65
Benzo (a) antraceno	0,65	0,07	0,51	1,20	0,09
Criseno	0,90	0,09	0,71	2,05	0,39
Benzo (e) pireno	1,44	0,08	1,09	2,73	0,31
Benzo (b) fluoranteno	1,20	0,07	0,96	2,28	0,14
Benzo (k) fluoranteno	0,61	0,04	0,52	1,08	0,03
Benzo (a) pireno	0,52	0,08	0,37	0,95	0,03
Benzo (g,h,i) perileno	0,95	0,08	0,71	1,39	0,09
Dibenzo (a,h) antraceno	0,04	0,03	0,04	0,07	0,05
Indeno (1,2,3-c,d) pireno	0,54	0,12	0,32	0,70	0,18
<b>PAHs TOTAL</b>	<b>10,74</b>	<b>0,92</b>	<b>8,15</b>	<b>19,95</b>	<b>2,33</b>

<L.D.: Inferior al límite de detección.

#### HAPs en caracola (*S. haemastoma*)

Las concentraciones detectadas en caracola del área de influencia del Puerto de Maó, antes de realizar el vertido del dragado del Puerto de Maó, se muestran en la Figura 6.20 y en la Tabla 6.11. La concentración total de HAPs varía entre 7,1 y 12,1  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  p.h. La concentración de HAPs más alta se ha detectado en las caracolas de la zona de Sant Esteve, que está situada al sur de la bocana del Puerto de Maó, superando la determinada en caracolas de La Mola (bocana del Puerto) probablemente por la hidrodinámica de la zona que favorece la deriva sur de las aguas procedentes del Puerto. Las concentraciones de HAPs son inferiores a las detectadas para mejillón muestreado dentro del Puerto como consecuencia de su menor exposición a estos compuestos en la zona mediterránea. Como no existen criterios de referencia para esta especie (*S. haemastoma*) se han comparado con los valores de referencia de mejillón y no los superan, aunque muestran la incidencia de estos compuestos y su presencia a lo largo de la costa como consecuencia de múltiples fuentes (navegación, núcleos urbanos, deposición atmosférica, etc.).

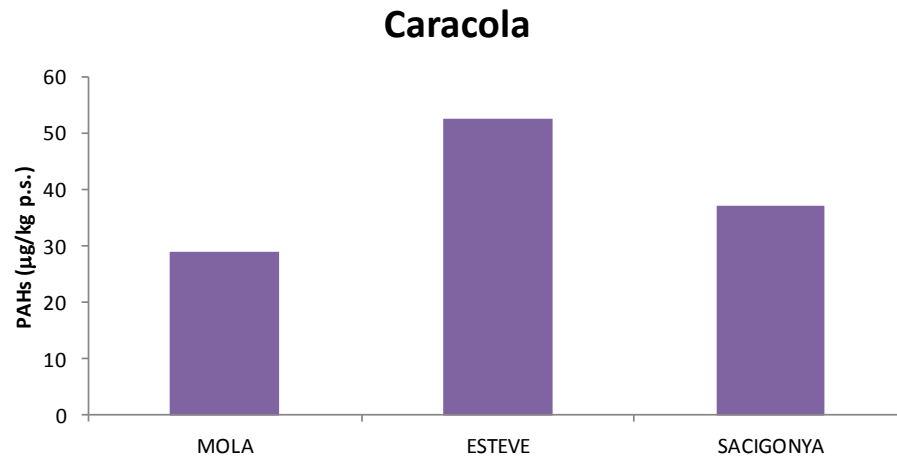


Figura 6.20. Concentración de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs; expresado en µg/kg de peso seco) para caracola (*S. haemastoma*) en distintas estaciones de muestreo en el área de influencia del Puerto de Maó.

Tabla 6.11. Concentraciones de los homólogos de hidrocarburos aromáticos policíclicos analizados en caracola (*S. haemastoma*) del área de influencia del puerto de Maó. Los datos se han expresado como µg/kg de p.f.

Homólogos	Estación de muestreo		
	SACIGONYA	MOLA	ESTEVE
Fluoreno	<L.D.	0,15	<L.D
Fenantreno	0,30	0,85	0,37
Antraceno	0,02	0,07	0,00
Fluoranteno	1,16	0,94	1,62
Pireno	6,06	4,79	8,94
Benzo (a) antraceno	0,14	0,08	0,20
Criseno	0,20	0,05	0,29
Benzo (e) pireno	0,42	0,20	0,61
Benzo (b) fluoranteno	<L.D.	<L.D	<L.D
Benzo (k) fluoranteno	<L.D.	<L.D	<L.D
Benzo (a) pireno	<L.D	<L.D	<L.D
Benzo (g,h,i) perileno	<L.D	<L.D	<L.D
Dibenzo (a,h) antraceno	<L.D.	<L.D.	<L.D
Indeno (1,2,3-c,d) pireno	<L.D	<L.D	0,10
<b>PAHs TOTAL</b>	<b>8,28</b>	<b>7,13</b>	<b>12,13</b>



## Niveles de Compuestos Organoclorados (OCs)

### Bifenilos policlorados (PCBs) en sedimento

Las concentraciones de los nueve PCBs analizados se muestran en la Tabla 6.12 y la Figura 6.21. La suma de las concentraciones de los 7 congéneres (Congéneres 28, 52, 101, 118, 138, 153 y 180) recomendados por el Consejo Internacional para la Exploración del Mar (ICES) para la monitorización de la contaminación por PCBs en el medio marino, osciló entre 0,32 y 16,4  $\mu\text{g}/\text{Kg}$  de peso seco en las tres estaciones del interior del Puerto de Maó. En general, existe un gradiente espacial desde el interior al exterior del Puerto. Los sedimentos del exterior del Puerto, costa este de Menorca, muestran concentraciones bajas de PCBs. La suma de los 7 congéneres oscila entre 0,1 y 0,36  $\mu\text{g}/\text{Kg}$  de peso seco.

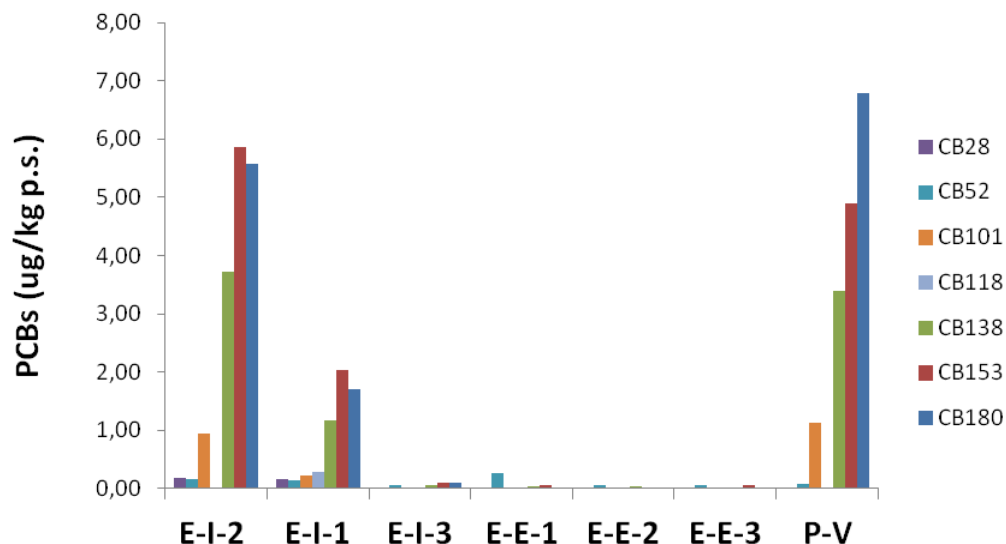


Figura 6.21. Concentraciones de los 7 PCBs ICES ( $\mu\text{g}/\text{kg}$  ps) en sedimentos del Puerto de Maó y de la costa este de Menorca.

Tabla 6.12. Concentraciones de los 9 congéneres de PCBs analizados en la fracción de sedimento inferior a 2 mm. Los datos se han expresado como  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de p.s.

Código Estación	CB28	CB52	CB101	CB105	CB118	CB138	CB153	CB156	CB180	<sup>1</sup> Suma PCBs
E-I-2	0,17	0,15	0,93	0,42	<0,02	3,71	5,86	1,37	5,57	16,40
E-I-1	0,16	0,15	0,23	<0,02	0,28	1,17	2,03	<0,02	1,70	5,71
E-I-3	<0,02	0,05	<0,02	0,08	<0,02	0,05	0,10	0,16	0,10	0,32
E-E-1	<0,02	0,27	<0,02	0,06	<0,02	<0,02	0,05	<0,02	<0,02	0,38
E-E-2	<0,02	0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,10
E-E-3	<0,02	0,05	<0,02	0,07	<0,02	<0,02	0,05	<0,02	<0,02	0,16
P-V	<0,02	<0,02	0,26	0,14	0,36	0,39	0,35	0,09	0,12	1,71

<sup>1</sup> Suma de los 7 congéneres recomendados por ICES, (Congéneres 28, 52, 101, 118, 138, 153 y 180).



En el punto de vertido las concentraciones son más altas que las del exterior del Puerto pero inferiores que las de los sedimentos de los puntos EI1 y EI2 del interior de la Puerto. Concretamente la suma de los 7 PCBs fue 1,70 µg/Kg de peso seco.

Las concentraciones de PCBs del interior del Puerto son similares a las de zonas más contaminadas del litoral español, como por ejemplo la desembocadura del río Llobregat, donde la suma de los 7 PCBs osciló en sedimentos superficiales entre 2,01 y 30,69 µg/kg p.s. ([http://www.magrama.gob.es/es/costas/temas/estrategias-marinas/IV\\_D8\\_Levantino-Balear\\_tcm7-207261.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/costas/temas/estrategias-marinas/IV_D8_Levantino-Balear_tcm7-207261.pdf)).

Por el contrario, las concentraciones obtenidas en las muestras del exterior son similares a las encontradas en sedimentos de la costa mediterránea española muestreados en zonas alejadas de importantes núcleos industriales y urbanos. De esta forma los sedimentos del exterior tienen concentraciones inferiores a los valores de línea base (BAC) definidos para sedimento (ver Tabla 6.4), mientras que por el contrario los del interior superan este valor.

En el caso del sedimento más interno del Puerto (E-I-2) también se superó el valor de ERL (11,5 µg/kg p.s.), que define de acuerdo con criterios ecotoxicológicos las concentraciones con efectos tóxicos sobre los ecosistemas marinos. El sedimento del punto de vertido supera el valor de línea base (BAC), lo que demuestra una contaminación por este tipo de sustancias, pero sin llegar a superar el valor ERL.

### **Pesticidas organoclorados en sedimento**

La concentración de pp' DDT y sus metabolitos en los sedimentos se muestra en la Tabla 6.13 y en la gráfica de la Figura 6.22. Las mayores concentraciones aparecen en el interior del Puerto de Maó. Al igual que sucede con los PCBs, existe un gradiente de concentración hacia el exterior. Los niveles del sedimento muestreado en el exterior, costa este de Menorca, son bajos e inferiores a los niveles de línea base definidos para DDE en sedimento.



Tabla 6.13. Concentraciones de DDT y sus metabolitos en la fracción de sedimento inferior a 2 mm. Los datos están expresados como  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de p.s.

Código Estación	pp' DDE	pp'DDD	op'DDT	pp'DDT	<sup>1</sup> Suma pp DDTs
E-I-2	0,73	0,45	<0,02	0,19	1,36
E-I-1	0,41	<0,02	<0,02	0,03	0,45
E-I-3	<0,02	0,05	<0,02	<0,02	0,05
E-E-1	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
E-E-2	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
E-E-3	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
P-V	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02

<sup>1</sup> DDTs, expresados como la suma de pp' DDT, op' DDT y de los metabolitos pp' DDD y pp' DDE.

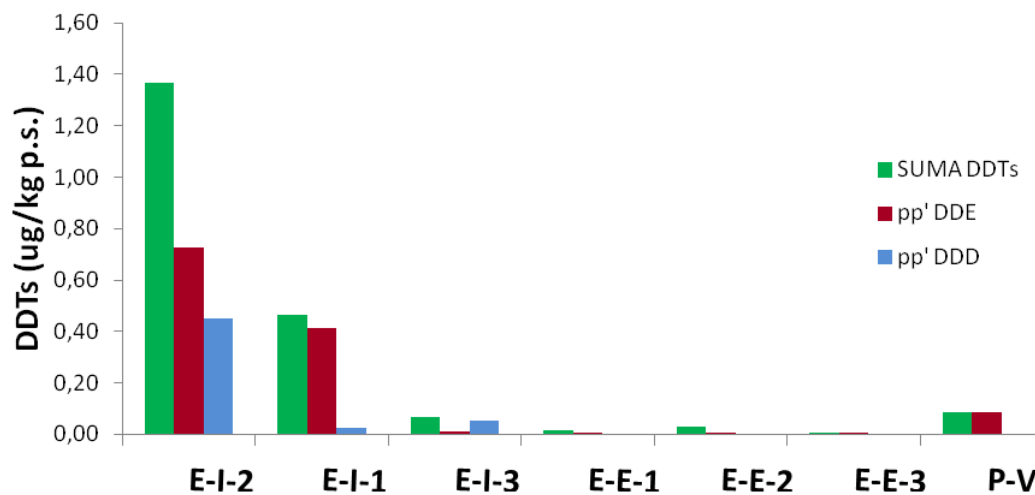


Figura 6.22. Concentraciones de DDTs en sedimento del Puerto de Maó y de la costa este de Menorca.

