

LIFE IP INTEMARES

Diagnóstico del impacto de las actividades humanas y del cambio climático sobre la RN 2000 marina y propuestas para controlar, eliminar o mitigar sus efectos: Pesca Profesional

LIC-ESZZ12002 "Volcanes de fango del golfo de Cádiz" (Demarcación Sudatlántica)

06 diciembre del 2022



ÍNDICE

Pág.

1. Resumen ejecutivo _____	5
2. Introducción _____	8
2.1. Descripción general del área de estudio _____	11
2.1.1. Características oceanográficas _____	14
2.1.2. Hábitats y especies de la Red Natura 2000 _____	16
2.1.3. Actividades pesqueras _____	26
2.1.4. Otras presiones presentes en la zona de estudio _____	27
2.2. Objetivos _____	29
3. Material y métodos _____	30
3.1. Hábitats y especies objeto del estudio _____	30
3.2. Presión pesquera _____	40
3.2.1. Distribución espacial del esfuerzo pesquero en la zona de estudio _____	41
3.2.2. Distribución espacial de las capturas y el valor económico asociado a las mismas en la zona de estudio _____	49
3.3. Muestreo _____	51
3.3.1. Búsqueda bibliográfica _____	51
3.3.2. Muestras de sedimento _____	51
3.3.3. Muestras de fauna _____	54
3.3.4. Adquisición de imágenes submarinas _____	59
3.4. Estudio del impacto de la pesca de arrastre en hábitats sedimentarios _____	63
3.5. Análisis de datos _____	66
3.5.1. Indicadores ecológicos y de sensibilidad _____	66
3.5.2. Análisis de datos para la caracterización de los hábitats en caladeros de pesca (Transectos de imágenes submarinas de las campañas ISUNEPCA) _____	70
3.5.3. Análisis de datos para la estimación del impacto del arrastre de fondo sobre los hábitats (Imágenes submarinas, campaña INTEMARES A4 CAD) _____	71
3.5.4. Análisis de datos para la estimación de la perturbación debida a la pesca de arrastre de fondo _____	74
4. Resultados _____	76
4.1. Distribución del hábitat objeto de estudio _____	76

ÍNDICE (Continuación)	Pág.
4.2. Presión pesquera _____	78
4.2.1. Estimaciones basadas en datos de Sistemas de Seguimiento de Buques _____	78
4.2.2. Estimaciones de la actividad de arrastre de imágenes submarinas _____	103
4.2.3. Estimaciones de la actividad de arrastre de datos acústicos (multihaz) _____	105
4.3. Principales comunidades y hábitats en caladeros de pesca de arrastre de fondo e Impacto asociado derivado de la pesca de arrastre de fondo _____	110
4.3.1. Megafauna de caladeros de pesca en relación a variables ambientales y actividad de arrastre de fondo (Campañas ISUNEPCA 2014-2019) _____	110
4.3.2. Impacto de la actividad de arrastre de fondo en los principales hábitats de caladeros de pesca del Campo Somero (Campaña INTEMARES A4 CAD) _____	119
4.3.3. Análisis de la perturbación debida a la pesca de arrastre de fondo _____	144
5. Propuestas para controlar, eliminar o mitigar los efectos de la actividad pesquera sobre hábitats Red Natura 2000 _____	148
5.1. Conclusiones y propuestas sobre la distribución y evolución de la actividad de arrastre de fondo y de las capturas e ingresos económicos asociados _____	148
5.2. Conclusiones y propuestas sobre el solapamiento y la perturbación de los hábitats con la actividad de arrastre de fondo _____	151
5.3. Conclusiones y propuestas sobre el impacto en los hábitats _____	153
6. Referencias bibliográficas _____	155
7. Agradecimientos _____	167
Anexo _____	168

Autor/es del informe: José Luis Rueda, Emilio González-García, Enrique Franco-Gutiérrez, Ángel Mateo-Ramírez, Marina Gallardo-Núñez, Desiree Palomino, Olga Utrilla, Javier Urra, Marga García García, Izáskun Villar-Menéndez, Ana Rodríguez de la Rúa Franch, Carlos Farias, Antonio Punzón

Como información de base han sido imprescindibles los trabajos realizados previamente, cuyo resultado se plasmó en los entregables del proyecto INTEMARES aparte de éste que se mencionan a continuación (además de figurar en el apartado correspondiente):

(1) Luis Miguel Fernández-Salas, Desirée Palomino Cantero, Izaskun Villar Menéndez, Marga García García y Olga Sánchez-Guillamón, 2021. Life IP INTEMARES. Informe sobre la distribución espacial de las características geomorfológicas y sedimentarias del LIC-ESZZ12002-*Volcanes de fango del golfo de Cádiz* (Demarcación Sudatlántica). SubAcción A.2.1: Mejora del conocimiento en zonas ya declaradas. Proyecto Life IP INTEMARES. Instituto Español de Oceanografía. Informe técnico. 49 pp.

(2) Ángel Mateo-Ramírez, Emilio González-García, Olga Utrilla, Javier Urra, Laís V. Ramalho, Carlos Farias, Marina Gallardo-Núñez y José Luis Rueda, 2020. LIFE IP INTEMARES. Informe sobre el estado actual de conocimiento de la biodiversidad del LIC-ESZZ12002 "*Volcanes de fango del golfo de Cádiz*" (Demarcación Sudatlántica). Proyecto Life IP INTEMARES. Instituto Español de Oceanografía. Informe técnico. 87 pp.

(3) José Luis Rueda, Ángel Mateo-Ramírez, Emilio González-García, Javier Urra, Marina Gallardo-Núñez, Alejandro Martín-Arjona, Pablo Lozano, Olga Utrilla, Enrique Franco-Gutiérrez y Carlos Farias, 2022b. LIFE IP INTEMARES. Informe sobre la caracterización, cartografiado y estado de conservación de los hábitats bentónicos del LIC-ESZZ12002 "*Volcanes de fango del golfo de Cádiz*" (Demarcación Sudatlántica). Proyecto Life IP INTEMARES. Instituto Español de Oceanografía. Informe técnico. 196 pp.

El proyecto LIFE IP INTEMARES, que coordina la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, avanza hacia un cambio de modelo de gestión eficaz de los espacios marinos de la Red Natura 2000, con la participación activa de los sectores implicados y con la investigación como herramientas básicas para la toma de decisiones.

Participan como socios el propio ministerio, a través de la Dirección General de Biodiversidad, Bosques y Desertificación; la Junta de Andalucía, a través de la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, así como de la Agencia de Medio Ambiente y Agua; el Instituto Español de Oceanografía; AZTI; la Universidad de Alicante; la Universidad Politécnica de Valencia; la Confederación Española de Pesca, SEO/BirdLife y WWF-España. Cuenta con la contribución financiera del Programa LIFE de la Unión Europea.

1. Resumen ejecutivo

En el Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) “*Volcanes de fango del golfo de Cádiz*” se da la presencia de hábitats vinculados al Hábitat 1180 “*Estructuras submarinas causadas por emisiones de gases*” y al Hábitat 1170 “*Arrecifes*” de la Directiva Hábitat, entre otros muchos. También en el Campo Somero de dicho LIC se desarrollan importantes actividades pesqueras, fundamentalmente de arrastre de fondo, que interaccionan con dichos hábitats, en especial con los sedimentarios. Con el desarrollo de los Sistemas de Seguimientos de Buques (SSB-VMS(*Vessel Monitoring System*)) y con la información de los cuadernos de pesca se han podido cartografiar la actividad de arrastre, la cual ha sido contrastada con estimaciones de actividad obtenidas mediante imágenes de los fondos marinos y datos acústicos (ecosonda multihaz). Esto ha permitido también conocer el grado de exposición de cada hábitat bentónico a la pesca de arrastre, pero lamentablemente no ha sido suficiente para determinar el impacto de la actividad sobre los hábitats. En el presente informe se realiza para el Campo Somero del LIC (1) un análisis espacial y temporal de la distribución de la actividad de arrastre de fondo, las capturas y valor económico asociado a las mismas; (2) un estudio de la distribución de los hábitats en los caladeros del LIC y el efecto de las variables ambientales y relacionadas a la pesca de arrastre de fondo en dicha distribución y (3) una estimación del impacto y perturbación que sufren hábitats vinculados al Hábitat 1170 y 1180 de la Directiva Hábitat.

Para ello se han usado datos como imágenes submarinas y muestras obtenidas en diferentes campañas (ISUNEPKA, INTEMARES A4 CAD, etc.) así como nuevas series de datos pesqueros y datos previamente publicados en un anterior informe (Rueda et al., 2022b) (ej. mapas de hábitat, mapas de sensibilidad, etc.). Se realizó una campaña específica (INTEMARES A4 CAD) para estudiar el impacto de la actividad de arrastre en un hábitat 1180 y un hábitat 1170 con diferente nivel de presión pesquera de arrastre de fondo combinando diferentes técnicas de muestreo, datos acústicos e imágenes submarinas.

El análisis de la actividad de arrastre de fondo ha mostrado que la mayor actividad se concentra en zonas sedimentarias planas alrededor de la dorsal diapírica del Guadalquivir afectando, principalmente, a los sectores del volcán de fango Anastasya y el diapiro Cristóbal Colón (situado cerca de Anastasya) y, en menor grado, al sector de los volcanes de fango Tarsis y Pipoca. Estas zonas son las que ofrecen mayores capturas y valor económico asociado a la flota de arrastre, y generalmente no contienen hábitats con importante componente biogénico, excepto en Tarsis y Pipoca (comunidades de pennatuláceos y quimiosintéticas) y Anastasya (comunidades quimiosintéticas) que contienen hábitats de interés para su conservación. Otras zonas con importantes hábitats de interés presentan baja actividad de arrastre, capturas y valor económico asociado, por lo que se estima que la regulación pesquera de dichas zonas tendría un bajo impacto socioeconómico. Los hábitats que mostraron una mayor superficie afectada y perturbación derivada de la actividad de arrastre fueron generalmente hábitats con bajo componente biogénico, excepto el hábitat *Fangos y arenas fangosas batiales con pennatuláceos*. Respecto al arrastre, más del 60% del área

estudiada está expuesta a la presión, y más de un 20% del área está sometida a niveles de perturbación altos o muy altos.

Usando diferentes técnicas, el presente estudio no ha detectado un impacto significativo de la actividad de arrastre de fondo en un tipo de Hábitat 1180 (*Estructuras producidas por emisiones de gases con comunidades quimiosintéticas*), aunque se sugiere una regulación de la actividad de arrastre por motivos precautorios. Sin embargo el estudio del impacto de la actividad de arrastre sobre el hábitat *Fangos y arenas fangosas batiales con pennatuláceos* ha demostrado una disminución significativa de la abundancia y del índice de sensibilidad de la comunidad, así como de la abundancia y la distribución de las tallas de las dos especies dominantes y formadoras de dicho hábitat (ej. *Funiculina quadrangularis* y *Kophobelemnion stelliferum*).

Executive Summary

In the Site of Community Importance "Volcanes de fango del golfo de Cádiz - Mud Volcanoes of the Gulf of Cádiz" there is the presence of habitats linked to Habitat 1180 "Submarine structures made by leaking gases" and to Habitat 1170 "Reefs" of the Habitat Directive, among others. In the Shallow Field of the SCI, important fishing activities are also carried out, mainly bottom trawling, which interact with some habitats, mainly sedimentary ones. With the information from the Vessel Monitoring Systems (SSB-VMS) and the logbooks, trawling activity has been mapped, which has been contrasted with activity estimates obtained through underwater images and acoustic data (multibeam). This made possible to know the degree of exposure of each benthic habitat to trawling, but unfortunately it has not been enough to determine the impact of the activity on some key habitats. In this report, a spatial and temporal analysis of the distribution of bottom trawling activity, catches, and economic value associated with them is carried out for the Shallow Field of the SCI, together with (1) a study of the distribution of habitats in the SCI fishing grounds and the effect of environmental variables and those related to bottom trawling on such distribution and (2) an estimate of the impact and disturbance suffered by habitats linked to the Habitat 1170 and 1180 of the Habitat Directive.

For these aims, data, underwater images and samples obtained in different campaigns (ISUNEPKA, INTEMARES A4 CAD, etc.) have been used, as well as new series of fishing data and data previously published in a previous report (Rueda et al., 2022b) (eg habitat maps, sensitivity maps, etc.). A specific campaign (INTEMARES A4 CAD) was carried out to study the trawling impact in a habitat 1180 and a habitat 1170 with different pressure levels related bottom trawling activity, combining different sampling techniques, acoustic data and underwater images.

The analysis of bottom trawling activity has shown that the greatest activity is concentrated in flat sedimentary zones around the Guadalquivir diapiric ridge, mainly affecting the Anastasya and Cristóbal Colón sectors (located near Anastasya) and, to a lesser degree, the sector of Tarsis and Pipoca. These areas are the ones that offer the highest catches and economic value associated with the trawling fleet, and generally

do not contain habitats with an important biogenic component, except in Tarsis and Pipoca (sea-pen and chemosynthetic communities) and Anastasya (chemosynthetic communities) that contain habitats of interest to the conservation. Other areas with important habitats of interest have low trawling activity, catches and associated economic value, so it is estimated that the fishing regulation of these areas would have a low socioeconomic impact. The habitats that showed a greater area affected and disturbance derived from trawling activity were generally habitats with a low biogenic component, except for the sea-pen communities. Regarding trawling, more than 60% of the Shallow Field is exposed to pressure, and more than 20% is subject to high or very high disturbance levels.

The present study has not detected a clear impact of bottom trawling in a Habitat 1180 type (*Structures produced by gas escape with chemosynthetic communities*) using different techniques, although a regulation of the trawling activity is suggested for precautionary reasons. However, the study of the bottom trawling impact on the sea-pen habitat has shown a significant decrease in the abundance and the sensitivity index of the community, as well as in the abundance and size distribution of the two dominant species and habitat-forming species (e.g. *Funiculina quadrangularis* and *Kophobelemnon stelliferum*).

2. Introducción

A raíz de los trabajos científicos llevados a cabo en el marco del proyecto LIFE+ INDEMARES (07/NAT/E/000732) desde 2009 a 2014, el Lugar de Importancia Comunitaria "Volcanes de fango del golfo de Cádiz" fue propuesto a la Comisión Europea para su inclusión en la lista de Lugares de Importancia Comunitaria (LIC) de la Red Natura 2000 en julio de 2014 (Orden AAA/1299/2014, de 9 de julio). En la novena lista actualizada de los LIC, la Comisión Europea incorporó el LIC ESZZ12002 "Volcanes de fango del golfo de Cádiz" en la Red Natura 2000 (RN 2000) (Decisión Ejecutiva (UE) 2015/2374 de la Comisión de 26 de noviembre de 2015). El LIC se encuentra en la Región Sudatlántica (IXa del ICES), la cual forma también parte de la Provincia Lusitánica, subprovincia cálida (código 15, *Warm Lusitanian subprovince*) de la Región IV de OSPAR (Francia y Península Ibérica). Este LIC ocupa una extensa área de unos 3177 km² (317723.77 ha), y limita al Norte con la plataforma continental de Huelva y Cádiz, mientras que limita al Sur con las aguas magrebíes en sentido amplio.