En el interior del Puerto, las concentraciones son superiores al nivel de línea base (BAC), evidenciando la existencia de contaminación por este tipo de compuestos, pero en ningún caso se superan los valores de ERL. En el punto de vertido la contaminación por estos compuestos es próxima a la del nivel de línea base y sin relevancia ecotoxicológica cuando se compara con el nivel ERL definido para DDE.

Con respecto al resto de los plaguicidas analizados, éstos se detectaron en algunas muestras. En general, presentaron valores de concentración muy bajos y similares a los obtenidos en zonas de baja actividad antropogénica.



### Bifenilos policlorados (PCBs) en mejillón (*M. galloprovincialis*)

En la Tabla 6.14 y la Figura 6.23 se muestran las concentraciones de PCBs expresadas como  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de peso fresco. En general la concentración de las muestras recogidas en Febrero fue independiente de la batea de las que se obtuvieron. La suma concentración de los 7 PCBs fueron 4,80 y 5,64  $\mu\text{g}/\text{kg}$  p.f. en los mejillones 5289 y 5294, respectivamente. En las muestras de mejillón recogidas en 2013 (código 13MG5289) las concentraciones fueron mayores que en las muestras de 2014, siendo la suma de los 7 PCBs 8,29  $\mu\text{g}/\text{kg}$  p.f.. Esto no es raro porque la acumulación de contaminantes en estos organismos muestra variaciones estacionales relacionadas con su fisiología y condiciones del medio.

Tabla 6.14. Concentraciones de PCBs en los tejidos blandos de mejillón expresadas en  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de peso fresco.

Congéneres	13MG5289		14MG5294		14MG5289		14MG5289A
	Media	Desviación típica	Media	Desviación típica	Media	Desviación típica	
CB28	0,06	0,03	0,05	0,04	<0,05		0,07
CB52	0,48	0,06	0,08	0,05	0,06	0,04	0,11
CB101	1,33	0,15	0,52	0,07	0,39	0,10	0,31
CB105	0,18	0,02	0,18	0,12	0,06	0,07	0,28
CB118	0,74	0,05	0,26	0,14	0,23	0,12	0,00
CB138	1,68	0,21	1,21	0,21	1,05	0,23	1,15
CB153	3,54	0,41	3,10	0,36	2,71	0,35	2,42
CB156	0,16	0,06	0,08	0,02	0,06	0,03	0,06
CB180	0,45	0,15	0,42	0,08	0,34	0,06	0,29
<sup>1</sup> $\Sigma$ PCBs	8,29	0,99	5,64	0,50	4,80	0,63	4,35

<sup>1</sup> Suma de los 7 congéneres recomendados por ICES. Congéneres 28, 52, 101, 118, 138, 153 y 180.

Los valores obtenidos en los mejillones de Maó en 2014, se encuentran dentro del intervalo correspondiente a concentraciones moderadas si comparamos los datos obtenidos con las concentraciones de mejillones silvestres del Mediterráneo recogidas durante el mes de mayo-junio de 2013. En la Tabla 6.15 se muestra los intervalos de concentración obtenidos en mejillones de roca del litoral mediterráneo español y su categorización. En el caso de las muestras obtenidas en 2013 estos valores se pueden clasificar como concentraciones moderadas.

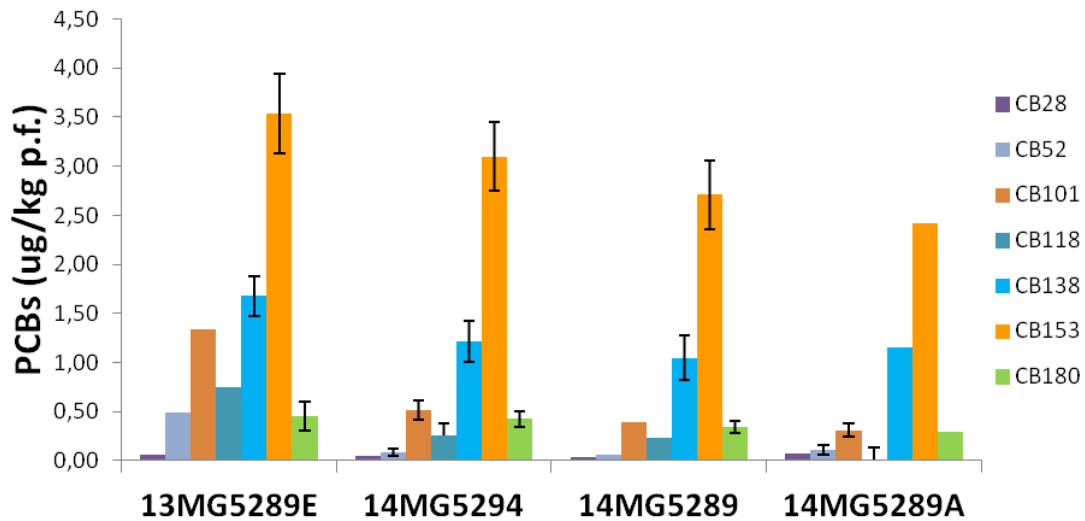


Figura 6.23. Concentraciones de los 7 PCBs ICES en mejillón (*M. galloprovincialis*) del Puerto de Maó, en dos puntos situados a distancia creciente de la zona portuaria (invierno de 2014) y en el punto más alejado, cuyas muestras se recogieron en junio de 2013, durante la campaña MEJI13.

Tabla 6.15. Intervalos de concentración ( $\mu\text{g}/\text{kg p.f.}$ ) de la suma de los 7 congéneres de PCBs en mejillón (*M. galloprovincialis*).

Concentraciones de la suma de 7 congéneres de PCBs en <i>M. galloprovincialis</i> ( $\mu\text{g}/\text{kg p.f.}$ )		
Baja	log-valor < media - 1 SD	< 1,22
Moderada	media - 1 SD < log-valor < media + 1 SD	[1,22-12,42]
Alta	media + 1 SD < log-valor < media + 2 SD	[12,42-39,62]
Muy Alta	log-valor > media + 2 SD	>39,62

Comparando con los criterios ecotoxicológicos de la Tabla 6.4, encontramos que la mayor parte de los congéneres analizados presentan concentraciones próximas a los niveles BAC o de línea base (caso de los PCBs 28, 52, 101, 105 y 156). Por el contrario los PCBs 118, 153, 138 y 180 superan los niveles BAC sin llegar a superar los niveles de EACs. Sólo los niveles del PCBs 118 y 101 (en este caso sólo de los mejillones recogidos en 2013) se encuentran en el límite del valor del EACs definido para estos congéneres.

### Plaguicidas clorados en mejillón (*M. galloprovincialis*)

La concentración de los diferentes plaguicidas analizados se muestra en la Tabla 6.16 y en la Figura 6.24. Las concentraciones de lindano ( $\gamma$ -hexaclorociclohexano),  $\alpha$ -hexaclorociclohexano,  $\beta$ -hexaclorociclohexano, hexaclorobenceno, aldrín, endrín, dieldrín e isodrín fueron inferiores a los límites de detección del método analítico empleado en el



análisis de las muestras de mejillón (0,05 µg/kg p.f.). Sin embargo la concentración de la suma de DDT y sus metabolitos en mejillón de Maó osciló entre 0,25-1,21 µg/kg p.f.

Tabla 6.16. Concentraciones de plaguicidas en los tejidos blandos de mejillón (*M. galloprovincialis*), expresadas en µg/kg de peso fresco.

Compuesto	13MG5289		14MG5294		14MG5289		14MG5289A
	Media	Desviación típica	Media	Desviación típica	Media	Desviación típica	
α-HCH	<0,05		<0,05		<0,05		<0,05
β-HCH	<0,05		<0,05		<0,05		<0,05
γ-HCH	<0,05		<0,05		<0,05		<0,05
HCB	<0,05		<0,05		<0,05		<0,05
Aldrin	<0,05		<0,05		<0,05		<0,05
Isodrin	<0,05		<0,05		<0,05		<0,05
Dieldrin	0,13	0,05	0,06	0,02	<0,05		0,06
Endrin	0,15	0,06	<0,05		<0,05		<0,05
t-NNC	<0,05		<0,05		<0,05		<0,05
op' DDT	<0,05		<0,05		<0,05		<0,05
pp' DDD	0,07	0,04	0,13	0,05	0,07	0,04	<0,05
pp' DDT	<0,05		<0,05		<0,05		<0,05
pp' DDE	1,19	0,11	0,50	0,14	0,35	0,14	0,21
<sup>1</sup> ΣDDTs	1,21	0,16	0,65	0,13	0,42	0,17	0,25

<sup>1</sup>ΣDDTs, expresados como la suma de pp' DDT, op' DDT y de los metabolitos pp' DDD y pp' DDE.

La monitorización continuada de las concentraciones de DDT, que realiza el IEO en el litoral mediterráneo Ibérico usando mejillón como indicador, ha permitido categorizar las concentraciones de estos compuestos y establecer 4 intervalos de concentración (ver Tabla 6.17): baja, moderada, alta o muy alta. Atendiendo a estos criterios, las concentraciones de DDT en Maó pueden clasificarse como bajas o moderadas. Si atendemos a los criterios eco-toxicológicos definidos por OSPAR para el metabolito DDE, podemos concluir que las concentraciones medias de este compuesto en los mejillones de Maó son muy inferiores a los 10 µg/kg p.f. establecidos por EAC en mejillón. Por lo que su concentración no parece ser relevante a nivel eco-toxicológico.



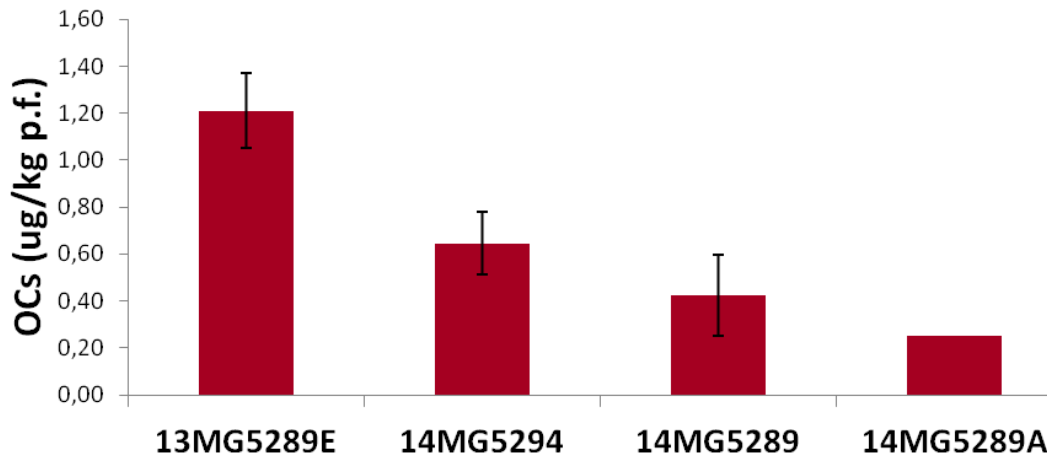


Figura 6.24. Concentraciones de DDTs en mejillón (*M. galloprovincialis*) del Puerto de Maó, en dos puntos situados a distancia creciente de la zona portuaria (invierno de 2014) y en el punto más alejado, cuyas muestras se recogieron en junio de 2013, durante la campaña MEJI13.

Tabla 6.17. Criterios para la clasificación de los niveles de DDTs en mejillón (*M. galloprovincialis*).

Niveles de la suma de pp'DDT, op'DDT, pp'DDD y pp'DDE en mejillón ( $\mu\text{g}/\text{kg p.f.}$ )		
Baja	log-valor < media - 1 SD	< 0,44
Moderada	media - 1 SD < log-valor < media + 1 SD	[0,44-4,16]
Alta	media + 1 SD < log-valor < media + 2 SD	[4,16-12,82]
Muy Alta	lg-valor > media + 2 SD	>12,82

### Bifenilos policlorados (PCBs) en caracola (*S. haemastoma*)

En la Tabla 6.18 y Figura 6.25 se muestran las concentraciones de PCBs expresadas como  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de peso fresco. Los mayores valores se obtuvieron en la zona próxima a la Mola, donde existen registros de vertidos de materiales dragados. En las otras dos zonas los niveles fueron muy inferiores. Este organismo nunca ha sido usado en las costas españolas como indicador de contaminación por compuestos organoclorados, por lo que sus concentraciones no pueden ser en este momento categorizadas como se hizo con los datos de mejillón o sedimento, pero ponen en evidencia la presencia de este tipo de compuestos en la costa de Menorca.



Tabla 6.18. Concentraciones de PCBs en caracola (*S. haemastoma*), expresados en  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de peso fresco.

Congéneres	Área de muestreo		
	MOLA	SANT ESTEVE	SA CIGONYA
CB28	<0,05	<0,05	<0,05
CB52	<0,05	<0,05	<0,05
CB101	0,16	0,07	0,05
CB105	<0,05	<0,05	<0,05
CB118	<0,05	0,09	<0,05
CB138	0,78	0,21	0,14
CB153	3,42	0,73	0,47
CB156	<0,05	<0,05	<0,05
CB180	1,08	0,47	0,10
<sup>1</sup> $\Sigma$ PCBs	5,48	1,57	0,75

<sup>1</sup> Suma de los 7 congéneres recomendados por ICES. Congéneres 28, 52, 101, 118, 138, 153 y 180

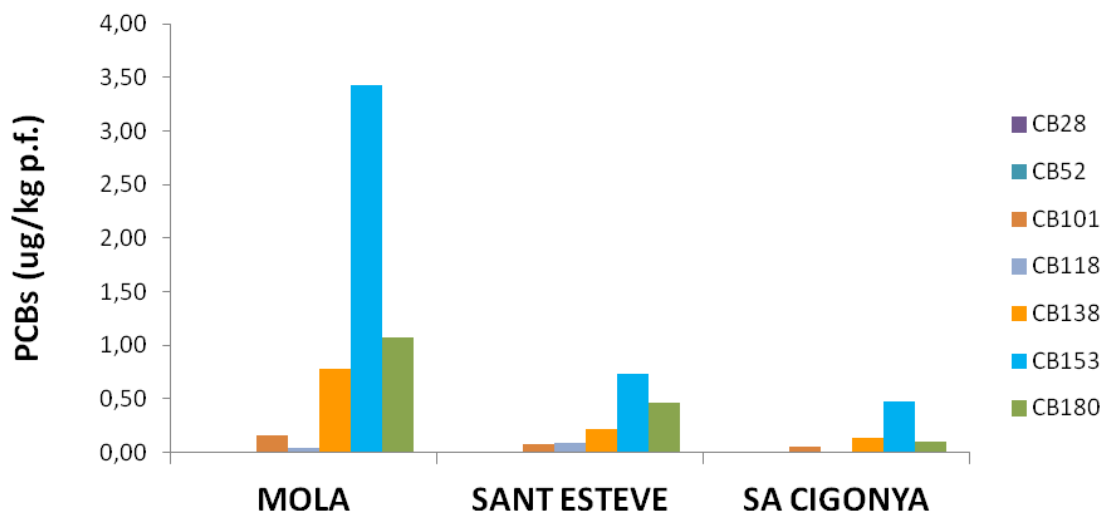


Figura 6.25. Concentraciones de los 7 PCBs ICES en muestras de caracola (*S. haemastoma*) de las distintas áreas de muestreo, expresadas en  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de peso fresco.

### Pesticidas organoclorados en caracola (*S. haemastoma*)

Las concentraciones de plaguicidas analizados en los tejidos de las caracolas muestreadas aparecen en la Tabla 6.19 y Figura 6.26. Todos los contaminantes de esta familia presentaron concentraciones inferiores o próximas a los límites de detección del método analítico empleado en el análisis de las muestras ( $0,05 \mu\text{g}/\text{kg}$  p.f.). Sólo el DDE presentó mayores concentraciones, especialmente en la zona de la Mola.



Tabla 6.19. Niveles de plaguicidas en caracola (*S. haemastoma*), expresados en  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de peso fresco.

Compuesto	MOLA	SANT ESTEVE	SA CIGONYA
$\alpha$ -HCH	<0,05	<0,05	<0,05
$\beta$ -HCH	<0,05	<0,05	<0,05
$\gamma$ -HCH	<0,05	<0,05	<0,05
HCB	<0,05	<0,05	<0,05
Aldrin	<0,05	<0,05	<0,05
Isodrin	<0,05	<0,05	<0,05
Dieldrin	<0,05	<0,05	<0,05
Endrin	<0,05	<0,05	<0,05
t-NNC	<0,05	<0,05	<0,05
op'DDT	<0,05	<0,05	<0,05
pp'DDD	<0,05	0,05	<0,05
pp'DDT	<0,05	<0,05	<0,05
pp'DDE	0,52	0,22	0,25
<sup>1</sup> SUMA DDTs	0,52	0,26	0,25

<sup>1</sup> DDTs, expresados como la suma de pp' DDT, op' DDT y de los metabolitos pp' DDD y pp' DDE.

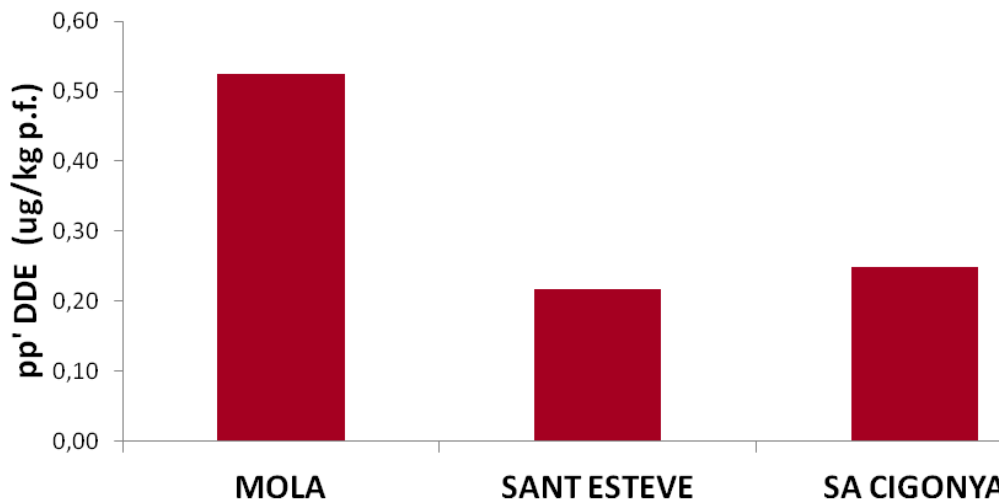


Figura 6.26. Concentraciones de pp' DDE en muestras de caracola (*S. haemastoma*) de las distintas áreas de muestreo, expresadas en  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de peso fresco.

## Metales pesados

### Metales pesados en sedimento

Los metales pesados se acumulan en los sedimentos de diferentes formas, dependiendo de sus características morfológicas y geoquímicas, y generalmente sus concentraciones aumentan significativamente al disminuir el tamaño de las partículas que forman el



sedimento. Es por ello que sedimentos muy arenosos o muy fangosos, reflejen de forma diferente la contaminación de una zona. En la Tabla 6.20 se muestran las concentraciones obtenidas en los diferentes metales analizados y en las Figuras 6.27-6.34, algunos de los metales estudiados, a modo de ejemplo.

Tabla 6.20. Concentraciones de metales en sedimentos (Unidades: mg/kg peso seco; Al y Fe en %).

Metales	EI2	EI1	EI3	EE1	EE2	EE3	PV
Al	4,24	2,54	0,970	3,16	2,75	1,87	3,01
As	17,8	15,2	9,90	12,2	13,4	12,7	15,0
Cd	0,1327	0,210	0,0658	0,0656	0,0439	0,04	0,05
Cu	83,2	42,1	6,41	5,21	4,68	5,72	6,78
Cr	55,5	38,4	18,7	39,6	35,3	24,9	34,2
Fe	2,24	1,39	0,37	1,79	1,38	0,97	1,40
Hg	0,795	0,592	0,033	0,021	0,021	0,011	0,013
Li	40,1	28,9	13,1	26,2	24,3	18,8	25,7
Mn	224	180	129	373	301	238	317
Ni	26,2	18,1	4,04	14,3	11,2	7,11	10,9
Pb	110	109	4,85	19,4	6,21	4,37	21,9
Zn	140	126	11,9	35,3	24,5	17,9	29,4

En general, se observa que la distribución de los diferentes metales en los sedimentos del Puerto de Maó presenta un gradiente de concentración desde los puntos más interiores hacia el exterior. Para algunos elementos, la actividad portuaria y urbana se refleja claramente en los niveles detectados. Los valores inferiores corresponden a las estaciones situadas en el exterior del Puerto, que son del mismo orden que los que se obtienen en la estación PV, que corresponde al punto donde se va a efectuar el vertido del material dragado.

Arsénico (Figura 6.27): Niveles superiores en las dos estaciones más interiores (EI2 y EI1), siendo la distribución en general bastante homogénea en la zona de estudio. Todas las muestras sobrepasan el ERL por lo que podría producirse algún efecto subletal a medio o largo plazo en los organismos existentes en la zona. Sin embargo, estos valores se mantienen por debajo del ERM.

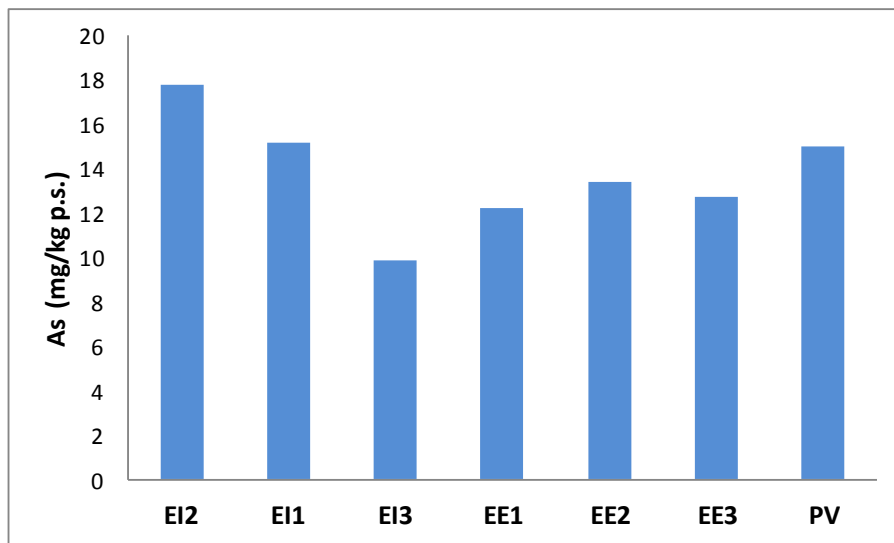


Figura 6.27. Distribución de arsénico en sedimento del Puerto de Maó y de la costa este de Menorca.

Cadmio (Figura 6.28): Niveles bajos, presentando los puntos exteriores concentraciones muy uniformes. Todos los valores obtenidos están por debajo del ERL, por lo que las concentraciones de este metal no deben producir efectos adversos en los organismos que habitan en el área estudiada.

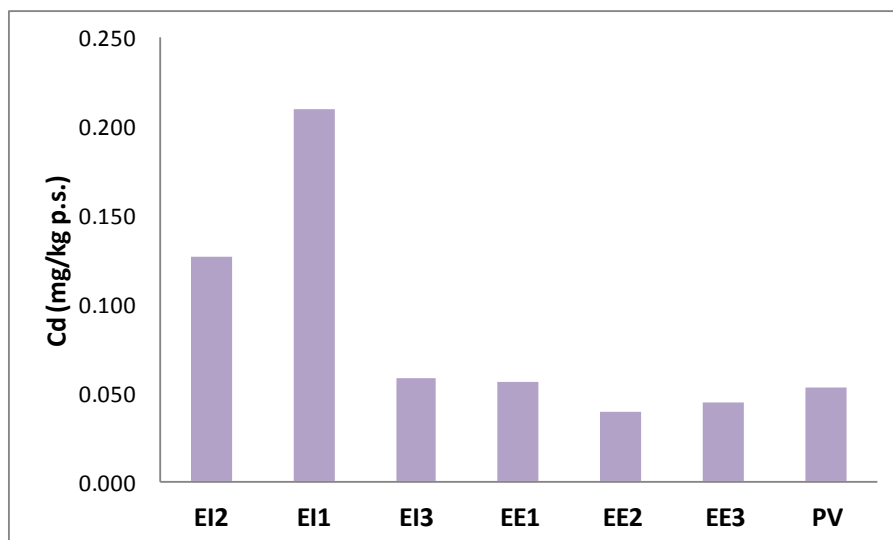


Figura 6.28. Distribución de cadmio en sedimento del Puerto de Maó y de la costa este de Menorca.

Cobre (Figura 6.29): Las concentraciones son bajas y muy uniformes en las estaciones situadas en el exterior del Puerto. El ERL de este metal no ha sido superado en ninguna



de esas muestras de sedimento y, por lo tanto, ninguna de las zonas presenta a priori toxicidad potencial. Sin embargo, los valores de Cu en los puntos EI2 (83,2 mg/kg p.s.) y EI1 (42,1 mg/kg p.s.) en el interior del Puerto superan el ERL (34 mg/kg p.s.).

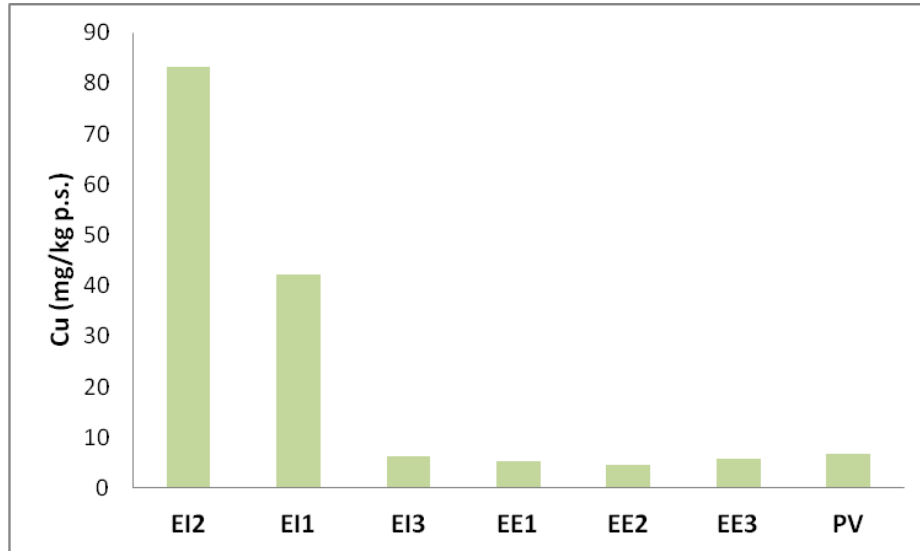


Figura 6.29. Distribución de cobre en sedimento del Puerto de Maó y de la costa este de Menorca.