La localización del LIC, entre los continentes de Europa y África, así como entre el océano Atlántico y el mar Mediterráneo, le confiere unas peculiares características oceanográficas, geológicas, biológicas y socioeconómicas (Díaz del Río et al., 2014 a,b). Las peculiaridades de esta zona son diversas así como complejas y singulares, destacando: (1) un elevado e interactivo hidrodinamismo producto de la confluencia de las masas de agua Atlántica y Mediterránea, vinculadas al intercambio de aguas a través del estrecho de Gibraltar; (2) una singular diversidad y productividad biológica, fruto del ambiente propicio y heterogéneo que facilita la confluencia de aguas atlánticas y mediterráneas; (3) una confluencia de especies procedentes de diferentes regiones biogeográficas (Lusitánica, Mauritánica y Mediterránea) que hace que, junto al vecino mar de Alborán, sea una de las zonas de mayor biodiversidad de los márgenes Europeos y Norteafricanos; (4) la existencia de importantes escapes de fluidos (principalmente metano) producto de la tectónica salina relacionada con la convergencia de las placas litosféricas africana y europea; y (5) la presencia de complejos procesos microbianos que aprovechan energéticamente los flujos de metano para transformar los fondos disgregados en estructuras carbonatadas consolidadas y favoreciendo, por tanto, una alta heterogeneidad del fondo marino (Díaz del Río et al., 2014 a,b).

Gracias a diferentes campañas y acciones lideradas por el Instituto Español de Oceanografía (IEO-CSIC) (Centro Oceanográfico de Málaga y Cádiz, COMA-COCAD) en el marco del proyecto LIFE+ INDEMARES (Subproyecto Chimeneas de Cádiz) entre los años 2010 y 2012, se pudo obtener una gran cantidad de información sobre las características oceanográficas, geomorfológicas, sedimentológicas, biológicas y pesqueras de las zonas con expulsión de fluidos, principalmente los volcanes de fango (VF), los complejos diapiro-volcán de fango, las depresiones de colapso y algunos

diapiros aislados (Díaz del Río et al., 2014 a,b). Con esta información se pudieron localizar y caracterizar los principales tipos de hábitats presentes en estas zonas de expulsión de fluidos, así como sus comunidades bentónicas y demersales. Por otro lado, se pudieron también obtener las primeras aproximaciones de la distribución espacial y temporal de las principales actividades antrópicas, en el entorno del LIC (Díaz del Río et al., 2014 a,b; González-García et al., 2020 a). En los últimos años (2010-2021), se han realizado una serie de campañas lideradas por el COMA-COCAD en aguas españolas del golfo de Cádiz, que han permitido mejorar la información sobre las características oceanográficas y geomorfológicas, así como de los hábitats bentónicos de la parte más somera del LIC (*Campo Somero de Expulsión de Fluidos*) y, en menor medida, de la parte más profunda del LIC (*Campo Profundo de Expulsión de Fluidos*). Estas campañas estaban enmarcadas dentro de diferentes proyectos nacionales, como ISUNEPCA (campañas anuales ISUNEPCA del 2014 al 2019) e internacionales como LIFE + INDEMARES (subproyecto Chimeneas de Cádiz) y LIFE IP INTEMARES (campaña INTEMARES A4 CAD) (Vila et al., 2015-entre otros-; Rueda et al., 2022a). Con toda la información obtenida en estos años, el IEO-CSIC se encuentra en una nueva etapa, en la cual y dentro del marco del proyecto LIFE IP INTEMARES "*Gestión integrada, innovadora y participativa de la Red Natura 2000 en el medio marino español*", se plantea facilitar información reciente para ayudar en la elaboración de un plan de gestión integrada, con el cual asegurar la conservación de los hábitats y de las especies presentes en los diferentes LICs, incluyendo el de los "*Volcanes de fango del golfo de Cádiz*". Para ello, y dentro específicamente de la Acción A2.1, Rueda et al. (2022b) realizó un Inventario y cartografiado de tipos de hábitats de la RN 2000 y hábitats vulnerables considerados en directivas y convenciones internacionales como EUNIS, OSPAR o el Convenio de Barcelona. Durante este proyecto LIFE IP INTEMARES, se han elaborado otros trabajos científicos que han permitido mejorar el conocimiento de las características geológicas, los hábitats, sus comunidades asociadas y sus principales presiones, los cuales son de gran importancia para analizar las posibles medidas correspondientes dentro del plan de gestión del futuro ZEC (*ver sección 2.1.2. Hábitats y especies de la Red Natura 2000*). Algunos de estos trabajos analizaron las principales presiones antrópicas del LIC, fundamentalmente derivadas de la pesca de arrastre de fondo, incluyendo la distribución espacial de la actividad de arrastre y de las principales especies capturadas, así como la influencia de las variables ambientales en dicho patrón (González García et al., 2020 a). Además se realizó un estudio sobre la distribución espacial y dinámica temporal de la actividad de arrastre de fondo, las principales especies capturadas y el valor económico asociado que aportan éstas dentro del LIC en referencia al total del golfo de Cádiz y a sectores específicos que contienen hábitats vulnerables y que necesitarían de una revisión de la regulación pesquera en esas zonas (González-García et al., 2022). Finalmente, varios trabajos han recopilado algunos efectos de la pesca de arrastre de fondo sobre los hábitats de tipo sedimentario (ej. comunidades de pennatuláceos, agregaciones de

Isidella elongata, etc.) (Rueda et al., 2022 a,b; González-García, 2022; Lozano et al., en preparación; Franco-Gutiérrez, 2022).

En general, la pesca de arrastre de fondo opera con una red que es movilizada por una embarcación, y su principal objetivo son las especies epibentónicas y demersales, y en menor medida las macrobentónicas endofaunales (Mardle et al., 2002; Toscano-Jiménez & García-Tenoria, 2002). Esta modalidad de pesca puede modificarse según convenga por el tipo de fondo o las especies objetivo, por ejemplo, el arte cadenero consiste en introducir una cadena de acero en el burlón permitiendo así que la red se entierre más en el fondo capturando de esta forma especies que viven semienterradas (ej. choco o jibia, pulpo, etc.) (Jiménez et al., 2004). Lamentablemente, el arrastre de fondo suele tener efectos negativos sobre los fondos marinos, ya que puede reducir la biodiversidad y la biomasa de diferentes organismos bentónicos que sean sésiles (Williams et al., 2010). Algunos estudios indican que hay diferencias significativas entre la biodiversidad de zonas en las que se ha dado este tipo de pesca y las zonas en las que no, especialmente en hábitats con especies estructurantes que ofrecen complejidad tridimensional al fondo marino (ej. corales, esponjas, pennatuláceos) (Ramírez-Llodra et al., 2008). A su vez esta modalidad de pesca, si se produce con una cierta periodicidad también puede tener efectos negativos sobre el fondo marino, ya que se pueden llegar a producir flujos de sedimentos por gravedad pudiendo provocar una grave consecuencia sobre los organismos sésiles suspensívoros al modificar la disponibilidad de las partículas alimenticias o quedar enterrados (Palanques et al., 2006). Otra consecuencia de la pesca de arrastre de fondo es la pesca fantasma producida por las redes perdidas o desechadas en el océano provocando ciertos daños sobre los organismos bentónicos y pelágicos durante muchos años (Hareide & Garnes, 2001). La pesca de arrastre de fondo favorece la resuspensión de sedimentos, ya que la fricción del arte sobre el fondo suele producir altas cantidades de sedimentos en flotación, que pueden afectar la transparencia del agua y los hábitats estructurados por especies fotófilas (De Madron et al., 2005; Dellapenna et al., 2006). También provoca unos daños visibles en el fondo marino como son los grandes surcos creados por las puertas y otros menos patentes entre las marcas de estas dos puertas debido a la cadena o lastres que van en la parte basal de la red, haciendo así que se removilicen y/o retiren sedimentos y especies bentónicas (Schwinghamer et al., 1998; Dealeris & Skrobe, 1999; Humborstad et al., 2004; Malik & Mayer, 2007). Diversos estudios han demostrado que los impactos de la pesca de arrastre son reales y afectan tanto a la biodiversidad como a la abundancia de las comunidades (Dayton et al., 1995; Jennings & Kaiser, 1998; Bianchi et al., 2000; Collie et al., 2000; Gray et al., 2006). A parte de los daños sobre el sedimento y las comunidades bentónicas producidos por la pesca de arrastre de fondo, los descartes pesqueros así como las capturas accidentales de juveniles provocan otro tipo de impacto ya que se pueden eliminar cohortes (futuros reproductores), ocasionando todo ello una desestructuración de diferentes hábitats,

así como una alteración de su cadena trófica (Alverson, 1999; Zeller & Pauly, 2005). Algunos de los mayores impactos producidos por la pesca de arrastre se ven reflejados esencialmente sobre la abundancia y/o biomasa de sus especies objetivo (ej. pulpos, gambas, cigalas, rapas, tiburones, etc.) (Torres et al., 2013), pero también fundamentalmente sobre las especies bentónicas sésiles, grandes y frágiles, tal y como se ha comentado anteriormente (González-García et al., 2020 a, 2022). En este contexto, es de vital importancia la realización de estudios que puedan evaluar el efecto que tiene la pesca de arrastre de fondo sobre el fondo marino en diferentes partes del mundo, incluyendo el LIC de *Volcanes de fango del golfo de Cádiz*, para así conocer los efectos específicos de dicha actividad sobre las comunidades y hábitats locales.

La futura declaración de este LIC como Zona de Especial Conservación (ZEC) requiere la elaboración de un plan de gestión específico que contemple medidas integradas que aseguren la conservación de sus hábitats y especies para los que fue creada, por lo que son necesarias algunas mejoras del conocimiento en esta zona ya declarada. Para ello, en el marco del proyecto LIFE IP INTEMARES y específicamente en la Acción A4 se contempla la caracterización de las principales presiones del LIC en relación al estado ambiental, vulnerabilidad y sensibilidad de los diferentes tipos de hábitats RN2000 así como los considerados en convenciones internacionales como OSPAR y el Convenio de Barcelona. El presente informe unifica toda la información obtenida durante este periodo comprendido entre 2010-2022 sobre los efectos de la pesca de arrastre sobre los hábitats bentónicos del LIC-ESZZ12002 (*Volcanes de fango del golfo de Cádiz*).

2.1. Descripción general del área de estudio

El LIC "*Volcanes de fango del golfo de Cádiz*" se encuentra en la Región Sudatlántica (IXa del ICES) y forma parte de la Provincia Lusitánica, subprovincia cálida (código 15, Warm Lusitanian subprovince) de la Región IV de OSPAR (Francia y Península Ibérica). En concreto se localiza al noreste del golfo de Cádiz, y dentro de la demarcación Sudatlántica de aguas españolas (Fig. 1).

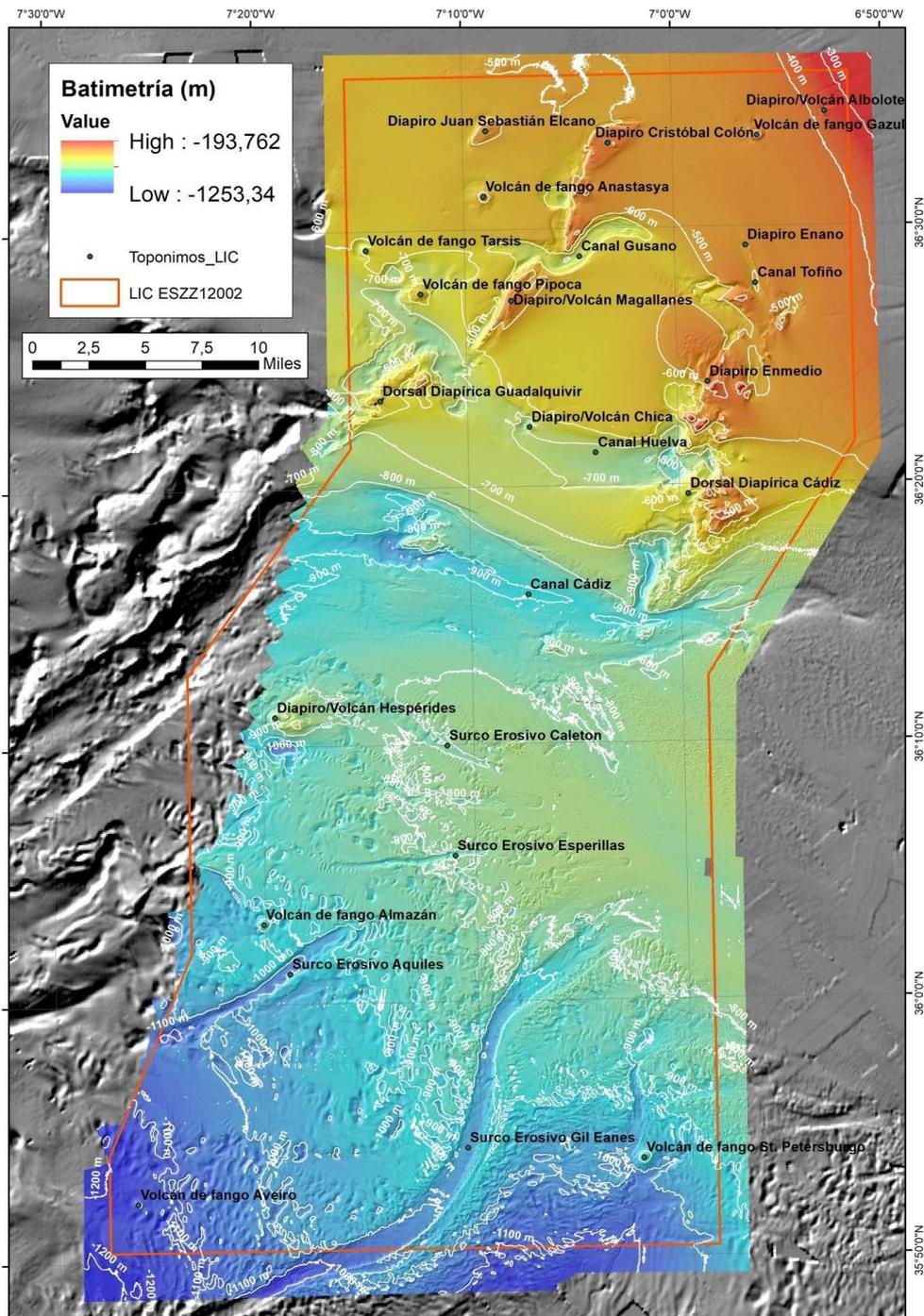


Figura 1. Batimetría del LIC *Volcanes de fango del golfo de Cádiz* y toponimia de algunos de los relieves más significativos. Figura extraída de Fernández-Salas et al. (2021).