Cromo (Figura 6.30): Se observa un gradiente claro de concentración del interior a la zona externa del Puerto. Los puntos exteriores presentan concentraciones muy uniformes y similares a las observadas en la EI1. El valor del ERL de este metal no ha sido superado en ninguna de las muestras de sedimento y, por lo tanto, se puede señalar que ninguna de las zonas presenta a priori toxicidad potencial.

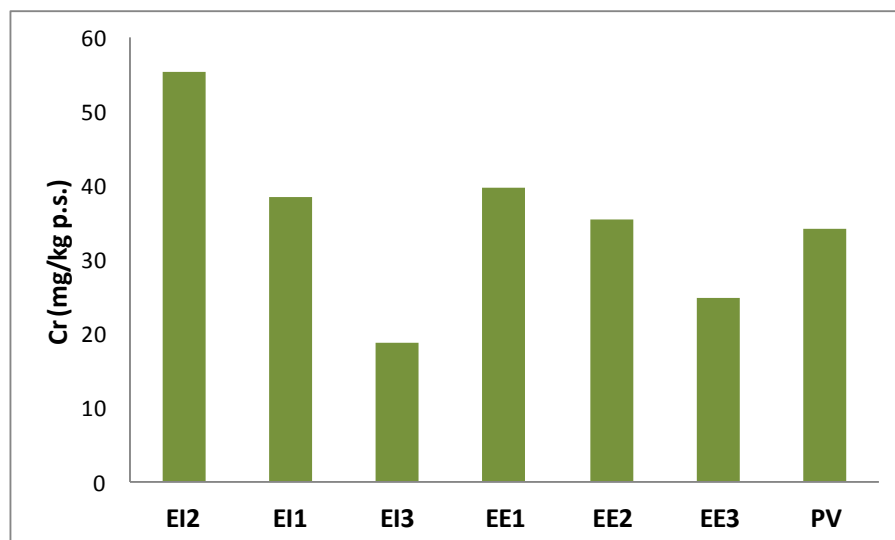


Figura 6.30. Distribución de cromo en sedimento del Puerto de Maó y de la costa este de Menorca.



Níquel (Figura 6.31): El ERL de este elemento (21 mg/kg p.s.) es sobrepasado únicamente por la estación EI2 (26,2 mg/kg p.s.). El área de influencia del Puerto presenta valores bastante homogéneos así como el punto propuesto (PV) para el nuevo vertido del material dragado en el Puerto de Maó.

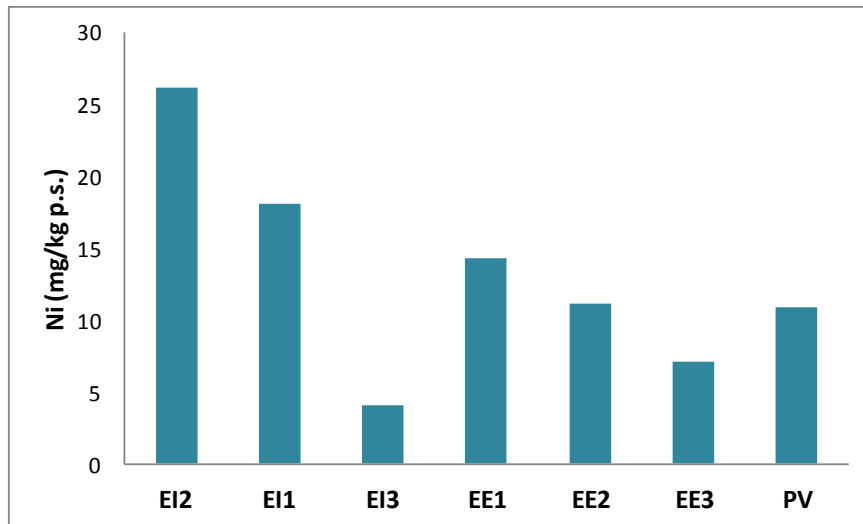


Figura 6.31. Distribución de níquel en sedimento del Puerto de Maó y de la costa este de Menorca.

Plomo (Figura 6.32): Niveles bajos en todas las estaciones más exteriores del Puerto. Las concentraciones observadas en los sedimentos interiores son del mismo orden y superiores a 100 mg/kg p.s. y duplican el valor del ERL para este elemento, por lo que pueden provocar efectos adversos a los organismos que habitan en la zona por la exposición crónica a este elemento. El ERM (220 mg/kg p.s.) no es superado en la zona interna.

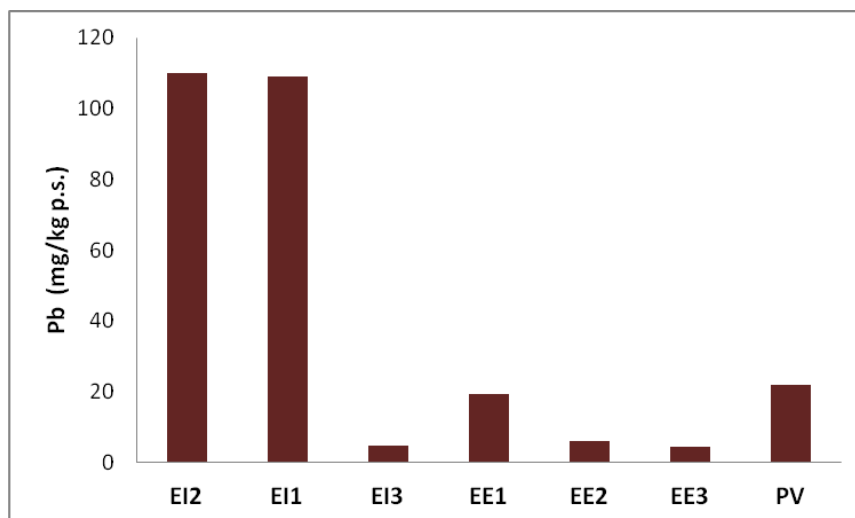


Figura 6.32. Distribución de plomo en sedimento del Puerto de Maó y de la costa este de Menorca.



Zinc (Figura 6.33): Como ocurre con otros metales analizados los niveles son mucho más bajos en las estaciones situadas en el exterior del Puerto de Maó, observándose un incremento importante de los valores en los puntos más interiores. Sin embargo, todos los valores registrados se situaron por debajo del límite ERL establecido para este metal, por lo que las concentraciones de este elemento no parecen ser relevantes a nivel ecotoxicológico.

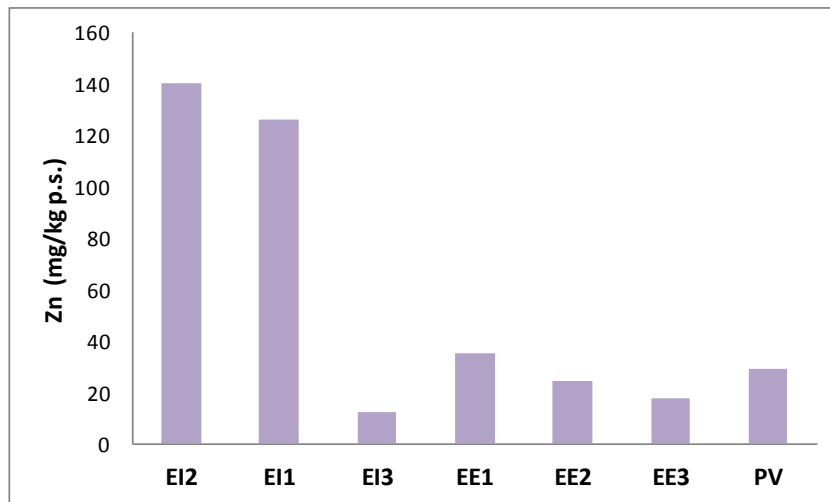


Figura 6.33. Distribución de zinc en sedimento del Puerto de Maó y de la costa este de Menorca.

Mercurio (Figura 6.34): Los niveles de Hg sobrepasan el ERL en las dos estaciones interiores (EI2 y EI1) e incluso el ERM (0,71 mg/kg p.s.) es sobrepasado en los sedimentos de la zona más interior (EI2, 0,795 mg/kg p.s.). Estos resultados indican que en esa zona, interior del Puerto de Maó, pueden producirse efectos tóxicos agudos sobre los organismos como resultado de la exposición a los niveles detectados. El resto de las estaciones situadas en la zona exterior presentan concentraciones muy bajas.

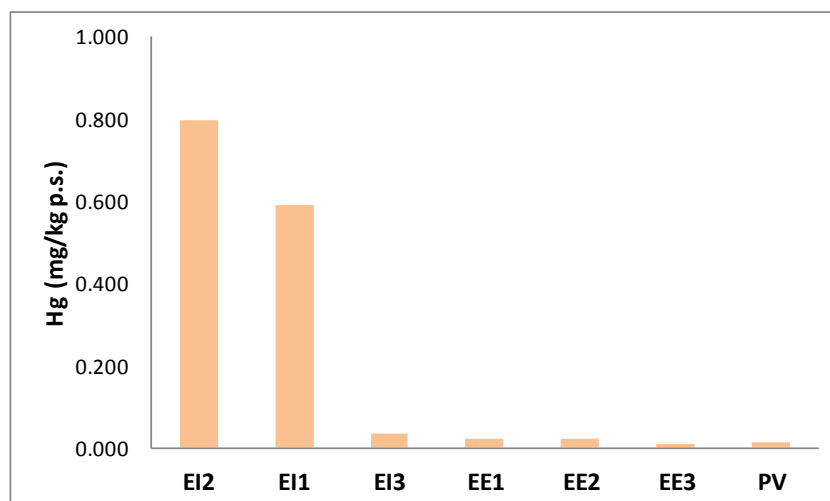


Figura 6.34. Distribución de mercurio en sedimento del Puerto de Maó y de la costa este de Menorca.





No existen valores de ERL y ERM para el resto de los elementos analizados, aunque desde el punto de vista medioambiental no tienen la importancia de los citados anteriormente.

### Metales pesados en mejillón (*M. galloprovincialis*)

Las concentraciones obtenidas se muestran en la Tabla 6.21 y se representan sus valores medios en la Figura 6.35. Los mejillones del punto 14MG5294 (más próximo a la zona portuaria) sólo han estado fondeados en el Puerto de Maó durante un mes, por lo que son menos representativos que los del punto 14MG5289. De esta última muestra, se han preparado dos submuestras: (i) mejillones de mayor tamaño, que corresponden a 4-5 cm y se denominan 14MG5289; y (ii) mejillones de 3-4cm (14MG5289A).

Tabla 6.21. Concentraciones de metales en mejillón (*M. galloprovincialis*) del puerto de Maó (Unidades: mg/kg peso seco).

Metales	14MG5294	14MG5294	14MG5294	14MG5289	14MG5289	14MG5289	14MG5289
	P1	P2	P3	E1	E2	E3	A
As	7,70	8,02	8,05	8,63	9,10	9,08	7,81
Cd	0,740	0,764	0,721	0,963	0,938	0,849	0,782
Cu	14,1	12,4	12,1	13,2	13,5	11,3	11,3
Hg	0,182	0,180	0,183	0,242	0,246	0,220	0,208
Pb	5,05	4,54	4,48	4,66	5,11	3,54	4,70
Zn	101	107	105	121	141	119	119

En general, se puede observar que los mejillones de mayor tamaño, correspondientes al punto 14MG5289, presentan una concentración de los metales analizados ligeramente superior a la de los mejillones de 3-4 cm de esa misma estación (14MG5289A), y también más alta que la obtenida en los mejillones denominados 14MG5294, que sólo han estado un mes fondeados en el Puerto de Maó.

Para el Cd, los mejillones de Maó presentan niveles por debajo del BAC, mientras que para el Hg y el Pb son superiores al BAC, pero muy alejadas del límite permitido para consumo humano. El resto de los metales analizados, Cu, As y Zn, no tienen límites regulados para consumo humano y tampoco se han calculado los BC y BAC.

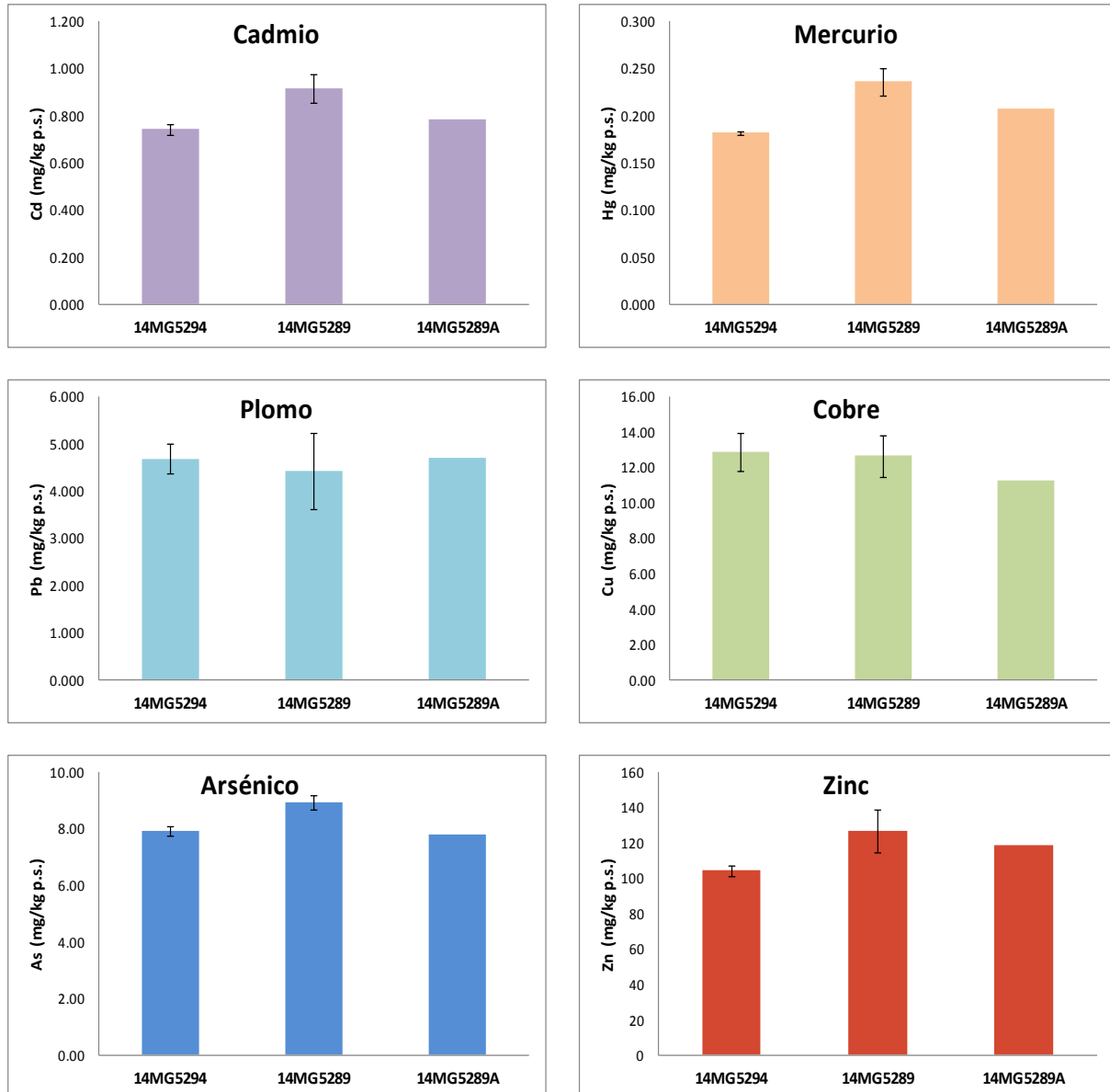


Figura 6.35. Metales pesados (mg/kg peso seco) en mejillones (*M. galloprovincialis*) del Puerto de Maó (mg/kg peso seco).

### Metales pesados en caracola (*S. haemastoma*)

Las concentraciones detectadas en la caracola del área de influencia del Puerto de Maó, antes de realizar el vertido del dragado del Puerto, se muestran en la Tabla 6.22 y la Figura 6.36. El patrón de concentración de Cd y Pb es similar, detectándose los valores más elevados en las muestras de Sa Cigonya. Sin embargo, esta zona presenta los niveles más bajos de Hg, Cu y Zn en las muestras de este organismo. Las caracolas de La Mola (bocana del Puerto de Maó) presentan, en general, niveles más elevados de Hg, Cu y Zn que el resto. En el caso del As, los valores de La Mola y Sa Cigonya son similares y superiores a los de la zona de Sant Esteve.



Tabla 6.22. Concentraciones de metales en caracola (*S. haemastoma*) de Menorca. Unidades: mg/kg peso seco.

Metales	LA MOLA	SANT ESTEVE	SA CIGONYA
As	227	138	220
Cd	6,63	4,68	10,9
Cu	1061	1040	870
Hg	0,353	0,2879	0,212
Pb	461	446	571
Zn	1669	1534	1500

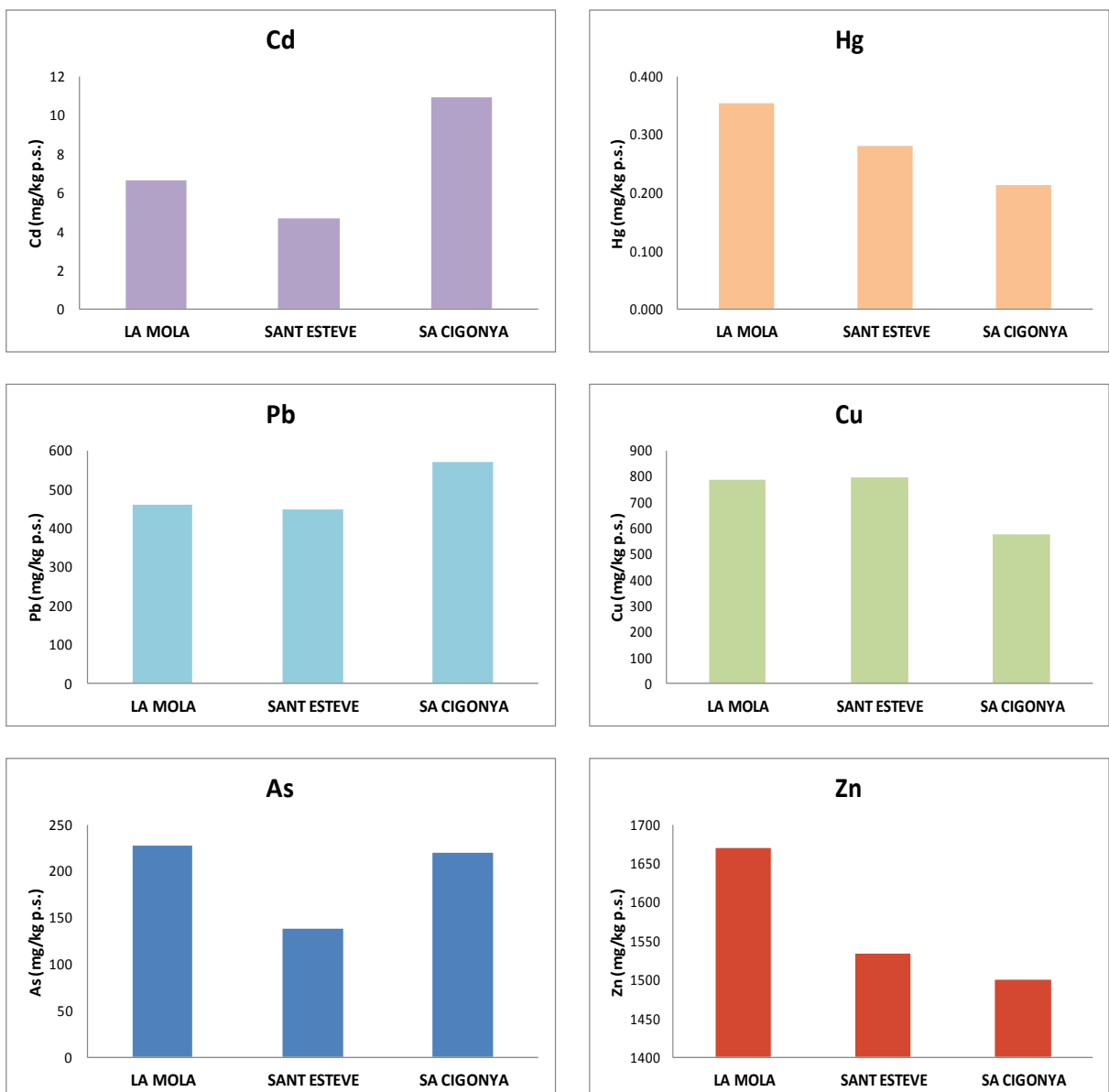


Figura 6.36. Metales pesados (mg/kg peso seco) en caracola (*S. haemastoma*) del área adyacente al Puerto de Maó, en la costa este de Menorca.



No existen criterios de referencia para los gasterópodos, ni tampoco se han encontrado otros estudios de los niveles de metales en esta especie (*S. haemastoma*). Para todos los metales analizados, excepto para el Hg que son del mismo orden, las concentraciones encontradas en esta especie son superiores que las obtenidas en el mejillón del interior del Puerto. Sin embargo, se debe tener en cuenta que las diferentes especies siguen un patrón de acumulación de contaminantes diferente.

**Metales pesados en especies de interés comercial: rape (*Lophius piscatorius*), cabracho (*Scorpaena scrofa*) y salmonete de roca (*Mullus surmuletus*)**

En las Tablas 6.23, 6.24 y 6.25 se presentan los resultados obtenidos en las especies de interés comercial analizadas en las dos zonas de estudio (de Maó y Ciutadella). Las concentraciones de todos los metales analizados se expresan en mg/kg (peso húmedo) o peso fresco (mg/kg p.h.). Algunos de los resultados son inferiores al límite de detección (LD) del método analítico utilizado: 0,001 mg/kg p.h. para Cd y 0,010 mg/kg p.h. para Pb.

Tabla 6.23. Concentraciones de metales pesados (mg/kg p.h.) en rape (*L. piscatorius*).

Muestra	Talla (cm)	Peso (gr)	As	Cd	Cu	Hg	Pb	Zn
<b>Maó</b>								
LPISC M1	71,7	3600	20,3	0,001	0,118	1,88	0,011	4,10
LPISC M2	72,0	4850	20,7	0,001	0,110	0,702	< LD	3,23
LPISC M3	45,2	1202	7,75	< LD	0,130	0,800	< LD	3,31
LPISC M4	68,6	4143	44,3	0,001	0,152	1,63	< LD	3,79
LPISC M5	47,2	1564	7,19	< LD	0,134	0,189	< LD	3,62
LPISC M6	54,2	1787	5,26	0,004	0,155	0,439	< LD	3,16
<b>Ciutadella</b>								
LPISC C1	48,5	1275	8,06	0,002	0,115	0,106	< LD	3,71
LPISC C2	56,0	2359	8,16	0,002	0,100	0,884	< LD	3,15
LPISC C3	67,3	3201	8,83	< LD	0,066	0,885	< LD	2,75
LPISC C4	47,7	1195	8,54	< LD	0,092	0,245	0,012	3,53
LPISC C5	69,8	4371	12,6	0,002	0,099	0,773	0,025	3,34



Tabla 6.24.- Concentraciones de metales pesados (mg/kg p.h.) en cabracho (*S. scrofa*).

Muestra	Talla (cm)	Peso (gr)	As	Cd	Cu	Hg	Pb	Zn
<b>Maó</b>								
LPISC M1	31,2	518,6	2,15	0,001	0,129	0,123	< LD	2,21
LPISC M2	28,2	324,6	4,33	< LD	0,105	0,078	< LD	2,32
LPISC M3	28,0	365,4	2,91	0,001	0,113	0,197	0,011	2,98
LPISC M4	28,0	389,1	1,19	0,003	0,129	0,067	< LD	2,43
LPISC M5	32,0	574,8	2,30	0,002	0,113	0,084	< LD	2,80
LPISC M6	36,0	809,4	0,677	0,002	0,124	0,253	< LD	3,03
<b>Ciudadella</b>								
SCRO C1	26,7	291,3	2,58	0,003	0,330	0,110	< LD	2,91
SCRO C2	25,4	293,0	2,48	0,002	0,136	0,237	< LD	3,40
SCRO C3	27,8	384,0	1,55	0,007	0,177	0,210	0,021	3,32
SCRO C4	31,7	520,7	1,01	0,002	0,104	0,161	0,010	3,09
SCRO C5	31,7	587,3	3,55	0,002	0,107	0,441	0,011	4,96
SCRO C6	30,2	443,7	1,51	0,002	0,130	0,429	0,023	4,17

Tabla 6.25. Concentraciones de metales pesados (mg/kg p.h.) en salmonete de roca (*M. surmuletus*).

Muestra	Talla (cm)	Peso (gr)	As	Cd	Cu	Hg	Pb	Zn
<b>Maó</b>								
MULLUS M2	21,8	115,7	18,9	0,006	0,252	0,094	0,083	3,33
MULLUS M3	20,8	111,8	10,8	0,005	0,280	0,148	0,046	2,17
MULLUS M6	18,4	73,3	10,8	0,003	0,257	0,058	0,029	2,46
MULLUS M7	24,5	190,9	26,8	0,002	0,270	0,118	0,013	2,19
MULLUS M8	23,5	154,8	12,9	0,002	0,259	0,188	0,040	2,32
MULLUS M10	17,7	66,8	14,0	0,001	0,258	0,070	0,011	2,07
MULLUS M15	22,4	153,2	19,7	0,002	0,231	0,151	0,026	2,65
<b>Ciudadella</b>								
MULLUS C1	20,5	96,0	23,0	0,044	0,306	0,212	0,391	3,02
MULLUS C2	16,3	47,5	12,8	0,021	0,472	0,029	0,184	2,79
MULLUS C6	19,6	88,6	12,5	0,019	0,240	0,070	0,214	2,78
MULLUS C7	21,4	128,2	29,1	0,028	0,297	0,183	0,224	2,99
MULLUS C11	18,6	80,5	20,1	0,012	0,260	0,095	0,135	2,98
MULLUS C12	17,3	59	14,7	0,011	0,280	0,173	0,328	2,51
MULLUS C13	20,8	115,6	24,4	0,003	0,228	0,137	0,035	2,49

Para las especies objeto de estudio, el contenido máximo permitido (C.M.P.) en carne de pescado es de 0,050 mg/kg peso húmedo para Cd y 0,30 mg/kg peso húmedo para Pb.