Geográficamente, el LIC queda encuadrado entre las coordenadas de latitud $36^{\circ} 35,98' N$ y $35^{\circ} 50,54' N$, y de longitud $006^{\circ} 51,65' W$ y $007^{\circ} 27,79' W$. Limita al norte con la *Zona de Especial Protección de Aves del golfo de Cádiz*, la cual se extiende en buena parte de la amplia y rica plataforma continental desde la frontera con Portugal hasta las aguas frente a la desembocadura del río Guadalquivir, ocupando una superficie de 234.327 ha. El LIC tiene una extensión de unos 3.177,24 km² y un rango de profundidad

de entre unos 300 y 1200m entre el talud superior y el talud medio del margen español del golfo de Cádiz.

En el LIC se diferencian dos zonas con identidad propia, una más cercana a la costa y denominada *Campo Somero de Expulsión de Fluidos*, donde se concentra una gran parte de las actividades antrópicas, y otra más alejada de la costa y denominada *Campo Profundo de Expulsión de Fluidos*, donde dicha actividad se podría calificar de baja e incluso nula (Díaz del Río et al., 2014 a,b; Fernández-Salas et al., 2021). En estos dos campos existen más de una decena de estructuras de expulsión de fluidos que contribuyen a incrementar la geodiversidad de las más de 80 estructuras submarinas de expulsión de fluidos, incluyendo volcanes de fango (VF), complejos diapiro-volcán de fango (DVF) que se han detectado hasta la fecha en el golfo de Cádiz y las cuales están situadas en diferentes campos del margen español, portugués y magrebí (Díaz del Río et al., 2003, 2014 a,b; Pinheiro et al., 2003; Fernández-Puga et al., 2007; Medialdea et al., 2009; León et al., 2012; Palomino et al., 2016; Somoza et al., 2021; Sánchez-Gillamón et al., 2023). Estas estructuras submarinas del LIC se han producido como consecuencia del diapirismo y la actividad tectónica asociada que han permitido la migración de fluidos a través de vías que se generan a lo largo de los sistemas de falla y diapiros profundos (Somoza et al., 2002, 2003; Díaz del Río et al., 2003, 2014 a,b; Fernández-Puga et al., 2007; Medialdea et al., 2009; Palomino et al. 2016, en revisión; Fernández-Salas et al., 2021). La existencia de VF, complejos DVF, diapiros, dorsales diapíricas y reactivación de fallas indican una actividad tectónica reciente (Medialdea et al., 2004) que se combina con el *Sistema Depositional Contornítico* (CDS: *Contourite Depositional System*), para configurar la actual fisiografía del talud continental medio (Llave et al., 2001; Hernández-Molina et al., 2003). El CDS está compuesto por diferentes sectores morfosedimentarios con una amplia variedad de relieves como son: canales, dorsales, lóbulos sedimentarios, ondulaciones, afloramientos, etc. (Fernández-Salas et al., 2021). El desarrollo del CDS y de todas las morfologías acompañantes es posterior a la apertura del estrecho de Gibraltar, fenómeno que sucedió al final del Messiniense. Su evolución ha estado controlada por el intercambio de masas de aguas a través del estrecho de Gibraltar (Kenyon y Belderson, 1997; Nelson et al., 1999).

A nivel local, la presencia de estos fluidos junto con la acción bacteriana, han dado lugar a la formación de carbonatos autigénicos derivados del metano (Díaz del Río et al., 2003, 2014; León et al., 2007; Palomino et al., 2016), los cuales y debido a las corrientes de fondo (fundamentalmente de la *Mediterranean Outflow Water* - MOW) pueden ser desenterrados en determinadas zonas e inducir importantes cambios en el fondo marino, los hábitats y en sus comunidades asociadas (Rueda et al., 2012 a, 2016; Díaz del Río et al., 2014 a,b; González-García et al., 2020 b, Rueda et al. 2022b).

2.1.2. Características oceanográficas

La complejidad oceanográfica del área de estudio está determinada por la circulación general marina del golfo de Cádiz, la cual está controlada por el agua atlántica superficial (*Atlantic Inflow Water*, AIW) que, procedente del océano Atlántico, se dirige hacia el estrecho de Gibraltar para penetrar, posteriormente, en el mar Mediterráneo, y por el agua mediterránea más profunda (MOW) que, procedente de la cuenca mediterránea, y atraviesa el Estrecho siendo expulsada hacia el océano Atlántico iniciando su recorrido a lo largo del golfo de Cádiz sometida al efecto geostrófico (Sánchez-Leal et al. 2017) (Fig. 2). Los procesos oceanográficos, longitudinales al talud, relacionados con la componente de fondo de las corrientes generan rasgos erosivos y sedimentarios (drifts) que dan forma a los sistemas deposicionales contorníticos (CDS) o a los sistemas mixtos contorníticos-turbidíticos, donde las corrientes de fondo interactúan con los procesos transversales al talud (Faugères et al., 1999; Stow et al., 2002). De esta manera, la componente de fondo de las corrientes marinas contribuye, de manera decisiva, al modelado del relieve submarino (Stow et al., 2009; Sánchez-Leal et al. 2017) e incluso a la distribución de diferentes tipos de hábitats (Lozano et al., 2020b; González-García et al., 2020b; Urra et al., 2020) y a la actividad pesquera (González-García et al., 2020a, 2022). Dichas corrientes actúan de forma semipermanente erosionando, transportando y depositando sedimentos sobre el fondo marino. La interacción de una masa de agua con el relieve del fondo marino desarrolla en ocasiones un hidrodinamismo regional y local particular (núcleos, brazos, vórtices, turbulencias, ondas internas, flujos helicoidales, columnas verticales, etc.) que controlan los procesos sedimentarios dominantes. De igual forma, los relieves también están influenciados por la actividad tectónica y el aporte de sedimentos. Así, las morfologías de origen tectónico -como son los diapiros, altos estructurales, bancos, dorsales y montes submarinos, etc.-, controlan igualmente el desarrollo de nuevos núcleos y brazos de las corrientes de fondo, con lo que se incrementa la complejidad geomorfológica de la superficie del fondo marino.

El estudio de las corrientes de fondo y su interacción con la morfología es un asunto clave para conocer y comprender la influencia de estos factores oceanográficos en el desarrollo y mantenimiento de las comunidades bentónicas de aguas profundas. Así, y en función de la velocidad que presenta la MOW en cada uno de los campos (somero y profundo) del LIC, se pueden observar desde hábitats sedimentarios dominados por megafauna excavadora (incluyendo algunas especies de alto interés pesquero como la cigala) o por comunidades de pennatuláceos, fondos de grava con ripples y crinoideos e incluso hábitats rocosos formados por carbonatos autigénicos (chimeneas, costras y enlosados) con presencia de grandes suspensívoros como esponjas o gorgonias (Rueda et al., 2016; González-García et al., 2020 b; Lozano et al. 2020 a,b). Además, la velocidad de la corriente en el fondo puede ser un factor de importancia en el estudio

de la distribución de la actividad de arrastre de fondo, debido a su influencia en el tipo de sedimento presente en una zona (ej. fondos arenosos y gravosos en zonas con alto hidrodinamismo) o en las maniobras pesqueras (ej. mayor dificultad de arrastrar en zonas con alto hidrodinamismo) (González-García et al., 2020a,b).

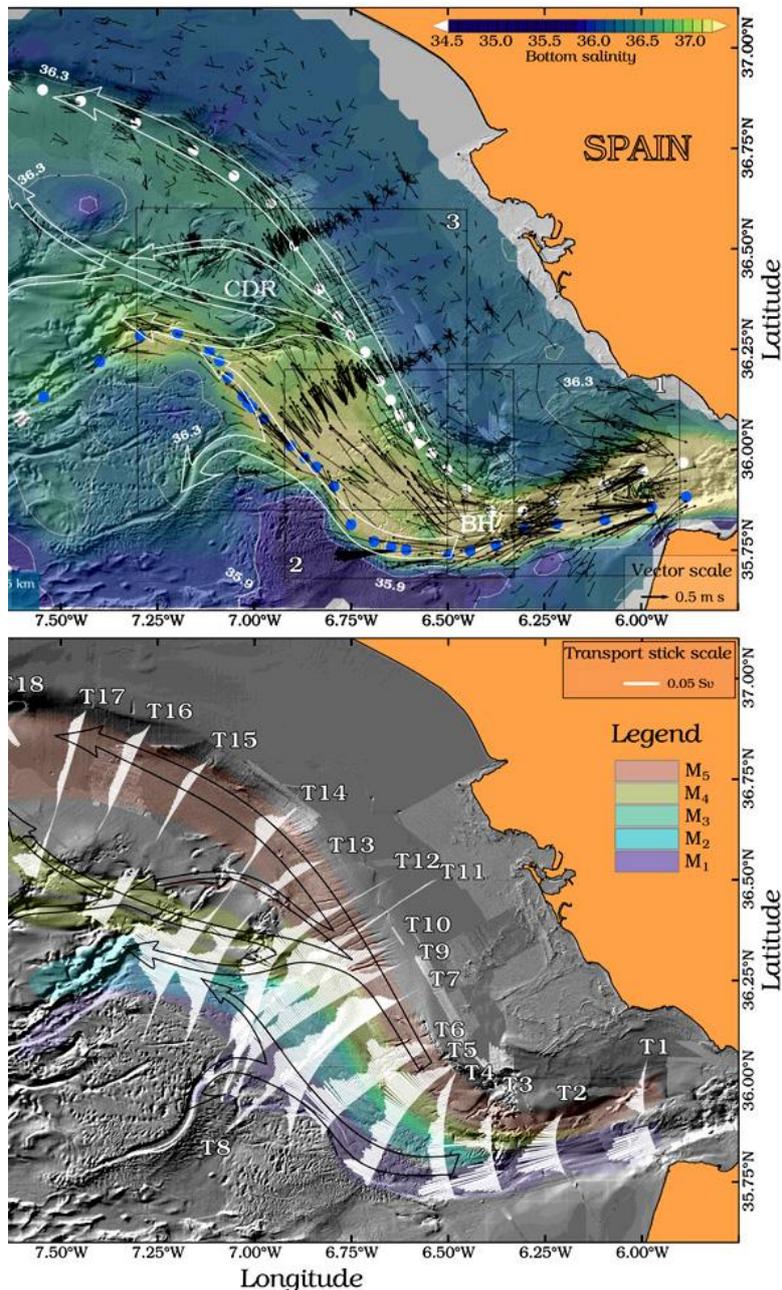


Figura 2. Dirección y velocidad de la corriente de fondo del agua procedente del mar Mediterráneo (Mediterranean Outflow Water - MOW) en la demarcación Sudatlántica, donde se localiza el LIC *Volcanes de fango del golfo de Cádiz*. Figura extraída de Sánchez-Leal et al. (2017). En el mapa superior las flechas negras indican dirección y el tamaño de la flecha indica la velocidad de la corriente. En el mapa inferior, se muestran las diferentes ramas de la MOW y el transporte asociado.

2.1.2. Hábitats y especies de la Red Natura 2000

Este LIC destaca por la presencia de emisiones de fluidos que se encuadran dentro del Hábitat 1180 “*Estructuras submarinas causadas por emisiones de gases*” de la Directiva Hábitat (92/43/CEE) (Rueda et al., 2012 a,b, 2016, 2022b; Díaz del Río et al., 2014 a,b; Fernández-Salas et al., 2021). En realidad se trata de uno de los casos paradigmáticos y singulares, con muy poca representación en otras demarcaciones de aguas españolas y en otras zonas de Europa, en los que el fenómeno de expulsión de fluidos, que movilizan sedimentos del subsuelo marino, ha favorecido la formación de una gran diversidad de relieves y hábitats de alta singularidad e interés ecológico (Rueda et al., 2012 a,b, 2016, 2022b; Palomino et al., 2016; Lozano et al., 2020 a,b; Fernández-Salas et al., 2021). Estos fenómenos de expulsión de fluidos producen cambios sustanciales en la superficie de los depósitos y en el interior de las series sedimentarias, modificando los relieves preexistentes y la composición del fondo marino. Debido a la acción bacteriana sobre estos fluidos, se generan bajo el subsuelo diferentes tipos de estructuras carbonatadas de neoformación, conocidas como carbonatos autigénicos, que pueden tener diferentes tamaños y formas (ej. chimeneas, enlosados, costras) y que posteriormente pueden ser desenterrados por la corriente del fondo marino (Díaz del Río et al., 2003, 2014 a,b; Palomino et al., 2016). Esta alteración natural de los fondos sedimentarios es un proceso continuo mientras permanece activo el fenómeno de la expulsión de fluidos, y es posteriormente modulado por las corrientes de fondo, induciendo cambios significativos sobre los tipos de fondos y, por tanto, en los hábitats (Rueda et al., 2016, 2022b; Palomino et al., 2016; Lozano et al., 2020 a,b; González-García et al., 2020b; Fernández-Salas et al., 2021).

La tectónica constituye un factor de control determinante en la migración de fluidos y en la formación de estructuras como son los volcanes de fango (Somoza et al., 2003; Medialdea et al., 2004; Fernández-Puga et al., 2007) y también los diapiros, los cuales pueden ser salinos (relacionados con las evaporitas mesozoicas) y margo-salinos (asociados a la *Unidad Alóctona del Golfo de Cádiz* - UAGC) (Medialdea et al., 2004, 2009; Fernández-Puga et al., 2007; Palomino et al., 2016; Lozano et al., 2020 a,b). Dentro del LIC, los diapiros salinos se concentran en el sector septentrional (plataforma continental y talud superior y medio), donde aparecen como domos redondeados subaflorantes o aflorantes y reconocibles en los mapas batimétricos, aunque también se han encontrado enterrados en el sector central del golfo de Cádiz (Palomino et al., 2016; Lozano et al., 2020 a,b; Fernández-Salas et al., 2021). Estas estructuras deforman y llegan a atravesar prácticamente toda la cobertura sedimentaria, incluida la UAGC, cuando existe. Los diapiros margo-salinos, constituidos principalmente por arcillas y margas miocenas y evaporitas triásicas, se

agrupan formando crestas de dirección NE-SW, como las denominadas Dorsal del Guadalquivir y Dorsal de Cádiz (Lozano et al., 2020 a,b; Fernández-Salas et al., 2021) (Fig. 3). Todas estas estructuras han favorecido la migración y extrusión de fluidos y sedimentos sometidos a sobrepresión a lo largo de la columna sedimentaria, para finalmente dar lugar a la construcción en superficie de otras estructuras como son los volcanes de fango (Palomino et al., 2016; Lozano et al., 2020 a,b; Fernández-Salas et al., 2021). Algunos volcanes de fango se encuentran relacionados con diapiros someros/aflorantes asociados a la UAGC que forman crestas NE- SW o en base a observaciones realizadas en perfiles sísmicos multicanal (Medialdea et al., 2009).