Las concentraciones de Pb y Cd en rape y cabracho se encuentran muy alejadas de los límites máximos para consumo humano e incluso en algunos de los ejemplares los valores son inferiores al límite de detección del método analítico utilizado. Para el salmonete, 2 ejemplares recogidos en la misma zona de pesca, en Ciutadella, sobrepasan ligeramente el límite del Pb (0,30 mg/kg peso húmedo).

De las especies estudiadas, el rape y el salmonete figuran en el Reglamento antes mencionado como especies excepcionadas, junto con otras, para el Hg, por lo que se le aplica un límite máximo de 1,0 mg/kg peso húmedo en vez del 0,5 mg/kg peso húmedo aplicable al resto de las especies (en este estudio, el cabracho). El 18,2% de las muestras de rape (muestras 1 y 4) recogidos en los caladeros de Maó sobrepasan el C.M.P para el Hg, siendo en ambos casos ejemplares grandes (71,7 y 68,6 cm, respectivamente). El resto de especies analizadas presentan unos valores de Hg muy inferiores del C.M.P.

A efectos comparativos, en la Tabla 6.26 se presentan los rangos de los metales legislados con límites para consumo humano (Pb, Cd y Hg) en las diferentes especies de la zona estudiada, con datos previos del IEO de otras zonas de la costa española. Comparando con muestras de las mismas especies de otras áreas geográficas españolas, se observa que los valores obtenidos son del mismo orden que los observados en muestras de las demarcaciones Noratlántica (Galicia-Cantábrico), Sudatlántica (Golfo de Cádiz) u otras zonas del Mediterráneo español (demarcación Levantino-Balear) e incluso las concentraciones de Hg son inferiores a las obtenidas en algunos ejemplares de rape de la demarcación Levantino-Balear o de salmonete de la demarcación Noratlántica. Sin embargo, los ejemplares de salmonete de roca recogidos en el sur de Menorca (caladero de Ciutadella), presentan valores de Pb más elevados que los observados para la misma especie en Maó y en otros estudios previos correspondientes a diversas regiones marinas españolas. El IEO no dispone de información previa sobre las concentraciones de Pb, Cd y Hg en cabracho, sin embargo se puede señalar que ninguna de las muestras analizadas procedentes de las dos zonas de Menorca supera los límites de consumo humano.



Tabla 6.26. Concentraciones de plomo, cadmio y mercurio en diferentes especies de peces. Unidades: mg/kg peso fresco; n.d.: no detectado.

Nombre común	Especie	Zona	Rango		
			Plomo	Cadmio	Mercurio
Rape blanco	<i>L. piscatorius</i>	Maó	<0,010-0,011	<0,001-0,004	0,189-1,88
		Ciudadella	<0,010-0,025	<0,001-0,002	0,106-0,885
		Noratlántica*	<0,002-0,019	<0,001-0,025	0,026-0,616
Rape	<i>Lophius spp.</i>	Levantino-Balear*	<0,016-0,029	0,001-0,003	0,205-2,43
Salmonete de roca	<i>M. surmuletus</i>	Maó	0,011-0,083	0,001-0,006	0,058-0,188
		Ciudadella	0,035-0,391	0,003-0,044	0,029-0,212
		Noratlántica*	<0,002-0,101	0,001-0,010	0,183-1,34
		Sudatlántica*	<0,002-0,003	<0,001-0,005	0,058-0,480
		Levantino-Balear*	0,004-0,084	0,001-0,003	0,053-0,925
Salmonete de fango	<i>M. barbatus</i>	Levantino-Balear*	0,002-0,080	0,001-0,009	0,010-1,117
		Estrecho y Alborán*	n.d.-0,068	n.d.-0,003	0,019-0,161
Cabracho	<i>S. scrofa</i>	Maó	<0,010-0,011	<0,001-0,003	0,067-0,253
		Ciudadella	<0,010-0,023	0,002-0,007	0,110-0,441

\*Demarcaciones marinas Españolas de la Directiva Marco sobre la Estrategia Marina <http://www.magrama.gob.es/es/costas/temas/estrategias-marinas>. Descriptor 9.

### Respuestas de biomarcadores en mejillón

Los valores de supervivencia en condiciones aéreas (SoS) en los mejillones de ambas localidades (Figura 6.37, Tabla 6.27), fueron inferiores al criterio de valoración ambiental establecido para este biomarcador y que es de 5 días (Davies *et al.*, 2012). Ello indica un estrés fisiológico muy alto, potencialmente asociado a una calidad ambiental química baja de las aguas y/o infecciones severas. Asimismo, la mayoría de los mejillones mostraron una estabilidad de la membrana lisosomal muy baja en ambas localidades (Figura 6.38), resultando los valores medios del tiempo de retención (RT) inferiores al criterio de valoración ambiental establecido para este biomarcador y que es de 50 minutos (Davies *et al.*, 2012). Estos resultados confirman las valoraciones realizadas con el SoS (Tabla 6.27).

En las campañas realizadas por el IEO en Mayo 2012 y 2013, ya se habían observado respuestas biológicas comparables a estos dos biomarcadores, en mejillones del Puerto de Maó. Ambos biomarcadores son sensibles a un amplio grupo de contaminantes



químicos, incluyendo los metales pesados, arsénico, compuestos organoclorados e hidrocarburos aromáticos (Martínez-Gómez y Thain, 2102; Moore, 2012).

Tabla 6.27. Tiempos de supervivencia en condiciones aéreas (SoS) y de estabilidad de la membrana lisosomal (LMS) en mejillones (*M. galloprovincialis*) procedentes del puerto de Maó.

Estación	Descripción	Características	Fecha muestreo	SoS LT50 (Días)	LMS RT (minutos)
5294	Base Naval	1 mes de fondeo (proceden del DE)	30/01/2014	4	43
5289	Cala Rata	6 meses de fondeo-semilla propia (de la propia zona)	10/02/2014	3	48

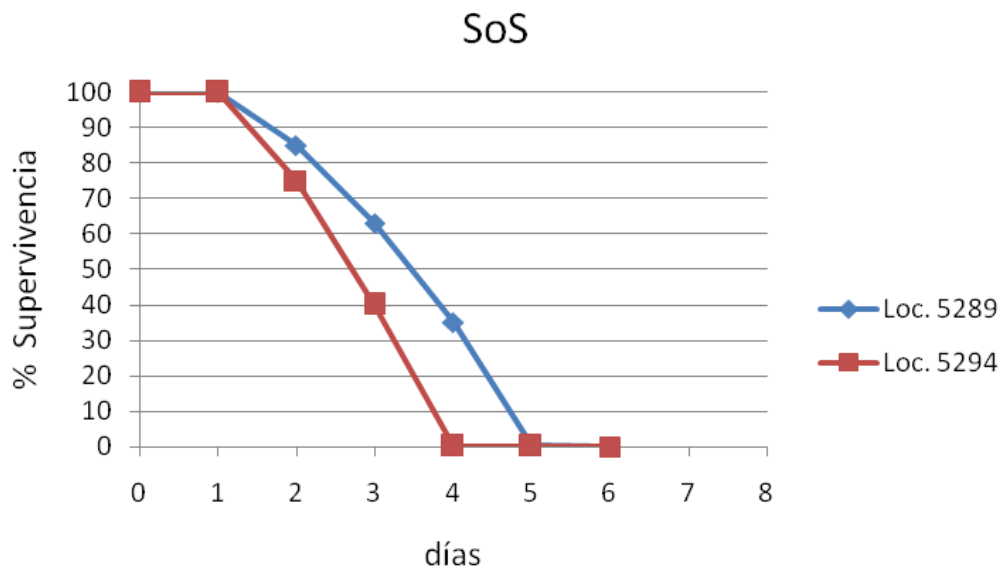


Figura 6.37. Porcentaje de supervivencia en condiciones aéreas del mejillón (*M. galloprovincialis*) en dos localidades del Puerto de Maó.



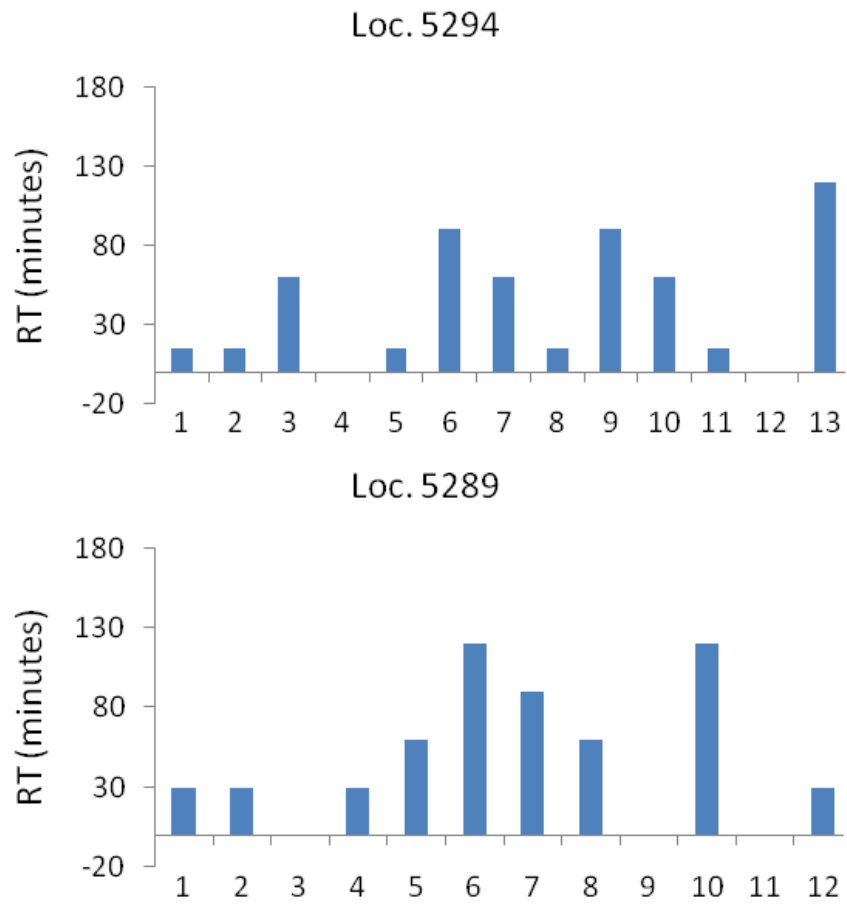


Figura 6.38. Tiempos de retención (RT) del colorante rojo neutro, dentro de lisosomas del mejillón (*M. galloprovincialis*) en dos localidades del Puerto de Maó



# CONCLUSIONES

---







## 7. CONCLUSIONES

- 7.1.** El punto de vertido y área adyacente se localiza sobre la plataforma insular oriental de Menorca. La prospección geológica ha mostrado que se trata de una zona de escaso relieve, con una pendiente media de  $0,79^\circ$  y una orientación sur-sudeste (dirección  $116^\circ\text{N}$ ). La profundidad mínima registrada fue de 20,6 m, la máxima de 105,6 m y la media de 63,6 m. Dentro de la homogeneidad del fondo marino de esta zona, destacan algunos elementos geomorfológicos singulares naturales y antrópicos. Se confirma la información previa, en relación a que se trata de un fondo previamente impactado por el vertido de obras de dragado anteriores, en el que también se han detectado marcas de artes de arrastre. La concavidad del fondo en el punto de vertido propuesto es adecuada para el confinamiento blando de los sedimentos dragados.
- 7.2.** La caracterización hidrográfica de la plataforma insular y talud al este de Menorca, realizada a principios de invierno, concuerda con las climatologías del Mediterráneo durante esta época. Los modelos de corrientes geostróficas muestran velocidades de hasta 50 cm/s (equivalente a aproximadamente 1 nudo) y una importante actividad mesoescalar, de dirección e intensidad variable, que puede llegar a enmascarar el patrón estable de corriente de talud, de dirección predominante norte a sur. En cualquier caso, la componente geostrófica de la velocidad no proporciona la velocidad total sino sólo una componente, que se aproxima a la total cuando se consideran escalas espaciales y temporales grandes. Por todo ello, se recomienda el fondeo de un perfilador de corrientes, que suministre información, en tiempo real, de las corrientes en el punto de vertido.
- 7.3.** Las praderas de *Posidonia oceanica* estudiadas en la zona litoral próxima al punto de vertido, entre La Mola y la isla del Aire, muestran densidades de haces similares a las de otras áreas de referencia como Cala Sant Esteve y Addaia, a excepción del puerto de Maó, que presenta densidades menores. Hay una clara tendencia a aumentar el límite de profundidad de la pradera, desde 20 hasta 35 m, a medida que nos desplazamos hacia el sur, lo que refleja el proceso erosivo que sufre la zona de estudio, donde la energía hidrodinámica juega un papel muy importante. Las densidades de *Pinna nobilis*, bivalvo de gran tamaño, característico de fondos blandos con praderas de fanerógamas y protegido por la Directiva Hábitat (92/43/CEE), son superiores a las encontrados en Mallorca (Cala d'Or) e inferiores a



las estimadas en el Parque Nacional Marítimo-Terrestre de Cabrera, cuyas poblaciones han servido de referente.