Algunos estudios han mostrado que la formación de volcanes de fango en el golfo de Cádiz comprende dos procesos principales. La migración y extrusión de fluidos y coladas de fango que están controladas por el diapirismo y por diferentes tipos de fallas (Medialdea et al., 2009). En general, los volcanes de fango aparecen relacionados con diapiros de distinta naturaleza, aflorantes o localizados a diferentes profundidades de enterramiento y las fallas asociadas facilitan el ascenso de fluidos y/o actúan como área de fuente del fluido (Medialdea et al., 2008). Además, algunos tipos de diapiros pueden, en ocasiones, contener sustrato duro carbonatado en su parte superior, conocido como "cap rock", el cual se forma por complejos de procesos de oxidación anaeróbica de bacterias dependientes de sulfuros, tal y como han demostrado estudios en otras zonas, con importantes emisiones de fluidos (ej. golfo de México) (Caesar et al., 2019). Por otro lado, las fallas extensionales, fallas en dirección o cabalgamientos actúan como sistemas con diferente complejidad que conectan la fuente con el edificio superficial del volcán de fango (Medialdea et al., 2008). La expulsión de fluidos a través de los sedimentos y la consecuente deficiencia de masa, suele ser también responsable de la generación de un colapso gravitacional, con la formación de depresiones de colapso que posteriormente pueden ser erosionadas aún más por la acción de las corrientes de fondo (Medialdea et al., 2008; Palomino et al., 2016; Lozano et al., 2020 a,b; Fernández-Salas et al., 2021).

La superficie del Hábitat 1180 en el LIC es difícil de estimar, ya que se trata de un fenómeno extensivo y expansivo en el golfo de Cádiz y que está en permanente evolución. Díaz del Río et al. (2014 a,b) hicieron una estimación preliminar calculando la superficie que ocupan los principales focos de emisión puntuales en la zona más somera (*Campo Somero de Expulsión de Fluidos*), junto a la que se produce de forma difusa en las aguas más profundas (*Campo Profundo de Expulsión de Fluidos*). La estimación resultó en un total de una superficie de ocupación de unos 154,90 Km² (15490,07 ha) (*En página web de Eunis <https://eunis.eea.europa.eu/sites/ESZZ12002> se indica 179,99 Km², 17999,7 ha*). En dicha estimación preliminar, Díaz del Río et al. (2014 a,b) incluyeron el hábitat genérico "Estructuras producidas por escapes de gases" (Código 040201 de la Lista patrón de los hábitats marinos presentes en España, LPRE), en el cual aparecen los siguientes hábitats a un nivel inferior: (1) *Volcanes de*

fango (sin código en la LPRE), (2) *Depresiones de colapso producidas por escapes de gases* (sin código en la LPRE) y (3) *Pockmarks* (04.02.0101). Formando parte de cada uno de estos hábitats se encuentran, en determinadas ocasiones, los siguientes hábitats: (1) *Estructuras producidas por escapes de gases con especies quimiosintéticas* (04.02.0103), y (2) *Estructuras producidas por escapes de gases con sustratos carbonatados de origen quimiosintético* (04.02.0102). Algunos tipos de estructuras y hábitats que están vinculados con los fenómenos de migración y expulsión de fluidos, tales como los diapiros y las dorsales diapíricas, no fueron incluidos por Díaz del Río et al (2014 a,b), mientras que otras estructuras, principalmente localizadas en el *Campo Profundo de Expulsión de Fluidos* fueron erróneamente incluidas dentro del Hábitat 1180 como *Pockmarks*

Debido a los fenómenos de migración y expulsión de fluidos, los tipos de fondos y comunidades asociadas pueden evolucionar desde fangos anóxicos con emisiones de fluidos y comunidades basadas en la quimiosíntesis con especies quimiosimbióticas que se nutren de estos fluidos y que son endémicas del golfo de Cádiz, hasta fondos con abundantes carbonatos autigénicos que son colonizadas por especies suspensívoras de muy lento crecimiento y alta sensibilidad y funcionalidad ecológica (Díaz del Río et al., 2014 a,b; Palomino et al., 2016; Rueda et al., 2016; González-García et al., 2020 b). Los fondos con sustratos duros carbonatados, formados por la acción bacteriana, compuestos por carbonatos autigénicos (en el caso de los volcanes de fango, complejos diapiro-volcán de fango, *pockmarks* y depresiones de colapso) o por "*cap rock*" (en el caso de los diapiros aislados y las dorsales diapíricas), promueven la presencia del Hábitat 1170 "*Arrecifes*" de la Directiva Hábitat (Díaz del Río et al., 2014 a,b; Palomino et al., 2016; González-García et al., 2020 b; Lozano et al., 2020 a,b; Fernández-Salas et al., 2021). Díaz del Río et al. (2014) estimaron que el Hábitat 1170 del LIC tenía una superficie de ocupación de unos 15,78 Km² (1578,9 ha) (*En página web de Eunis <https://eunis.eea.europa.eu/sites/ESZZ12002> se indica 20,51 Km², 2051,26 ha*), e incluía un total de 7 hábitats contemplados en la Lista Patrón de Referencia de hábitats marinos españoles, entre los cuales destacan: (1) Arrecifes de corales profundos de *Lophelia pertusa* y/o *Madrepora oculata* (Código LPRE 04.03.0301) en forma de bancos extendidos por la ladera del volcán de fango Gazul, (2) Fondos rocosos profundos con agregaciones de gorgonias (04.01.0101) y antipatários (04.01.0102) y (3) Fondos rocosos profundos con agregaciones de esponjas (04.01.0103), estos últimos hábitats presentes en diferentes volcanes de fango y complejos diapiro-volcán de fango. Estos fondos, con sustratos carbonatados, permiten el establecimiento y desarrollo de hábitats que tienen una alta complejidad, funcionalidad, biodiversidad y fragilidad, lo cual hace necesario disponer de elementos de gestión que favorezcan su protección (Díaz del Río et al. 2014; Rueda et al. 2016, 2019). Además, Díaz del Río et al. (2014) identificaron 4 hábitats contemplados en el Convenio OSPAR como son las comunidades de pennatuláceos y

megafauna excavadora (*Sea-pens and burrowing megafauna communities*) en los volcanes de fango Anastasya y Tarsis, los montículos carbonatados (*Carbonate mounds*) en Gazul y en el diapiro Cristóbal Colón, los jardines de coral (*Coral gardens*) en los volcanes Gazul, Pipoca y Almazán o el complejo diapiro-volcán de fango (DVF) Chica y las agregaciones de esponjas profundas (*Deep-sea sponge aggregations*) en diferentes volcanes y diapiros, tanto con sustrato duro (Gazul) como con blando (St. Petersburg).

En los últimos años (2010-2021), se han realizado una serie de campañas que estaban enmarcadas dentro de diferentes proyectos nacionales (ISUNEP-CA-campañas anuales del 2014 al 2019, INPULSE) e internacionales como LIFE+ INDEMARES (subproyecto Chimeneas de Cádiz) y LIFE IP INTEMARES (campaña INTEMARES A4 CAD) (Vila et al., 2015-entre otros-; Rueda et al., 2022a). Con toda la información obtenida en estos años, el IEO-CSIC se encuentra en una nueva etapa, en la cual y dentro del marco del proyecto LIFE IP INTEMARES "*Gestión integrada, innovadora y participativa de la Red Natura 2000 en el medio marino español*", se plantea facilitar información reciente para ayudar en la elaboración de un plan de gestión integrada, con el cual asegurar la conservación de los hábitats y de las especies presentes en los diferentes LICs, incluyendo el LIC "*Volcanes de fango del golfo de Cádiz*". Durante el proyecto LIFE IP INTEMARES, se han elaborado una serie de trabajos científicos que han permitido mejorar el conocimiento de las características geológicas, los hábitats, sus comunidades asociadas y sus principales presiones, los cuales son de gran importancia para analizar las posibles medidas correspondientes dentro del plan de gestión del futuro ZEC. Diferentes características morfológicas y sedimentarias de los puntos de emisión de fluidos (ej. volcanes de fango, complejos diapiro-volcán de fango) del *Campo Somero de Expulsión de Fluidos* fueron estudiadas por Palomino et al. (2016) y Lozano et al. (202 a,b) y posteriormente, las del *Campo Profundo de Expulsión de Fluidos* por Fernández-Salas et al.(2021) y Palomino et al. (en revisión) pudieron completar y ampliar dicha información, ofreciendo un detallado cartografiado morfosedimentario para todo el LIC. Los diferentes tipos de hábitats presentes en el LIC fueron localizados y caracterizados por diferentes trabajos, los cuales ofrecían información sobre las comunidades asociadas y su distribución en volcanes de fango específicos (ej. Gazul) (Urra et al., 2021), en diferentes puntos de emisión de fluidos del *Campo Somero de Expulsión de Fluidos* (González-García et al., 2020 b) o de zonas sin emisión de fluidos (González-García et al., 2020 a; Lozano et al., 2020 a,b), así como en puntos de emisión de todo el LIC (Rueda et al., 2016). La biodiversidad de diferentes zonas del LIC ha sido estudiada con gran detalle, especialmente para los poríferos (Sitjà et al., 2019, 2020), moluscos (Utrilla et al., 2020), incluyendo los ligados a emisiones de fluidos (Rueda et al., 2012b), crustáceos peracáridos (González-Fernández et al., 2020) y aquellos crustáceos ligados a emisiones de fluido (García Raso et al., 2018) y los

briozoos (Ramalho et al., 2018, 2020). Estos estudios documentaron una alta diversidad de especies, incluyendo nuevas especies descritas para la ciencia de todos estos grupos, así como nuevas citas para aguas españolas y para el golfo de Cádiz, la cual fue recogida en el listado faunístico del LIC publicado por Mateo-Ramírez et al. (2019). Además se constató una fuerte afinidad con componentes de la fauna mediterránea (ej. Poríferos), probablemente debido a la acción del agua profunda mediterránea que baña gran parte del LIC, la cual le hace tener un importante papel en la conectividad de zonas profundas entre el mar Mediterráneo y el océano Atlántico (Sitjà et al., 2020).

Rueda et al. (2022b) presentó una nueva actualización del inventario de tipos de hábitats bentónicos así como su caracterización, cartografiado y el estudio de su estado de conservación. Dichos autores detectaron la presencia de 30 tipos de hábitats en el LIC, de los cuales 8 estaban vinculados al Hábitat 1180 "*Estructuras submarinas causadas por emisiones de gases*" de la Directiva Hábitat (DH), 12 al Hábitat 1170 "*Arrecifes*" de la DH (algunos de ellos propuestos por el Comité Científico del proyecto LIFE+ INTEMARES), 4 al Hábitat 1110 "*Bancos de arena cubiertos permanentemente por agua marina, poco profunda*" y 6 a otros hábitats no contemplados en directivas ni en convenios de conservación (Tabla 1, Fig. 3 y 4). Ello incrementó notablemente el conocimiento de los hábitats con respecto a lo obtenido tras el proyecto LIFE + INTEMARES - Chimeneas de Cádiz para el LIC "*Volcanes de fango del golfo de Cádiz*". La información cartográfica se presentó combinando resultados de distribución de hábitats obtenidos con modelos y con criterio de experto.

Tabla 1. Tabla general de los hábitats detectados en el LIC “Volcanes de fango del golfo de Cádiz”, con indicación de las técnicas y tipos de datos usados para su detección y caracterización, así como su vinculación con el hábitat mas similar de la Lista Patrón de Hábitats Marinos presentes en España (Templado *et al.*, 2012) y de la Directiva Hábitat junto con los trabajos donde se han publicado dichos hallazgos (consultar Rueda *et al.*, 2022b para más información).

HÁBITATS DETECTADOS	BENTÓNICOS	CÓDIGO LPRE	CÓDIGO DIRECTIVA HÁBITAT	MÉTODO PARA LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN	USADO SU REFERENCIAS
Volcán de fango (Estructuras producidas por escape de gases, LPRE 040201)		Sin código	1180	<i>Ecosonda multihaz, sonda paramétrica TOPAS, testigo de gravedad, muestra box-corer, imágenes submarinas</i>	Palomino <i>et al.</i> (2016, en revisión), Lozano <i>et al.</i> (2020 a,b)
Complejo diapiro - volcán de fango (Estructuras producidas por escape de gases, LPRE 040201)		Sin código	1180	<i>Ecosonda multihaz, sonda paramétrica TOPAS, testigo de gravedad, muestra box-corer, imágenes submarinas</i>	Palomino <i>et al.</i> (2016, en revisión), Lozano <i>et al.</i> (2020 a,b)
Diapiro (Estructuras producidas por escape de gases, LPRE 040201)		Sin código	1180	<i>Ecosonda multihaz, sonda paramétrica TOPAS, imágenes submarinas</i>	Palomino <i>et al.</i> (2016), Lozano <i>et al.</i> (2020 a,b)
Dorsal Diapírica (Estructuras producidas por escape de gases, LPRE 040201)		Sin código	1180	<i>Ecosonda multihaz, sonda paramétrica TOPAS, imágenes submarinas</i>	Lozano <i>et al.</i> (2020 a,b)
Pockmarks		04020101	1180	<i>Ecosonda multihaz, sonda paramétrica TOPAS</i>	Palomino <i>et al.</i> (2016, en revisión), Lozano <i>et al.</i> (2020 a,b)
Depresiones de colapso (Estructuras producidas por escape de gases, LPRE 040201)		Sin Código	1180	<i>Ecosonda multihaz, sonda paramétrica TOPAS, muestra box-corer, imágenes submarinas</i>	Palomino <i>et al.</i> (2016, en revisión), Lozano <i>et al.</i> (2020 a,b)
Estructuras producidas por escape de gases con comunidades quimiosintéticas		04020103	1180	<i>Ecosonda multihaz, muestra box-corer, imágenes submarinas</i>	Palomino <i>et al.</i> (2016, en revisión), Rueda <i>et al.</i> (2012, 2016), Lozano <i>et al.</i> (2020 a,b)
Estructuras producidas por escape de gases con sustratos carbonatados de origen quimiosintético		04020102	1180	<i>Ecosonda multihaz, draga de roca, beam-trawl, imágenes submarinas</i>	Palomino <i>et al.</i> (2016, en revisión), Lozano <i>et al.</i> (2020 a,b)
Arrecife de corales profundos de <i>Lophelia pertusa</i> y/o <i>Madrepora oculata</i>		04030301	1170	<i>Beam-trawl, imágenes submarinas</i>	Rueda <i>et al.</i> (2016), Urra <i>et al.</i> (2021), González-García <i>et al.</i> (2020b)
Coral muerto compacto (dead coral framework)		Sin código	1170	<i>Beam-trawl, imágenes submarinas</i>	Rueda <i>et al.</i> (2016), Urra <i>et al.</i> (2021), Lozano <i>et al.</i> (2020a,b), González-García <i>et al.</i> (2020b)
Roca batial con corales negros (<i>Leiopathes glaberrima</i> y <i>Antipathes dichotoma</i>)		04010115	1170	<i>Imágenes submarinas</i>	Rueda <i>et al.</i> (2016)