- 7.4.** En general, el punto de vertido presenta una diversidad y densidad de organismos mega-bentónicos menor a la de las áreas adyacentes, y no contiene hábitats protegidos y/o de especial interés. Las algas son el grupo más importante en cuanto a biomasa del mega-bentos, mientras los crustáceos lo son en número de especies y abundancia. Las algas rojas calcáreas de la familia Corallinaceae representaron más del 95% de esta biomasa de algas, con un claro predominio de *Lithothamnion corallioides* y *Phymatolithon calcareum*, incluidas en el Anexo V de la Directiva Hábitat, y *Spongites fruticulosus*. Las densidades máximas de estas especies, que conforman el maërl, se estimaron al sur-suroeste de la zona prospectada, mientras que la zona de vertido presentó los valores mínimos. Por su gran riqueza ecológica y su vulnerabilidad a los impactos antrópicos, los fondos de maërl han sido catalogados como uno de los hábitats sensibles del Mediterráneo y son considerados hábitats protegidos.
- 7.5.** Las aguas al este de Menorca muestran concentraciones de metales traza (Ag, Cd, Co, Cu, Fe, Mo, Ni, Pb, V y Zn) típicas de áreas costeras y abiertas del Mediterráneo. Los mayores valores se registraron en las estaciones más cercanas a la costa, si bien en todos los casos los niveles se encuentran en los rangos ambientales típicos de aguas no afectados por procesos de contaminación.
- 7.6.** Según los criterios de los convenios OSPAR y Barcelona, los hidrocarburos aromáticos en sedimentos sólo han mostrado concentraciones de benzo-a-antraceno y benzo(g,h,i)perileno que pueden provocar efectos tóxicos en organismos, en las estaciones más interiores del puerto de Maó (entre Punta Cala Figuera e Illa de la Quarantena), mientras que las concentraciones detectadas en el resto de estaciones, en la bocana y el exterior del Puerto, son inferiores a estos criterios ambientales de referencia. En el caso de los compuestos organoclorados analizados (pesticidas y PCBs), sólo se superan los criterios ecotoxicológicos para PCBs en los sedimentos del interior del puerto y, por tanto, pueden presentar riesgo ambiental. En los sedimentos del punto de vertido también se han detectado niveles de PCBs próximos al criterio ambiental, que podrían tener su origen en vertidos de dragados anteriores. Por lo que respecta a los metales pesados, se distinguen dos grupos: Cd, Cr y Zn, cuyas concentraciones raramente causan efectos adversos en los organismos marinos, y As, Cu, Hg y Ni, con concentraciones que no permiten descartar efectos



subletales a medio o largo plazo. En general, las concentraciones de metales en sedimentos son claramente superiores en las estaciones más interiores del puerto de Maó.

- 7.7.** Los niveles de metales pesados cuantificados en mejillón (*Mytilus galloprovincialis*) procedente de las bateas del puerto de Maó son muy inferiores al límite legal permitido para el consumo humano para el Hg, Cd y Pb, y en el caso de los contaminantes orgánicos son también inferiores a los criterios de OSPAR y Barcelona. Sin embargo, los biomarcadores analizados (SoS: stress on stress; LMS: estabilidad de la membrana lisosomal), tuvieron valores inferiores a los criterios de valoración ambiental establecidos en esta especie. Estos últimos resultados indican niveles de estrés citológico y fisiológico muy altos, potencialmente asociado a una baja calidad ambiental química del agua, aunque no se pueden descartar otros factores no considerados en el estudio, como infecciones en los organismos.
- 7.8.** Se han analizado también metales pesados en tres especies de interés comercial (rape *Lophius piscatorius*, cabracho *Scorpaena scrofa* y salmonete *Mullus surmuletus*), procedentes de la captura de la flota pesquera del puerto de Maó y de Ciutadella, en la costa oeste de Menorca, seleccionada como zona control. En rape y cabracho, las concentraciones de Pb y Cd son muy inferiores a los límites máximos permitidos para consumo humano, mientras que dos ejemplares de salmonete (14% de las muestras), procedentes de la flota de Ciutadella, sobrepasan ligeramente el límite de Pb permitido. Para el Hg, dos ejemplares de rape (18% de las muestras) de talla considerable (~70 cm), procedentes de la flota de Maó, sobrepasaron el contenido máximo permitido, mientras que las concentraciones en cabracho y salmonete fueron muy inferiores.





# BIBLIOGRAFÍA

---







## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Alomar C., Deudero S., Vázquez-Luis M., Magraner K. 2014. Are isotopic signatures reliable indicators of pelagic-benthic food sources in relation to boating activities? *Aquatic Ecology*. Under review.
- Álvarez E., Grau A.M. 2011. Xarxa de vigilància de les praderies de *Posidonia oceanica* de Balears (2002-2010). Informe tècnic. Resultats de les estacions de seguiment de les praderies de *Posidonia oceanica* de les Illes Balears. Anys 2002-2010. Direcció General de Medi Rural i Mari. Conselleria d'Agricultura Medi Ambient i Territori. Govern de les Illes Balears.
- Ardizzone G.D. 2006. An introduction to Sensitive and Essential Fish Habitats identification and protection in the Mediterranean Sea. Working Document to the STECF/SGMED-06-01 sub-group meeting on Sensitive and Essential Fish Habitats in the Mediterranean (Rome, March 2006).
- 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*, DOI: 10.1016/j.jmarsys.2013.12.007, en prensa.
- Balbín R., López-Jurado J.L., Flexas M.M., Reglero P., Vélez-Velchí P., González- Pola C., Rodríguez J.M., García A., Alemany F. 2013. Interannual variability of the early summer circulation around the Balearic Islands: driving factors and potential effects on the marine ecosystem. *Journal of Marine Systems*, DOI: 10.1016/j.jmarsys.2013.07.004, en prensa.
- Ballesteros E., Cebrian E., Alcoverro T. 2007. Mortality of shoots of *Posidonia oceanica* following meadow invasion by the red alga *Lophocladia lallemandii*. *Botanica Marina*, 50(1): 8-13.
- Barberá C., Moranta J., Ordines F., Ramón M., de Mesa A., Díaz-Valdés M., Grau A.M., Massutí E. 2012. Biodiversity and habitat mapping of Menorca Channel (western Mediterranean): implications for conservation. *Biodiversity and Conservation*, 21(3): 701-728.
- Besada V., González J.J., Schultze F. 2006. Mercury, cadmium, lead, arsenic, copper and zinc concentrations in albacore, yellowfin tuna and bigeye tuna from the Atlantic Ocean. *Ciencias Marinas*, 32 (2B): 439-445.



- Besada V., Andrade J.M., Schultze F., González J.J. 2011. Comparison of the 2000 and 2005 spatial distributions of heavy metals in wild mussels from the North-Atlantic Spanish coast. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74: 373-381.
- Blanc J.J., Jeudy de Grissac A. 1989. Réflexions géologiques sur la régression des herbiers à Posidonies (département du Var et des Bouches du Rhône). En: Boudouresque C.F., Meinesz A., Fresi E., Gravez V. (Eds.), *The Second International Workshop on Posidonia Beds*. GIS - Posidonie. Ischia (Italia), 7-11 de octubre de 1985. Vol. 2: 273-283.
- Borum J., Duarte C.M., Krause-Jensen D., Greve T.M. (Eds.), 2004. *European Seagrasses: An Introduction to Monitoring and Management*. EU Project Monitoring and Management of European Seagrass Beds, 88 p. [www.seagrasses.org](http://www.seagrasses.org) y en [www.medpan.org](http://www.medpan.org).
- Boudouresque C.F., Bernard G., Pergent G., Shili A., Verlaque M. 2009. Regression of Mediterranean seagrasses caused by natural processes and anthropogenic disturbances and stress: a critical review. *Botanica Marina*, 52: 395–418.
- Box A., Sureda A., Deudero S. 2009. Antioxidant response of the bivalve *Pinna nobilis* colonised by invasive red macroalgae *Lophocladia lallemandii*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 149(4): 456-460.
- Bretherton F., Davis R., Fandry C. 1976. A technique for objective analysis and design of oceanographic experiments applied to MODE-73. *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts*, 23: 559–582.
- Bruland K.W., Coale K.H., Mart L. 1985. Analysis of seawater for dissolved cadmium, copper, and lead: an intercomparison of voltametric and atomic adsorption methods. *Marine Chemistry*, 17: 285– 300.
- Buchanan J.B. 1984. Sediment analysis. En: Holme N.A., McIntyre A.D. (Eds.), *Methods for the study of marine benthos*. Blackwell, Londres: 41-45.
- Butler A.J., Vicente N., Gaulejac B. 1993. Ecology of the pteroid bivalves *Pinna bicolor* Gmelin and *Pinna nobilis* Linnaeus. *Marine Life* 3: 37–45.
- Cabaço S., Santos R., Duarte C.M., 2008. The impact of sediment burial and erosion on seagrasses: A review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 79, 354–366.
- Cabanellas-Reboredo M., Blanco A., Deudero S., Tejada S. 2010. Effects of the invasive macroalga *Lophocladia lallemandii* on the diet and trophism of *Pinna nobilis*



- (Mollusca: Bivalvia) and its guests *Pontonia pinnophylax* and *Nepinnotheres pinnotheres* (Crustacea: Decapoda). *Scientia Marina*, 74(1): 101- 110.
- CBBA (Centre Balear de Biologia Aplicada). 2011. Informe de la caracterización de los sedimentos del Puerto de Mahón. Octubre 2011, 30 pp.
- CBBA (Centre Balear de Biologia Aplicada). 2013. Informe de caracterización del medio bentónico de la zona receptora de los materiales a dragar en el Puerto de Maó (Menorca). Marzo 2013, 58 pp.
- Cebrian E., Ballesteros E. 2010. Invasion of Mediterranean benthic assemblages by red alga *Lophocladia lallemandii* (Montagne) F. Schmitz: Depth-related temporal variability in biomass and phenology. *Aquatic Botany*, 92(2): 81-85.
- Davies I.M., Vethaak A.D. 2012. Integrated marine environmental monitoring of chemicals and their effects. *ICES Cooperative Research Report*, 315: 277 pp.
- Davies I.M., Gubbins M., Hylland K., Thain J., Maes T., Martínez-Gómez C., Giltrap M., Burgeot T., Wosniok W., Lang T., Vethaak D. 2012. Technical annex 30: assessment criteria for biological effects measurements. En: Davies I.M., Vethaak D. (Eds.), *ICES Cooperative Research Report: Integrated marine environmental monitoring of chemicals and their effects*. Vol. 315: 209-212.
- Davis J.C. 1986. *Statistics and Data Analysis in Geology*, John Wiley & Sons, New York, 646 p.
- De Boer W.F. 2007. Seagrass-sediment interactions, positive feedbacks and critical thresholds for occurrence: a review. *Hydrobiologia*, 591: 5-24.
- Deudero S., Box A., Alós J., Arroyo N.L., Marbà N. 2011. Functional changes due to invasive species: Food web shifts at shallow *Posidonia oceanica* seagrass beds colonized by the alien macroalga *Caulerpa racemosa*. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 93: 106-116.
- Deudero S., Box A., Vázquez-Luis M., Arroyo N.L. 2014. Benthic community responses to macroalgae invasions in seagrass beds: Diversity, isotopic niche and food web structure at community level. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 142: 12-22.
- Di Leo A., Annicchiarico C., Cardellicchio N., Spada L., Giandomenico S. 2013. Trace metal distributions in *Posidonia oceanica* and sediments from Taranto Gulf (Ionian Sea, Southern Italy). *Mediterranean Marine Science*, 14(1): 204-213.
- Díaz-Almela E., Marbà N. 2009. 1120 *Posidonion oceanicae*. Praderas de *Posidonia oceanica* (\*). En: VV.AA., Bases ecológicas preliminares para la conservación de



- los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 129 p.
- Díaz-Almela E., Marbà N., Álvarez E., Santiago R., Holmer M., Grau A., Mirto S., Danovaro R., Petrou A., Argyrou M., Karakassis I., Duarte C.M. 2008. Benthic input rates predict seagrass (*Posidonia oceanica*) fish farm-induced decline. *Marine Pollution Bulletin*, 56: 1332-1342.
- Donnan D.W., Moore P.G. 2003a. Introduction. International Workshop on the conservation and management of maërl, 23-27 February 2001, Isle of Cumbrae (Scotland). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 13: S1–S3.
- Donnan D.W., Moore P.G. 2003b. Conclusions. International Workshop on the conservation and management of maërl, 23-27 February 2001, Isle of Cumbrae (Scotland). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 13: S77–S78.
- Duarte C.M. 2004. El papel de las praderas en la dinámica costera. En: Luque A.A., Templado J. (coords.), Praderas y bosques marinos de Andalucía. Sevilla: Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. pp 81-85.
- Duarte C.M, Marbà N., Krause-Jensen D., Sánchez-Camacho M. 2007. Testing the Predictive Power of Seagrass Depth Limit Models. *Estuaries and Coasts*, 30(4): 652–656.
- EPA 2002. Mid-Atlantic Integrated Assessment (MAIA) Estuaries 1997-98. Summary Report. Environmental Conditions in the Mid-Atlantic Estuaries. U.S. Environmental Protection Agency.
- Font J. 1987. The path of the Levantine Intermediate Water to the Alboran Sea. *Deep sea Research*, 34: 1745-1755.
- Font J., Salat J., Tintoré J. 1988. Permanent features of the circulation in the Catalan Sea. *Oceanologica Acta*, n. sp. 9: 51-57.
- Font J., Isern-Fontanet J., Salas, J.J. 2004. Tracking a big anticyclonic eddy in the Western Mediterranean. *Scientia Marina*, 68 (3), 331-342.
- Gacia E., Duarte C.M. 2001. Sediment Retention by a Mediterranean *Posidonia oceanica* Meadow: The Balance between Deposition and Resuspension. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 52: 505-514.
- García-Ladona E., Castellón A., Font J., Tintoré, J. 1996. The Balearic current and volume transports in the Balearic Basin. *Oceanologica Acta*, 19(5): 489-497.