HÁBITATS DETECTADOS	BENTÓNICOS	CÓDIGO LPRE	CÓDIGO DIRECTIVA HÁBITAT	MÉTODO PARA LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN	USADO SU Y	REFERENCIAS
Agregaciones de gorgonias sobre fondos rocosos profundos (LPRE Fondos rocosos profundos con agregaciones de gorgonias)		04010101	1170	<i>Beam-trawl, imágenes submarinas</i>		Rueda <i>et al.</i> (2016), Lozano <i>et al.</i> (2020a,b), Urra <i>et al.</i> (2021), González-García <i>et al.</i> (2020b)
Roca batial colmatada de sedimentos con dominancia de esponjas		04010208	1170	<i>Beam-trawl, imágenes submarinas</i>		Rueda <i>et al.</i> (2016), Lozano <i>et al.</i> (2020a,b), Urra <i>et al.</i> (2021), González-García <i>et al.</i> (2020b)
Sustrato duro batial con gorgonias y esponjas		Combinación de los 2 anteriores	1170	<i>Beam-trawl, imágenes submarinas</i>		Rueda <i>et al.</i> (2016), Lozano <i>et al.</i> (2020a,b), Urra <i>et al.</i> (2021), González-García <i>et al.</i> (2020b)
Roca batial dominada por ascidias		Sin código	1170	<i>Imágenes submarinas</i>		Urra <i>et al.</i> (2021)
Roca batial colmatada de sedimentos con dominancia de hidrozoos		Sin código	1170	<i>Imágenes submarinas</i>		Rueda <i>et al.</i> (2022b)
Fangos batiales compactos con <i>Isidella elongata</i>		04020206	1170	<i>Beam-trawl, imágenes submarinas</i>		Rueda <i>et al.</i> (2016)
Fangos y arenas fangosas batiales con <i>Radicipes</i> (LPRE Fangos batiales con <i>Radicipes</i>)		0402020402	1170	<i>Beam-trawl, imágenes submarinas</i>		Rueda <i>et al.</i> (2016)
Fangos batiales con <i>Pheronema carpenteri</i>		0402020403	1170	<i>Beam-trawl, imágenes submarinas</i>		Rueda <i>et al.</i> (2016)
Fangos y arenas fangosas batiales con pennatuláceos (LPRE Fangos batiales con pennatuláceos)		04020202	1170	<i>Beam-trawl, imágenes submarinas</i>		Rueda <i>et al.</i> (2016, 2021), Lozano <i>et al.</i> (2020a), González-García <i>et al.</i> (2020b)
Fondos detríticos batiales con campos de <i>Leptometra phalangium</i>		0402031106	1110	<i>Beam-trawl, Imágenes submarinas</i>		Rueda <i>et al.</i> (2016), Lozano <i>et al.</i> (2020a,b)
Arenas batiales detríticas con <i>Gryphus vitreus</i>		04020301	1110	<i>Beam-trawl</i>		Rueda <i>et al.</i> (2022b)
Sedimentos mixtos batiales con <i>Flabellum chunii</i>		Sin código	1110	<i>Imágenes submarinas</i>		Rueda <i>et al.</i> (2016), Lozano <i>et al.</i> (2020a), Urra <i>et al.</i> (2021), González-García <i>et al.</i> (2020b)
Fondos mixtos batiales dominados por <i>Anthomastus</i>		Sin código	1110	<i>Imágenes submarinas</i>		Rueda <i>et al.</i> (2022b)
Fangos y arenas fangosas batiales con <i>Thenia muricata</i> (LPRE Fangos batiales con <i>Thenia muricata</i>)		0402020401	--	<i>Beam-trawl, imágenes submarinas</i>		Rueda <i>et al.</i> (2016), González-García <i>et al.</i> (2020b)
Fangos batiales con <i>Flabellum</i>		04020203	--	<i>Beam-trawl</i>		Rueda <i>et al.</i> (2016), Lozano <i>et al.</i> (2020a), Urra <i>et al.</i> (2021), González-García <i>et al.</i> (2020b)
Arenas y arenas fangosas dominadas por Hormathiidae (<i>Actinauge richardi</i>)		04020401	--	<i>Beam-trawl, Imágenes submarinas</i>		Rueda <i>et al.</i> (2016), Lozano <i>et al.</i> (2020a), Urra <i>et al.</i> (2021)

HÁBITATS DETECTADOS	BENTÓNICOS	CÓDIGO LPRE	CÓDIGO DIRECTIVA HÁBITAT	MÉTODO PARA LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN	USADO SU REFERENCIAS
Fangos batiales con dominancia de ceriantarios		04020207	--	<i>Imágenes submarinas</i>	Rueda et al. (2022b)
Fangos y arenas fangosas batiales dominadas por fauna excavadora (LPRE Fangos batiales con fauna excavadora)		04020210	--	<i>Beam-trawl, imágenes submarinas</i>	Rueda <i>et al.</i> (2016), Lozano <i>et al.</i> (2020a), Urra <i>et al.</i> (2021), González-García <i>et al.</i> (2020b)

Actualmente se conoce que en el LIC, el Hábitat 1180 se ha detectado en un amplio rango de profundidad, entre 363 y 1123 m, y ocupa una superficie de 23.661,8 ha, lo cual representa el 7,54% del LIC (Rueda et al., 2022b). En relación al Hábitat 1170, el rango batimétrico de los hábitats biogénicos de sustratos rocosos relacionados con este hábitat va desde los 314 a 1052 m, con una superficie de ocupación de 12.681,73 ha (4% de la superficie del LIC) (Rueda et al., 2022b). Por otro lado, el rango batimétrico de los hábitats biogénicos de sustratos sedimentarios relacionados con el Hábitat 1170 va desde 364 a 1203 m, con una superficie de ocupación de 42.016,13 ha (13,22%) (Rueda et al., 2022b). La superficie del Hábitat 1170 no se ha podido obtener en su totalidad en el *Campo Profundo*, debido a que muchas de estas zonas profundas no pudieron ser exploradas y por tanto se desconoce el componente biológico estructurante de los hábitats. En relación al Hábitat 1110, se han incorporado una serie de hábitats de fondos detríticos, los cuales se trataron en el Comité Científico del proyecto INTEMARES en España, y se propusieron para incluir en la definición del Hábitat 1110 de la DH. El Hábitat 1110 se ha detectado en un rango batimétrico entre 378 y 1052 m, ocupando una superficie algo menor a la de los hábitats anteriores, concretamente de 7.811,62 ha (2,46% de la superficie del LIC) (Rueda et al., 2022b).

Los hábitats biogénicos generalmente albergan mayores niveles de riqueza y biodiversidad, tanto taxonómica como funcional, siendo particularmente notable en algunos hábitats sobre fondos blandos o mixtos, en los que las especies estructurantes generan un efecto multiplicador aportando nuevo sustrato (Rueda et al., 2022b). Los hábitats no biogénicos son ambientes resistentes a los impactos y cambios ambientales y, por lo tanto, presentan menores niveles de sensibilidad y mayor resiliencia, y permite la posibilidad de realizar algunas actividades antropogénicas en zonas con dichos hábitats, los cuales ocupan una gran superficie en el LIC (Rueda et al., 2022b). Los hábitats biogénicos (con especies estructurantes), los niveles altos de riqueza de especies y los hábitats sensibles se localizan principalmente en zonas con sustratos duros del LIC, tanto en volcanes de fango y como en complejos diapiro - volcán de fango, así como en las dorsales diapíricas con abundantes carbonatos autigénicos colonizados por diferentes especies suspensívoras, así como en zonas aplaceradas y algunos canales del *Campo Somero* y, sobretodo, del *Campo Profundo*

donde abundan las agregaciones de especies altamente sensibles a la pesca de arrastre (ej. pennatuláceos, *Isidella elongata*, *Radicipes fragilis* (= *Radicipes gracilis*), *Pheronema carpenteri*, etc.) (Rueda et al., 2022b).

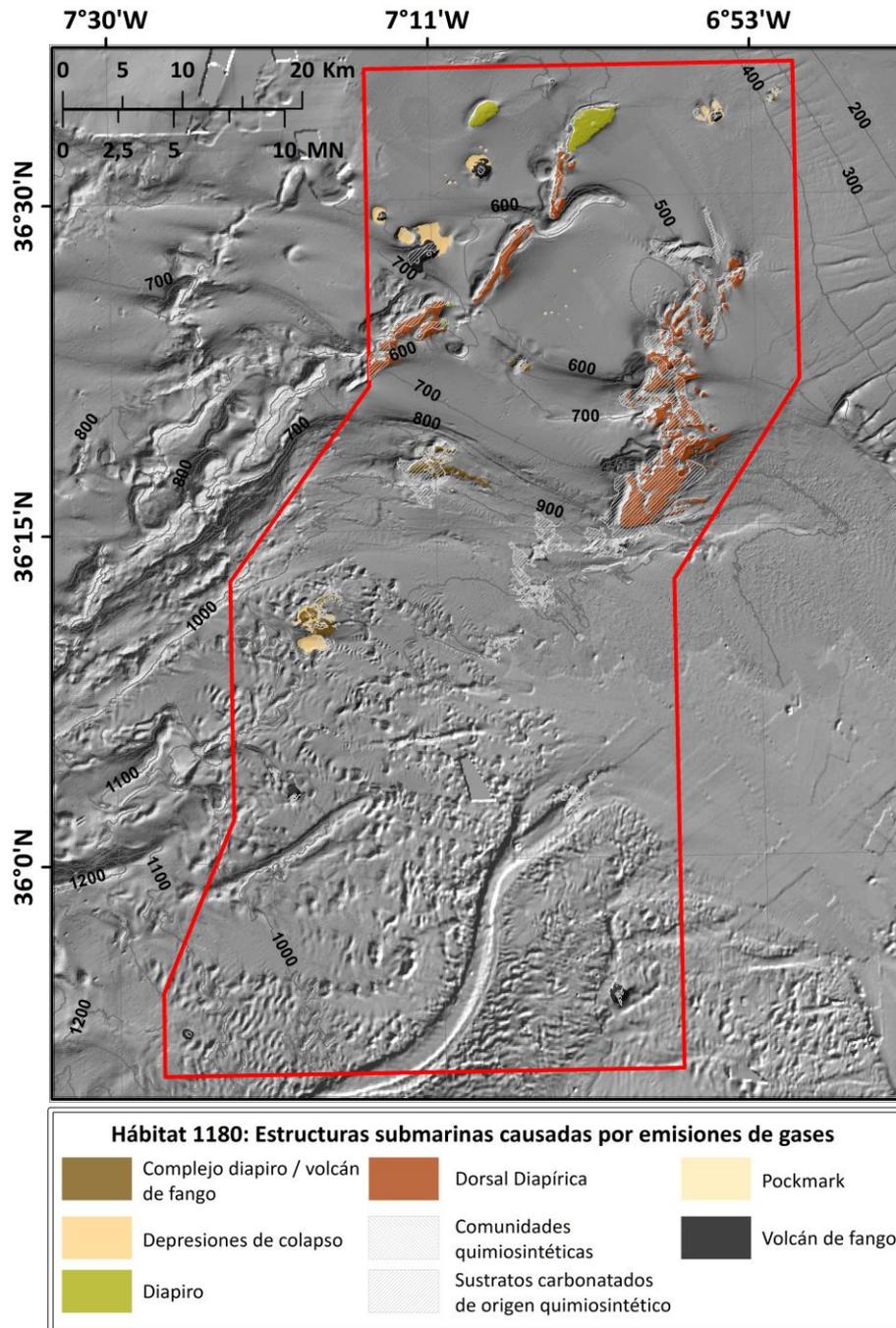


Figura 3. Distribución de los hábitats vinculados al Hábitat 1180 "Estructuras submarinas causadas por emisiones de gases" de la Directiva Hábitat en el LIC "Volcanes de fango del golfo de Cádiz". En ANEXO de Rueda et al. (2022b) se adjuntan mapas a mayor resolución del Campo Somero y Campo Profundo de Expulsión de Fluidos del LIC.

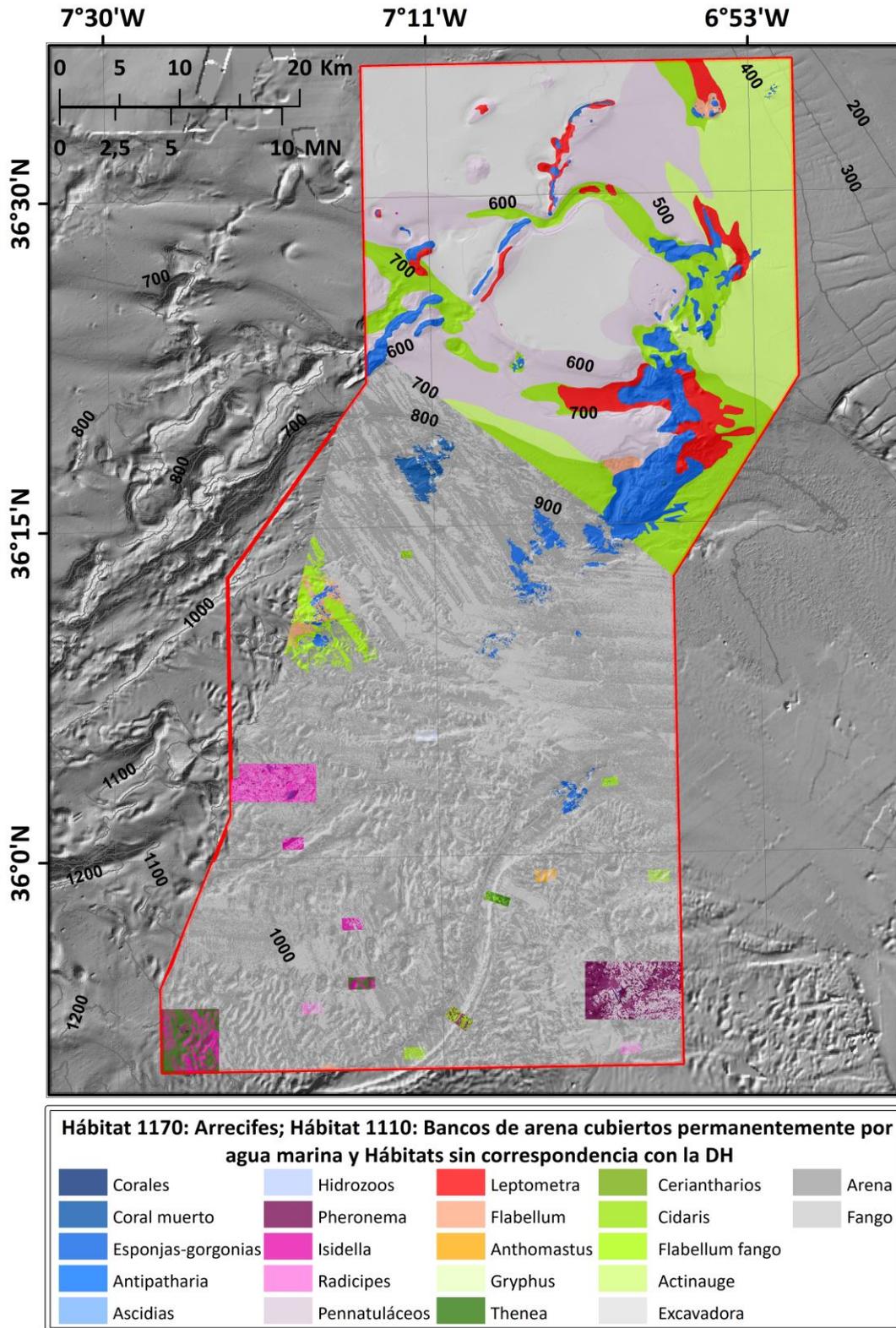


Figura 4. Distribución de los hábitats 1170, 1110 y los que no tienen correspondencia con directivas ni convenios en el LIC "Volcanes de fango del golfo de Cádiz". En ANEXO de Rueda et al. (2022 b) se adjuntan mapas a mayor resolución del *Campo Somero* y *Campo Profundo de Expulsión de Fluidos* del LIC.