- García-March J R., 2005. Aportaciones al conocimiento de la biología de *Pinna nobilis* Linneo, 1758 (Mollusca Bivalvia) en el litoral mediterráneo ibérico. Tesis Doctoral. Universidad de Valencia. <http://www.tesisenred.net/TDX-0628106-132411/>.
- García-March J.R., García-Carrascosa A.M., Peña Cantero A.L., Wang Y.G. 2007a. Population structure, mortality and growth of *Pinna nobilis* Linnaeus, 1758 (Mollusca, Bivalvia) at different depths in Moraira bay (Alicante, Western Mediterranean). *Marine Biology*, 150: 861–871.
- García-March J.R., Pérez-Rojas L., García-Carrascosa A.M. 2007b. Influence of hydrodynamic forces on population structure of *Pinna nobilis* L., 1758 (Mollusca: Bivalvia): the critical combination of drag force, water depth, shell size and orientation. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 342: 202–212.
- Giaccone G., Di Martino V. 2000. Past, present and future of vegetational diversity and assemblages on Mediterranean sea. En: *Proceedings of the First Mediterranean Symposium on Marine Vegetation*. Ajaccio (Francia), 3-4 October 2000. RAC/SPA: 34-59.
- Heidelbaugh W.S.N., Nelson W.G. 1996. A power analysis of methods for assessment of change in seagrass cover. *Aquatic Botany*, 53: 227-233.
- Hendriks I.E., Tenan S., Tavecchia G., Marbà N., Jordà G., Deudero S., Alvarez E., Duarte C. M. 2013. Boat anchoring impacts coastal populations of the pen shell, the largest bivalve in the Mediterranean. *Biological Conservation*, 160: 105-113.
- ICA (Ingeniería Civil y Ambiental Hidráulica S.L.). 2012. Estudio de Corrientes y la Afección del Vertido del Material Dragado en el Entorno de la Isla del Aire (Menorca – Baleares). Mayo 2012, 76 pp.
- Katsanevakis S. 2005 Population ecology of the fan mussel *Pinna nobilis* in a marine lake. *Endangered Species Research*, 1: 1–9.
- Katsanevakis S. 2007. Growth and mortality rates of the fan mussel *Pinna nobilis* in Lake Vouliagmeni (Korinthiakos Gulf, Greece): a generalized additive modelling approach. *Marine Biology*, 152: 1319–1331.
- Lafabrie C., Pergent G., Pergent-Martini C., Capiomont A. 2007. *Posidonia oceanica*: A tracer of past mercury contamination. *Environmental Pollution*, 148(2): 688-692.
- León V.M., Martínez-Gómez C., García I., Campillo J.A., Benedicto J. 2013. Spatial distribution and temporal trends of polycyclic aromatic hydrocarbons in *Mytilus*



- galloprovincialis* from the Iberian Mediterranean coast. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185, 2: 1055-1070.
- López-Jurado J.L., González-Pola C., Vélez-Belchí P. 2005. Observation of an abrupt disruption of the long-term warming trend at the Balearic Sea, western Mediterranean Sea, in summer 2005. *Geophysical Research Letters*, 32(24).
- López-Jurado J.L., Aparicio-González A., Balbín R., Alonso J.C, Amengual B., Jansá J., García-Martínez M.C., Moya F., Serra-Tur M., Vargas-Yáñez, M. 2014. IBAMar DATABASE. 2014. 4 decades of oceanographic sampling on the Western Mediterranean Sea. Instituto Español de Oceanografía <http://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.831923> and <http://www.ba.ieo.es/ibamar>.
- Manca B.B. 2000. Recent changes in dynamics of the Eastern Mediterranean affecting the water characteristics of the adjacent basins. *CIESM Workshop Series*, 10: 27-31.
- Marbà N., Duarte C.M. 1998. Rhizome elongation and seagrass clonal growth. *Marine Ecology Progress Series*, 174: 269-280.
- Marbà N., Duarte C.M., Díaz-Almela E., Terrados J., Álvarez E., Martínez R., Santiago R., Gacia E., Grau A.M. 2005. Direct Evidence of Imbalanced Seagrass (*Posidonia oceanica*) Shoot Population Dynamics in the Spanish Mediterranean. *Estuaries*, 28(1): 53-62.
- Margalef R. 1974. *Ecología*. Omega. Barcelona, 951 pp.
- Martínez-Gómez C., Thain J, 2012. Chapter 16. Background document: stress on stress (SoS) in bivalve molluscs. En: Davies I.M., Vethaak D. (Eds), ICES Cooperative Research Report: *Integrated marine environmental monitoring of chemicals and their effects*. Vol. 315: 121-123.
- MEDAR Group, 2002 - MEDATLAS/2002 database. Mediterranean and Black Sea database of temperature salinity and bio-chemical parameters. Climatological Atlas. IFREMER Edition.
- Mertens C., Schott F. 1998. Interannual variability of deep water formation in the Northwestern Mediterranean. *Journal of Physical Oceanography*, 28(7), 1410-1424.
- Millot C. 1987. Circulation in the Western Mediterranean Sea. *Oceanologica Acta*, 10(2): 143-149.
- Montefalcone M. 2009. Ecosystem health assessment using the seagrass *Posidonia oceanica*: a review. *Ecological Indicators*, 9: 595-604.





- Montefalcone M., Albertelli G., Morri C., Bianchi C.N. 2010. Patterns of wide-scale substitution within meadows of the seagrass *Posidonia oceanica* in NW Mediterranean Sea: invaders are stronger than natives. *Aquatic Conservation: Marine Freshwater Ecosystems*, 20: 507–515.
- Moore, M.N. 2012. Chapter 9. Background document: lysosomal stability as a global health status indicator in biomonitoring. En: Davies I.M., Vethaak D. (Eds.), ICES Cooperative Research Report: *Integrated marine environmental monitoring of chemicals and their effects*. Vol. 315: 68-70.
- Moore, M.N., Lowe, D., Köhler, A. 2004. Biological effects of contaminants: Measurement of lysosomal membrane stability. *ICES Techniques in Marine Environmental Sciences*, No. 36: 31 pp.
- Moreteau J.C., Vicente N. 1982. Evolution d'une population de *Pinna nobilis* L. (Mollusca, Bivalvia). *Malacologia*, 22(1–2): 341–345.
- Ordines F., Massutí E. 2009. Relationships between macro-epibenthic communities and fish on the shelf grounds of the western Mediterranean. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 19: 370-383.
- Ordines F, Jordà G., Quetglas A., Flexas M.M., Moranta J., Massutí E. 2011. Connections between hydrodynamics, benthic landscape, and associated fauna in the Balearic Islands, western Mediterranean. *Continental Shelf Research*, 31: 1835-1844.
- OSPAR Commission 2000. *Quality Status Report 2000*. OSPAR Commission, London.
- Piazzì L., Pardi G., Cinelli F. 1996. Ecological aspects and reproductive phenology of *Acrothamnion preissii* (Sonder) Wollaston (Ceramiaceae, Rhodophyta) in the Tuscan Archipelago (western Mediterranean). *Cryptogamie. Algologie*, 17(1), 35-43.
- Pinot J.M., Tintoré J., Gomis D. 1995. Multivariate analysis of the surface circulation in the Balearic sea. *Progress in Oceanography*, 36(4): 343–344.
- Pinot J.M., López-Jurado J.L., Riera M. 2002. The CANALES experiment (1996-98): Interannual, seasonal and mesoscale variability of the circulation in the Balearic channels. *Progress in Oceanography*, 55: 335-370.
- Puig P., Canals M., Company J.B., Martín J., Amblas D., Lastras G., Palanques A., Calafat A.M. 2012. Ploughing the deep sea floor. *Nature*, 489(7415): 286-289.
- Quelle C., Besada V., Andrade J.M., Gutierrez N., Schultze F., Gago, J., González, J.J. 2011. Chemometric tools to evaluate the spatial distribution of trace metals in surface sediments of two Spanish rías. *Talanta*, 87: 197-209.



- Richardson C.A., Kennedy H., Duarte C.M., Kennedy D.P., Proud S.V. 1999 Age and growth of the fan mussel *Pinna nobilis* from south-east Spanish Mediterranean seagrass (*Posidonia oceanica*) meadows. *Marine Biology*, 133: 205–212.
- Richardson C.A., Peharda M., Kennedy H., Kennedy P., Onofri V. 2004. Age, growth rate and season of recruitment of *Pinna nobilis* (L) in the Croatian Adriatic determined from Mg:Ca and Sr:Ca shell profiles. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 299: 1-16.
- Ruitton S., Verlaque M., Boudouresque C.F. 2005. Seasonal changes of the introduced *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Caulerpales, Chlorophyta) at the northwest limit of its Mediterranean range. *Aquatic Botany*, 82(1): 55-70.
- Ruiz J.M, Pérez M., Romero J., 2001. Effects of Fish Farm Loadings on Seagrass (*Posidonia oceanica*) Distribution, Growth and Photosynthesis. *Marine Pollution Bulletin*, 42(9): 749-760.
- Ruiz J.M., Barberá C., Marín L., García R., 2006. Las praderas de *Posidonia* en Murcia. Red de seguimiento y voluntariado ambiental. Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Murcia.
- Salas J.J. 2003. Evolution of the open-sea eddy ALGERS'98 in the Algerian Basin with Lagrangian trajectories and remote sensing observations. *Journal Marine Systems*, 43, 105-131.
- Sánchez-Lizaso J.L. 1993. Estudio de la pradera de *Posidonia oceanica* (L.) Delile de la reserva marina de Tabarca (Alicante): Fenología y producción primaria (Doctoral dissertation, Universidad de Alicante).
- Short E.T., Coles R.G. 2001. *Global seagrass research methods*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V.
- Strickland J., Parsons T. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Fisheries Research Board of Canada, Bulletin* 167: 310 p.
- Sureda A., Box A., Terrados J., Deudero S., Pons A. 2008. Antioxidant response of the seagrass *Posidonia oceanica* when epiphytized by the invasive macroalgae *Lophocladia lallemandii*. *Marine Environmental Research*, 66(3): 359-363.
- Tanner J.E. 2005. Edge effects on fauna in fragmented seagrass meadows. *Australian Ecology*, 30: 210–218.



- Tovar-Sánchez A. 2012. Sampling Approaches for Trace Elements Determination in Seawater. En: Janusz Pawliszyn (Eds.), *Comprehensive Sampling and Sample Preparation: Analytical Techniques for Scientists*. Chapter 1.17: 317-334.
- Tucker M. 1988. *Techniques in sedimentology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford: 394 p.
- Udden J.A. 1914. Mechanical composition of clastic sediments. *Bulletin of the Geological Society of America*, 25: 655-744.
- Vargas-Yáñez M., Salat J., Fernández de Puellas M.L., López-Jurado J.L., Pascual J., Ramírez T., Cortés D., Franco. I. 2005. Trends and time variability in the northern continental shelf of the western Mediterranean. *Journal of Geophysical Research*, 110, C10019.
- Vázquez-Luis M., Deudero S. 2014. Estado de conservación del bivalvo amenazado *Pinna nobilis* en el Parque Nacional de Cabrera. Memoria justificativa del desarrollo del proyecto. Informe Final Proyecto PINNA (024/2010), Organismo Autónomo Parques Nacionales.
- Vázquez-Luis M., Banach-Esteve G., Álvarez E., Deudero S. 2014. Colonization on *Pinna nobilis* at a Marine Protected area: extend of the spread of two invasive seaweeds. *Journal Marine Biological Association of the United Kingdom*, FirstView.: 8 p.
- Vicente N. 1990. Estudio ecológico y protección del molusco lamelibranquio *Pinna nobilis* L. 1758 en la costa mediterránea. *Iberus*, 9(1-2): 269-279.
- Vignudelli S., Gasparini G.P., Astraldi M., Schiano M.E. 1999. A possible influence in the North Atlantic Oscillation on the circulation of the Western Mediterranean sea. *Geophysical Research Letters*, 26(5): 623-626.
- Wentworth C.K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30: 377-392.
- Zavodnik D., Hrs-Brenko M., Legac M. 1991. Synopsis on the fan shell *Pinna nobilis* L. in the eastern Adriatic Sea. En: Boudouresque C.F., Avon M., Gravez V. (Eds.), *Les espèces marines à protéger en Méditerranée*. GIS Posidonie, Marseille: 169-178.
- Zwaan A., Eertman R.H.M. 1996. Anoxic or aerial survival of bivalves and other euryoxic invertebrates as a useful response to environmental stress—A comprehensive review. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Pharmacology, Toxicology and Endocrinology* 113(2): 299-312.