El LIC “*Volcanes de fango del golfo de Cádiz*” representa hasta la fecha el lugar de mayor importancia y relevancia para el Hábitat 1180 en aguas españolas, con una amplia variedad de estructuras submarinas causadas por la expulsión de fluidos, y en las cuales se desarrollan comunidades y especies exclusivas de este tipo de ambientes. Las únicas poblaciones de estas especies quimiosintéticas (bacterias) y quimiosimbióticas (invertebrados) en aguas española radican en este LIC, por lo que las medidas de gestión y conservación de dichas comunidades deben de ser bien establecidas y consensuadas con diferentes sectores para así poder preservar un patrimonio natural que es altamente singular para la gran diversidad de hábitats y especies presentes en aguas españolas.

2.1.3. Actividades pesqueras

Tal y como se ha comentado, el golfo de Cádiz (GdC) representa una zona de gran complejidad hidrológica, geológica y biológica debido a su ubicación entre dos continentes (Europa y África) y dos cuencas (océano Atlántico y mar Mediterráneo) (Pinheiro et al., 2003; León et al., 2007; Medialdea et al., 2009; Rueda et al., 2016, 2022b; Cunha et al., 2013; Delgado et al., 2013; Díaz-del-Río et al., 2014a,b; Sánchez-Leal et al., 2017). Desde el punto de vista socioeconómico, esta zona presenta una alta diversidad de especies comerciales que son explotadas por diferentes tipos de pesquerías (Sobrino et al., 1994; Silva et al., 2002; Jiménez et al., 2004; Vila et al., 2010; Pita et al., 2015; Bueno-Pardo et al., 2017). El GdC nororiental soporta una gran actividad pesquera que incluye un total de 761 buques pesqueros (aproximadamente el 56% de la flota pesquera andaluza), así como importantes puertos pesqueros como Huelva, Isla Cristina, Ayamonte y Sanlúcar de Barrameda, entre otros, que proporcionan un gran número de puestos de empleo (Junta Andalucía 2020). En esta zona, la flota de arrastre de fondo es una de las más importantes con 125 buques arrastreros (aproximadamente el 16% de la flota pesquera del noreste de la GdC y el 9% del total de la flota pesquera andaluza) (Junta de Andalucía, 2020). Lamentablemente, la pesca de arrastre de fondo provoca perturbaciones en el fondo marino y, por tanto, en los diferentes hábitats, entre los que se encuentran algunos vulnerables y/o amenazados de la Directiva Hábitats 92/43/CEE (ej., los hábitats 1170 y 1180 de la Directiva Hábitats) y de Convenios Internacionales (ej., *sea-pen and burrowing megafauna communities, carbonate mounds, coral gardens, etc.*, OSPAR) (Díaz del Río et al., 2014; González et al., 2020b). Algunos de estos hábitats se han localizado en diferentes sectores dentro del Campo Somero del LIC.

La pesquería de arrastre de fondo del noreste del GdC presenta un carácter multiespecífico (Sobrino et al., 1994; Jiménez et al., 2004) habiéndose estudiado la biología de algunas especies comerciales (Jiménez et al., 1998; Silva et al., 2002; Baldó et al., 2006; Vila et al., 2010, 2013). La mayor parte de la flota que faena en la zona se

concentra principalmente en los caladeros más someros, fuera del LIC (González-García et al., 2020a). Sin embargo, dentro del LIC existe presión pesquera, principalmente localizada en el *Campo Somero* (Díaz del Río et al., 2014 a,b; González-García et al., 2020 b, 2022). El estudio de los datos del Sistema de Seguimientos de Buques (*Vessel Monitoring System* (SSB-VMS) del proyecto LIFE+ INDEMARES (durante un periodo del 2006/2012), indicó que había autorizadas 142 embarcaciones (datos correspondientes al año 2012 compilados en enero de 2013 por SGP) con licencia para la pesca de arrastre de fondo, de las cuales 99 concentran su actividad en el talud superior. La mayor parte de la flota tiene su puerto base en la provincia de Huelva (Ayamonte, Isla Cristina, Punta Umbría y Huelva). La distancia media entre los puertos y el *Campo Somero* donde faenan, es mayor a 50 km. Las principales especies explotadas son: cigala (*Nephrops norvegicus*), gamba blanca (*Parapenaeus longirostris*), merluza (*Merluccius merluccius*), bacaladilla (*Micromesistius poutassou*), rape (*Lophius budegassa*, *L. piscatorius*) y otros osteíctios, condríctios y cefalópodos en menor proporción (Ramos et al., 1996; Díaz del Río et al., 2014; González-García et al., 2020a). Un estudio de mayor detalle centrado en el área del *Campo Somero* permitió contabilizar un total de 46 buques arrastreros que frecuentaban la zona. La pesca de arrastre de fondo parece causar un cierto impacto sobre especies sensibles formadoras de hábitats (ej., pennatuláceos), aunque debe ser evaluado con más detalle (González-García et al., 2020b; Lozano et al., 2022 en preparación). Un estudio detallado de la evolución espacio-temporal de la actividad de arrastre de fondo, de las capturas y de los ingresos totales (IT) asociados en el LIC serviría para mejorar las medidas de gestión para la conservación de algunos hábitats vulnerables y/o amenazados con las menores repercusiones socioeconómicas para los pescadores.

Otro tipo de actividad pesquera detectada en la zona es la pesca con el palangre de fondo, pero con una presencia y frecuencia mucho menor que para el arrastre de fondo. El análisis espacial y temporal de esta modalidad de pesquería se muestra en el presente informe.

2.1.4. Otras presiones presentes en la zona de estudio

Otro indicio de la actividad antrópica en el LIC está ligado con el tráfico marítimo (especialmente en el *Campo Profundo*) y el tendido de cables submarinos derivado de la ingeniería de conducciones/canalizaciones submarinas, o subterráneas, la cual puede representar una amenaza para los hábitats 1170 y 1180 ya que alteran la naturaleza de las estructuras formadas por la expulsión de fluidos y la de las comunidades que sostienen (Fig. 5) (Mas información en Rueda et al., 2022b).

Una amenaza reciente y que ya no solo afecta a los hábitats infralitorales, sino también a los hábitats circalitorales y batiales es la presencia del alga invasora

Rugulopteryx okamurae. Esta especie fue detectada por primera vez en el estrecho de Gibraltar en 2015 y desde entonces no ha parado de extenderse por todo el golfo de Cádiz y mar de Alborán (García-Gómez et al. 2020). La alta productividad de esta especie hace que toneladas de talos sean desprendidos y arrastrados por mareas y corrientes hacia las profundidades del golfo de Cádiz, generando grandes depósitos sobre el lecho marino y quedándose estos talos enredados en animales sésiles tales como gorgonias, esponjas o ceriantarios y móviles como erizos (Mateo-Ramírez et al. en revisión). Los efectos de esta nueva amenaza sobre estas especies y hábitats están aún por valorarse, pero teniendo en cuenta el daño que provocan en los hábitats infralitorales, las expectativas no son nada halagüeñas (García-Gómez et al. 2020; Sempere-Valverde et al. 2020).

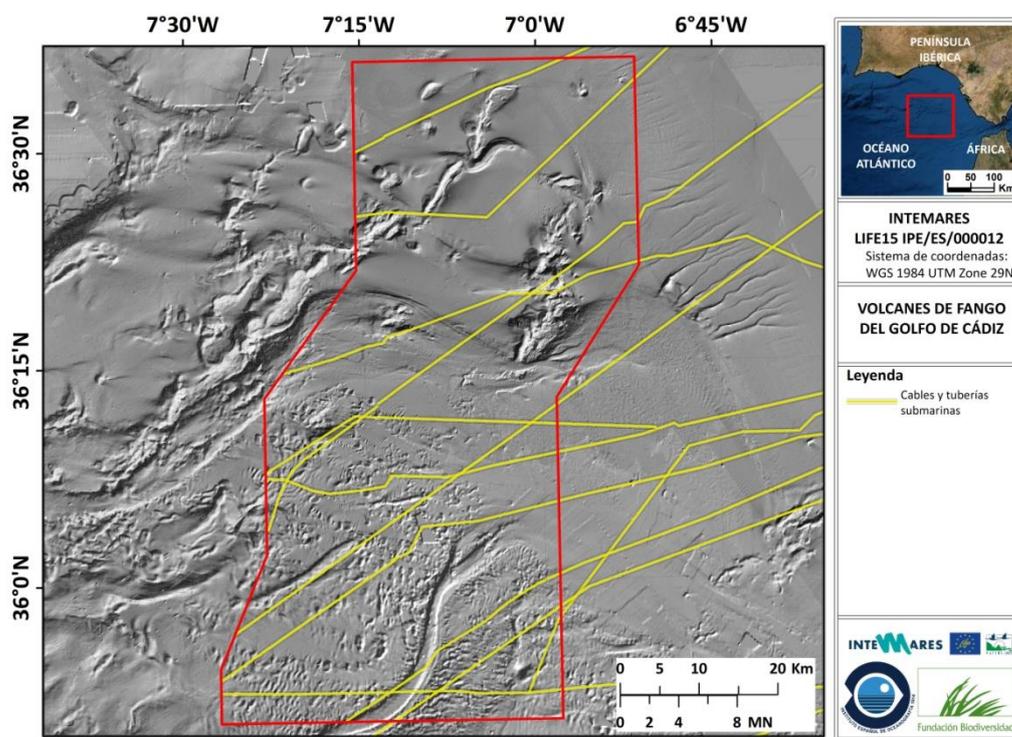


Figura 5. Cables y tuberías submarinas en el LIC "Volcanes de fango del golfo de Cádiz" y en las zonas adyacentes (líneas amarillas).

2.2. Objetivos

El presente informe tiene como objetivo principal realizar un primer diagnóstico detallado de la actividad e impacto potencial de la pesca industrial con artes de arrastre de fondo con puertas sobre los hábitats bentónicos presentes en el LIC "Volcanes de fango del golfo de Cádiz". En algunos casos contiene metodología específica pero en otros casos se ha basado en la metodología que se ha llevado a cabo en informes similares de otros LICs. Así por tanto los principales objetivos han sido:

- 1 - Caracterización de la actividad pesquera, fundamentalmente de la pesca de arrastre de fondo, en el *Campo Somero* del LIC y zonas limítrofes a lo largo de series temporales.
- 2 - Estimación de las capturas y valor económico (ingresos totales brutos) asociado a la pesca de arrastre de fondo en relación al *Campo Somero* del LIC y a sus zonas adyacentes, así como de sectores específicos que contienen hábitats vulnerables o de puertos pesqueros que operan en el LIC.
- 3 - Estimación de la actividad de arrastre en el *Campo Somero* del LIC combinando diferentes metodologías, y análisis de la influencia de variables ambientales en dicha actividad de arrastre.
- 4 - Estimación del grado de solapamiento de la actividad de arrastre de fondo con los diferentes hábitats del *Campo Somero* del LIC.
- 5 - Influencia de las variables ambientales y la actividad de arrastre de fondo en la distribución de los principales hábitats presentes en caladeros de pesca del *Campo Somero* del LIC.
- 6 - Estimación de la sensibilidad y/o el grado de impacto que tienen los principales hábitats y especies constructoras de hábitats de los caladeros del *Campo Somero* al arrastre de fondo.
- 7 - Evaluación de perturbaciones y riesgos en función de la sensibilidad de los hábitats y el grado de actividad de arrastre de fondo.

3. Material y métodos

3.1. Hábitats y especies objeto de estudio

En un informe anterior, Rueda et al. (2022b) detectaron la presencia de una amplia diversidad de hábitats en el LIC “*Volcanes de fango del golfo de Cádiz*”, principalmente ligados a los hábitats 1180 y 1170 de la Directiva Hábitat (DH), tal y como se ha comentado anteriormente. El estudio de los efectos de la pesca de arrastre de fondo dentro del LIC se ha centrado tan solo en determinados hábitats del *Campo Somero*. Esta parte del LIC es donde se solapan hábitats de interés para la conservación junto con parte de los caladeros de gamba blanca y cigala así como las capturas de otras especies de interés comercial en menor proporción (ej. merluza, rape, etc.) y es, por tanto, donde se concentra parte de la flota de arrastre del golfo de Cádiz (González-García et al. 2020a, 2022). Estas especies suelen presentar sus poblaciones en fondos blandos (arenoso y fangoso) por lo que los hábitats de estos tipos de fondo son los que estarán sometidos a una mayor presión por parte de la actividad de arrastre de fondo y son los prioritarios para este informe.

En conclusión, los hábitats que han tenido una mayor importancia en este estudio son 9 hábitats asociados a los fondos sedimentarios, de los cuales 5 están incluidos dentro de la DH (Tabla 2).

Entre los hábitats incluidos dentro del **hábitat 1180** se encuentra sólo:

1) Estructuras producidas por emisiones de gases con comunidades quimiosintéticas. Es uno de los hábitats más restrictivos y singulares y se ha detectado principalmente en las cimas de algunos volcanes de fango (VF) y complejos diapiro-volcán de fango (DVF). Este hábitat abarca una superficie estimada de 108 ha en el LIC y está generalmente estructurado por tapetes bacterianos filamentosos, que alcanzan hasta los 40 cm de diámetro, mostrando una cobertura a parches (en muchos casos 20%) y, en muchas ocasiones, entremezclándose con especies típicas de fondos blandos batiales como pennatuláceos (Palomino et al. 2016, en revisión; Rueda et al., 2012b, 2016, 2022; Lozano et al. 2020 a,b) (Fig. 6). Las comunidades con especies quimiosimbióticas están bien representadas, pudiendo alcanzar hasta los 96000 ind. m⁻² en el caso de los poliquetos frenulados del género *Siboglinum*, hasta los 132 ind. m⁻² para el raro camarón fantasma *Calliax lobata* y 66,7 ind. m⁻² para diferentes bivalvos quimiosimbióticos (*Solemya elarraichensis*, *Lucinoma asapheus*) (Rueda et al. 2012b; Palomino et al. 2016; García Raso et al. 2019) (Fig. 6). Otras especies de bivalvos con quimiosimbiontes y que son típicos de estos hábitats son *Acharax gadirae* (especie similar a *S. elarraichensis* pero localizado a mayor

profundidad) y *Thyasira vulcolutre* (sólo encontrada en el VF St. Petersburg). Los VF donde se ha detectado la mayor complejidad y densidad de especies quimiosimbióticas son Anastasya, St. Petersburg y Aveiro.

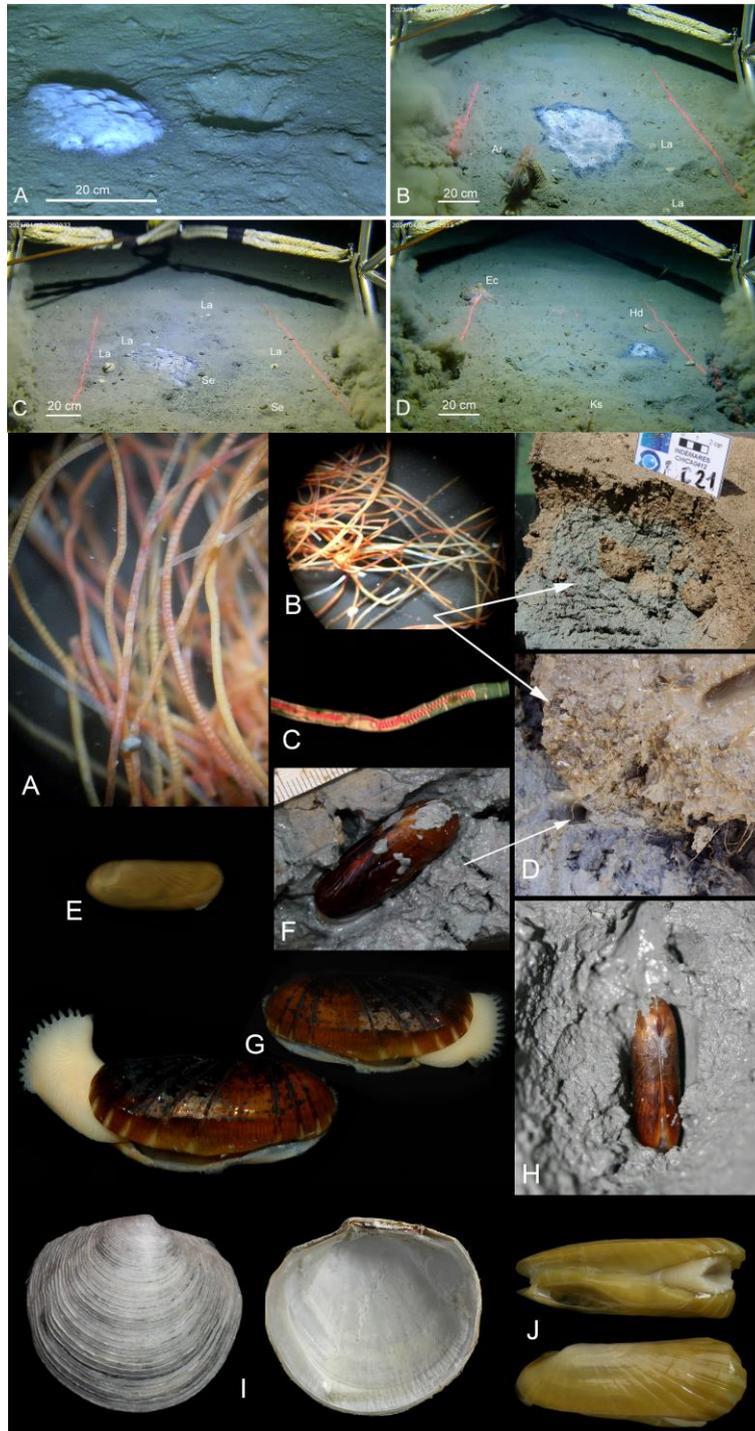


Figura 6. Imágenes submarinas del hábitat *Estructuras producidas por escape de gases con comunidades quimiosintéticas* (LPRE 04020103), en las que generalmente se detectan tapetes bacterianos de diferentes tamaños y algunas especies estructurantes del hábitat (Más información en Rueda et al. 2022b).

Entre los hábitats incluidos dentro del hábitat 1170 cabe destacar:

2) **Fangos y arenas fangosas batiales con pennatuláceos**, representa uno de los hábitats que ocupa una mayor extensión en el LIC (35791,4 ha), a profundidades entre 364 y 1094 m. En el *Campo Somero*, se encuentran principalmente en fondos aplacerados y, específicamente, en algunos diapiros (ej. Cristóbal Colón), en zonas concretas de los VF Anastasya y Tarsis, así como en fondos adyacentes del VF Pipoca y el DVF Chica (Fig. 7). Este hábitat está principalmente conformado por los pennatuláceos *Kophobelemnion stelliferum* (10-20 colonias m⁻²), *Funiculina quadrangularis* y *Pennatula aculeata* (ca. 10 ind. m⁻²), intercalados con pequeñas esponjas (*Thenea muricata*), solenogastos (*Dorymenia sarsii*), equinodermos (*Hymenodiscus coronata*, *L. phalangium*) y el frágil y protegido coral bambú *Isidella elongata*, en zonas prístinas. En el LIC se han detectado diferentes facies con zonas donde domina *K. stelliferum* frente a *F. quadrangularis*, así como zonas con diferentes densidades y tallas de estas especies posiblemente ligadas a algunas variables ambientales y el efecto de la pesca de arrastre sobre el fondo marino.

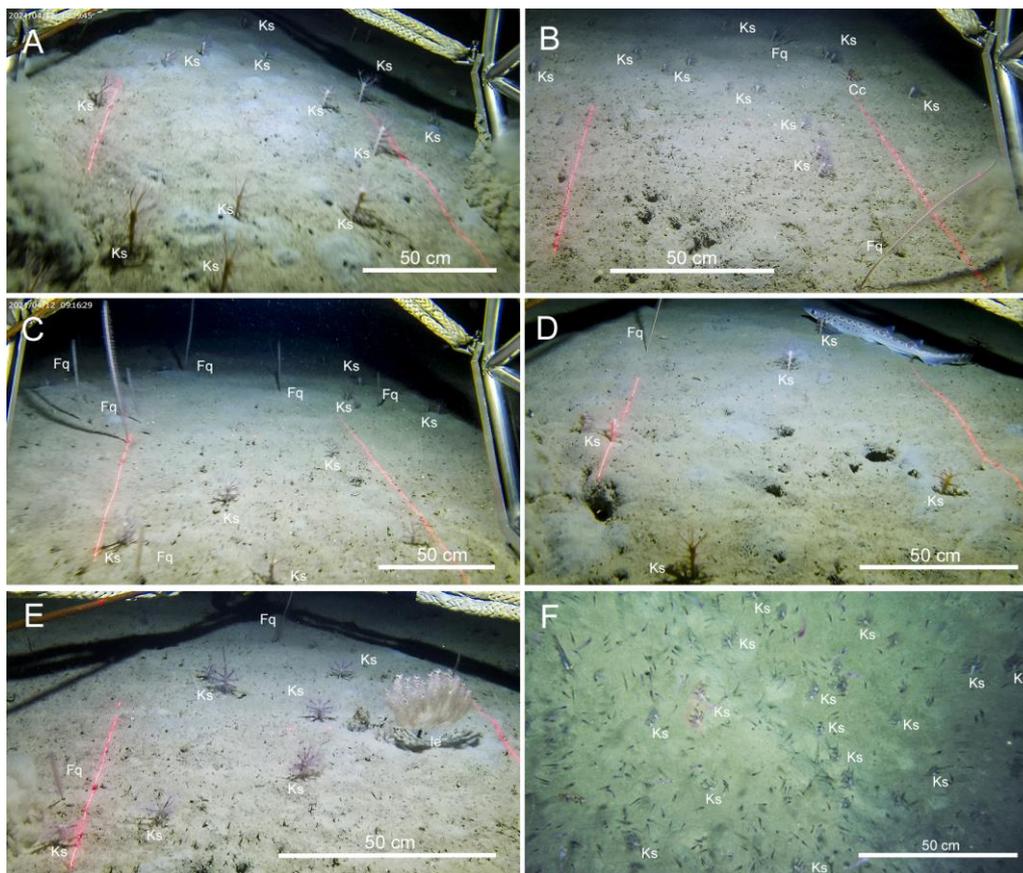


Figura 7. Imágenes submarinas del hábitat *Fangos y arenas fangosas batiales con pennatuláceos* (LPRE Fangos batiales con pennatuláceos, 04020202), principalmente conformado por los pennatuláceos *Kophobelemnion stelliferum* (Ks), *Funiculina quadrangularis* (Fq) y *Pennatula aculeata*, intercalados con el frágil coral bambú *Isidella elongata* (Figura E) o el equinodermo *Cidaridiscus cidaris* (Cc) (Más información en Rueda et al., 2022b)

3) **Fangos batiales compactos con *Isidella elongata***. Esta especie de octocoral está incluida dentro de la lista roja de especies amenazadas de la UICN, así como en convenios de conservación nacionales e internacionales. Esta especie se encuentra dentro del LIC a profundidades entre 586 y 1203 m, ocupando una superficie de 2302,8 ha y en zonas con muy poca o nula actividad de arrastre de fondo. Debido a ello, su presencia en el *Campo Somero* se restringe a zonas muy puntuales y cercanas al Canal de Huelva (cerca del VF Tarsis, al SE de Pipoca y al SE del sector central de la Dorsal Diapírica del Guadalquivir) (Figura 8). Este hábitat aparece entremezclado en el *Campo Somero* con el hábitat dominado por pennatuláceos, presentando una densidad de colonias más baja que en el *Campo Profundo* y numerosos restos de antiguas colonias. En el *Campo Profundo*, este hábitat se ha detectado de forma extensiva con densidades de 7-8 colonias . m⁻².

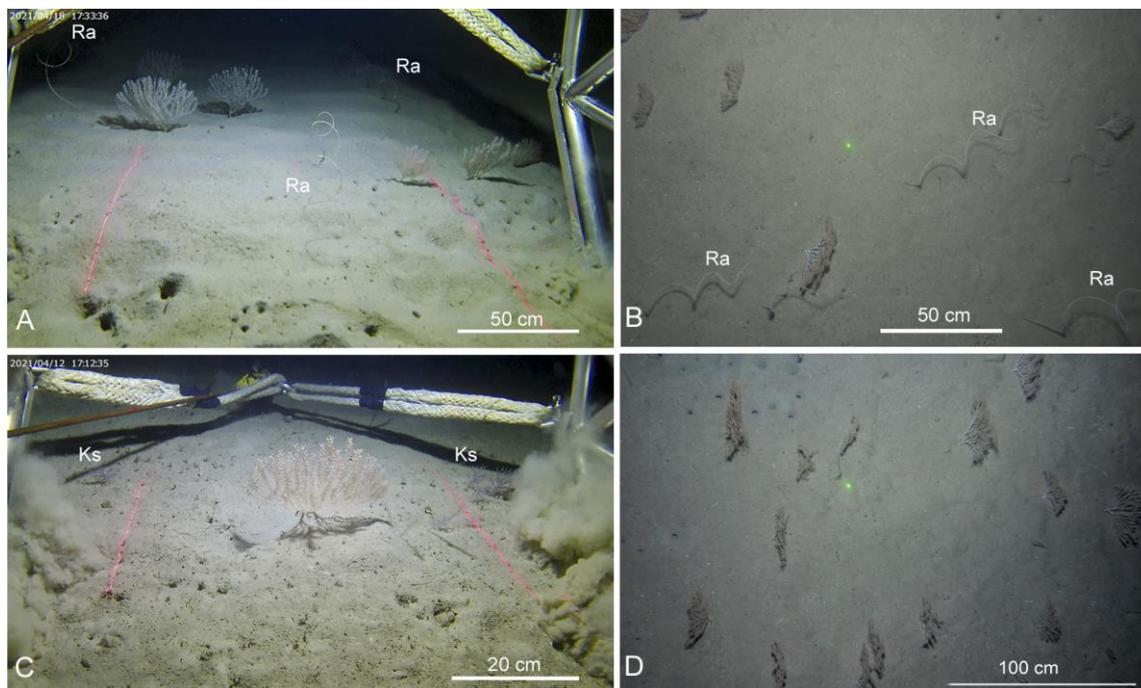


Figura 8. Imágenes submarinas de los hábitats *Fangos batiales compactos con Isidella elongata* (LPRE 04020206) y *Fangos y arenas fangosas batiales con Radicipes* (LPRE Fangos batiales con *Radicipes*, 0402020402), generalmente dominado o codominado por *Isidella elongata* y *Radicipes fragilis* (Ra), y a veces acompañado por el pennatuláceo *Kophobelemnon stelliferum* (Ks). (Más información en Rueda et al., 2022b)

Entre los hábitats incluidos dentro del **hábitat 1110** destacan:

4) **Fondos detríticos batiales con campos de *Leptometra phalangium***, presentes fundamentalmente en el *Campo Somero*, a profundidades entre 378 y 866 m,

concretamente en los VF de Gazul y Pipoca, en las dorsales diapíricas, canales y zonas planas específicas, ocupando una superficie de 6481,98 ha (Fig. 9). La especie dominante es el crinoideo *L. phalangium* (ca. 100 ind. m⁻²), aunque en muchas ocasiones se entremezcla con el coral solitario *Flabellum chunii*. Otras especies características son el anélido *Hyalinoecia tubicola*, los equinodermos *Gracilechinus acutus* y *Luidia sarsi*, o decápodos como *Ergasticus clouei* e *Inachus leptochirus*.

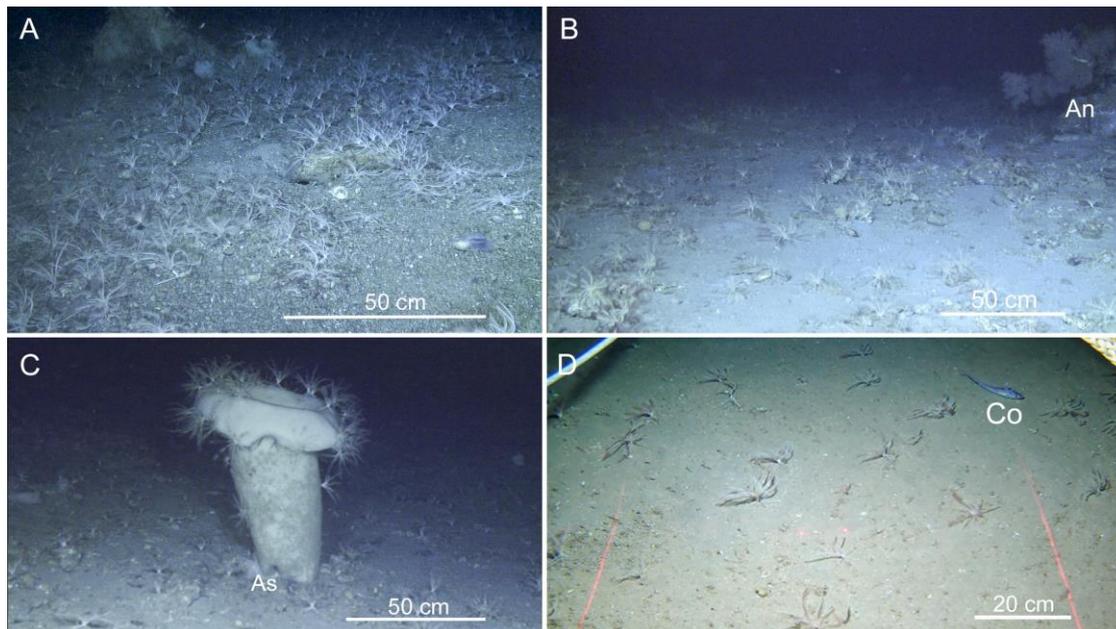


Figura 9. Imágenes submarinas del hábitat *Fondos detríticos batiales con campos de Leptometra phalangium* (LPRE 0402031106), a veces recubriendo otras especies constructoras de hábitats como la esponja *Asconema setubalense* (As) y con especies de peces comunes en los fondos sedimentarios del LIC como *Coelorinchus caelorhincus* (Co).

5) Sedimentos mixtos batiales con *Flabellum chunii* (Sin código LPRE) (Acrónimo: Flabellum), se han detectado en el LIC, a profundidades entre los 378 y 1052 m y ocupando una superficie 1213,80 ha. En el *Campo Somero* se encuentra muy restringido, concretamente en la depresión de colapso del VF Gazul, y en alguna depresión erosiva de la Dorsal Diapírica de Cádiz. En el *Campo Profundo* sólo se ha detectado en el sector del DVF Hespérides (Fig. 10). El hábitat está dominado por el coral solitario *Flabellum chunii*, y otras especies acompañantes son el poliqueto *Lumbriconereis flabellicola* (que vive en mutualismo con *F. chunii*), así como los bivalvos *Pseudamussium sulcatum*, *Asperarca nodulosa* y *Limopsis angusta*, el erizo *Cidaris cidaris* y el poliqueto *Hyalinoecia tubicola*.

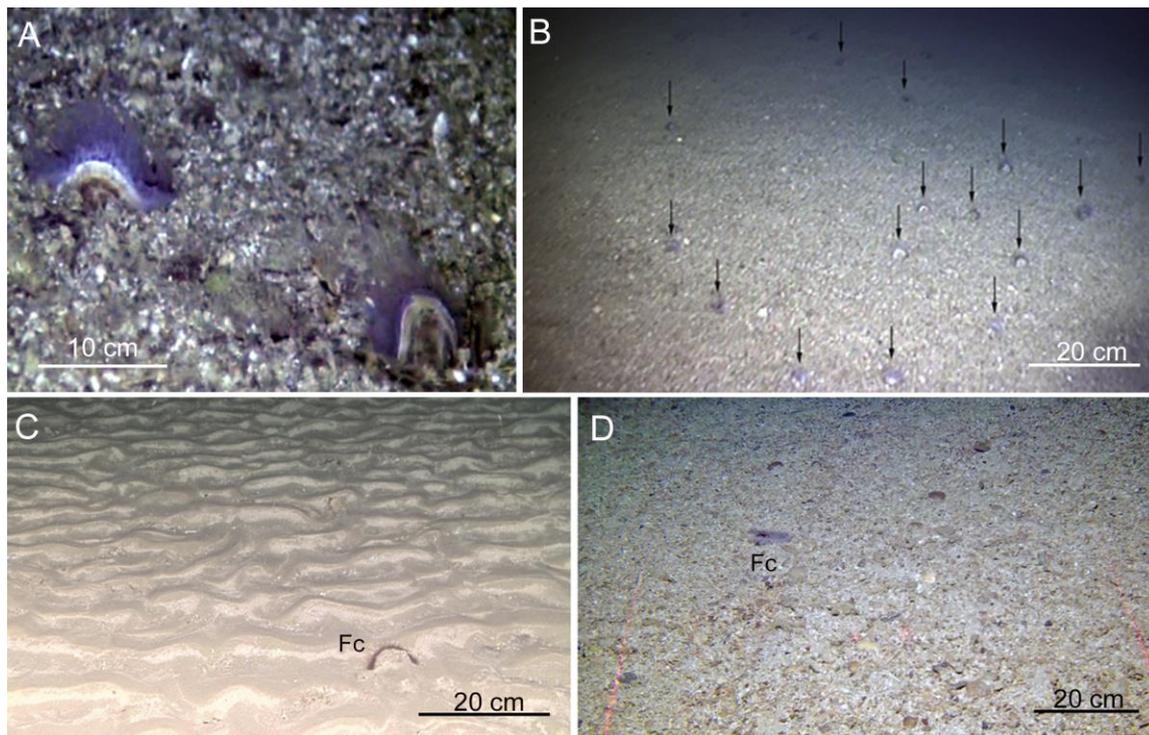


Figura 10. Imágenes submarinas del hábitat *Sedimentos mixtos batiales con Flabellum chunii* (Sin código LPRE). Fc: *Flabellum chunii*. (Más información en Rueda et al., 2022b)

Además, hay otros cinco hábitats que aunque no estando incluidos dentro de la Red Natura 2000, presentan una presión pesquera importante:

6) Fondos sedimentarios no fangosos con cidaroideos, *Cidaris Cidaris*. Se han detectado en zonas de hidrodinamismo moderado a fuerte, entre 319 y 1042 m de profundidad y ocupando una superficie de 17696,52 ha, generalmente en canales, campos de ondas, campos de ripples y fondos adyacentes a algunos VF, llegando a presentar densidades de hasta 20 ind. m⁻². En el *Campo Somero* se ha detectado en fondos adyacentes al VF Gazul, en zonas adyacentes al VF Pipoca y DVF Chica, en el Canal de Huelva y el Canal Gusano (Fig 11). Algunas especies acompañantes son el poliqueto mutualista *Phalacrostemma cidariophilum*, el cual vive sobre las espinas de *C. cidaris*, así como el crinoideo *L. phalangium* y el equinoideo *Gracilechinus acutus*, y los decápodos *Pagurus alatus* y *E. clouei*.

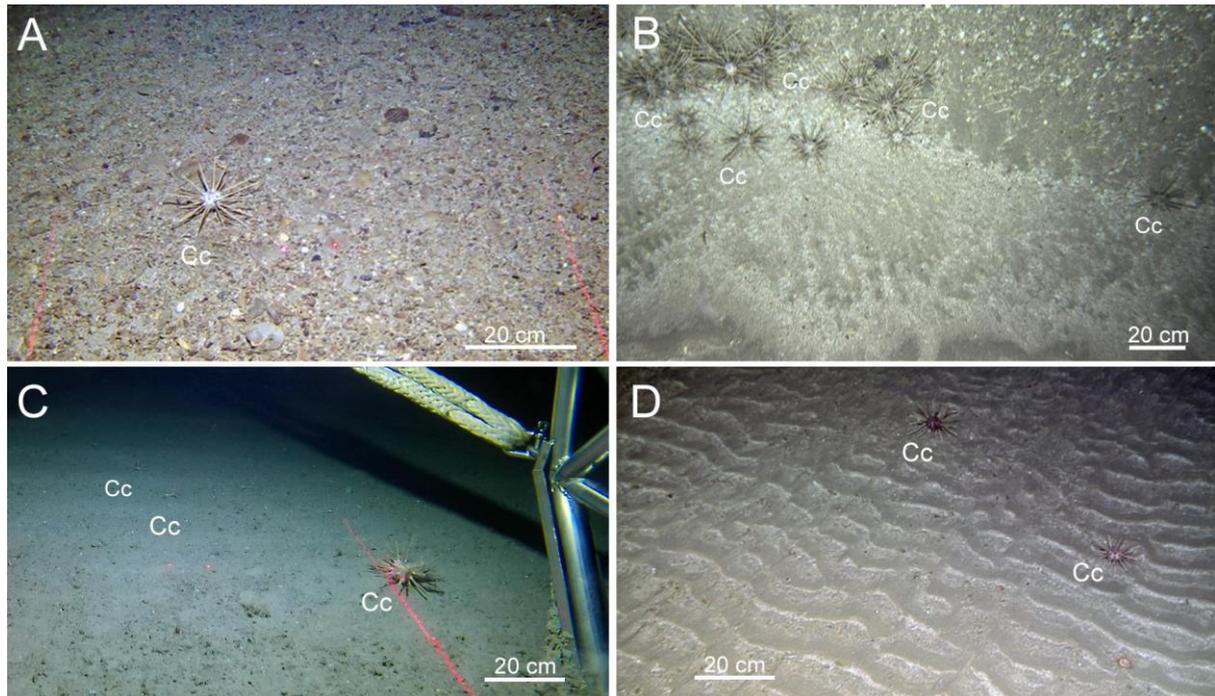


Figura 11. Imágenes submarinas del hábitat *Fondos sedimentarios no fangosos con cidaroides* *Cidaris cidaris* (LPRE 04020305), donde domina el equinoideo *Cidaris cidaris* (Cc), incluso en zonas con moderado hidrodinamismo y fondos con ripples (Fig. D). (Más información en Rueda et al., 2022b)

7) **Arena y arena fangosa batiales dominadas por hormathiidae (*Actinauge richardi*)**, presente sólo en el *Campo Somero*, a profundidades entre 258 y 769 m y ocupando una superficie de 20862,39 ha, en zonas aplaceradas con ripples bajo un hidrodinamismo moderado y también bordeando a algunos canales, concretamente en fondos adyacentes del VF Gazul, al norte y este de la Dorsal Diapírica del Guadalquivir y bordeando al canal de Huelva y Cádiz (Fig. 12). La especie dominante es el antozoo *Actinauge richardi*, con densidades de hasta 20 ind. m⁻², que se entremezcla a veces con *C. cidaris*, crinoideos (*L. phalangium*, *Antedon bifida*) y corales solitarios (*F. chunii*), pero a menores densidades. En ocasiones puede aparecer el gasterópodo *Opaliopsis atlantis* el cual se alimenta de *A. richardi*.

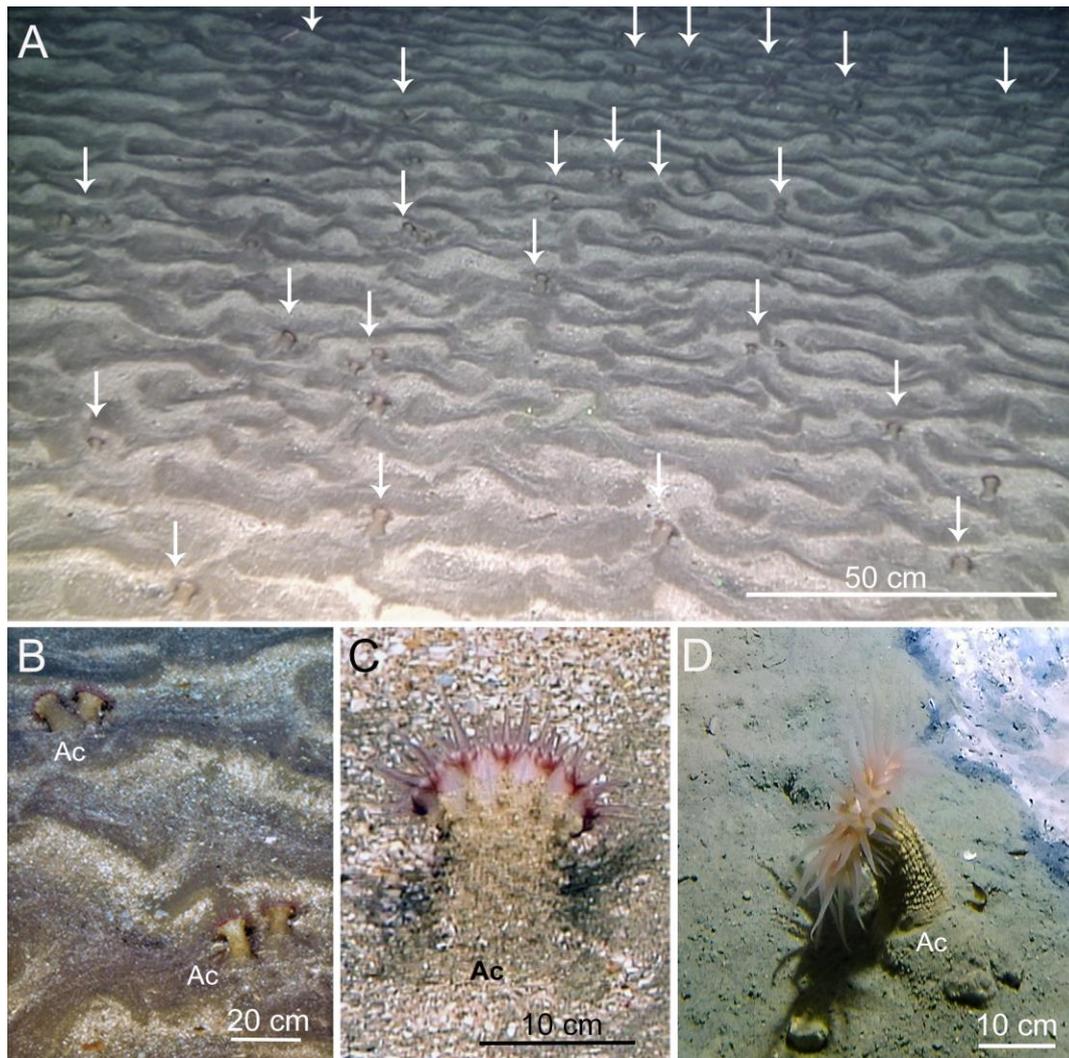


Figura 12. Imágenes submarinas del hábitat Arenas y arenas fangosas batiales dominadas por *Hormathiidae* (*Actinauge richardi*) (LPRE 04020401), donde suele dominar las anémonas del género *Actinauge* (Ac) (Figs. C y D), las cuales pueden aparecer como fauna acompañante en otros tipos de hábitats, incluyendo los ligados al Hábitat 1180 (D).

8) Fangos batiales con dominancia de ceriantarios. Las especies principales son *Cerianthus* spp., *Arachnanthus* sp., se encuentran tanto en el *Campo Somero* como en el *Campo Profundo*, ocupando una superficie de 28,46 ha.

9) Fangos y arenas fangosas batiales dominadas por fauna excavadora. Se localizan entre 474 y 1040 m de profundidad ocupando una superficie de 32690,09 ha, observándose principalmente sobre fondos aplacerados del *Campo somero*, donde faena la flota dedicada a la pesca de arrastre de fondo (Fig. 13). Sus comunidades asociadas son, generalmente, pobres en especies y complejidad, y compuestas por especies sedentarias que pueden enterrarse (ej. ceriantarios) y móviles con alta

capacidad excavadora como los decápodos *Nephrops norvegicus* (cigala), *Munida* spp., *Monodaeus couchii* y/o *Goneplax rhomboides*. También pueden aparecer de manera aislada algunos pennatuláceos de pequeño tamaño (*K. stelliferum*, *Pennatula aculeata*) y pequeñas esponjas (*T. muricata*). Estos fondos aplacerados son una de las estructuras más abundantes en el *Campo Somero*, representando un 70% de la superficie total. El tipo de sedimento es la arena fangosa y el fango. En el *Campo Profundo* también hay sectores donde se ha detectado este hábitat, sobre todo en los fondos adyacentes de los VF de Aveiro y St. Petersburg, en el canal Gil Eanes y en el canal ciego situado al norte del Canal Gil Eanes.

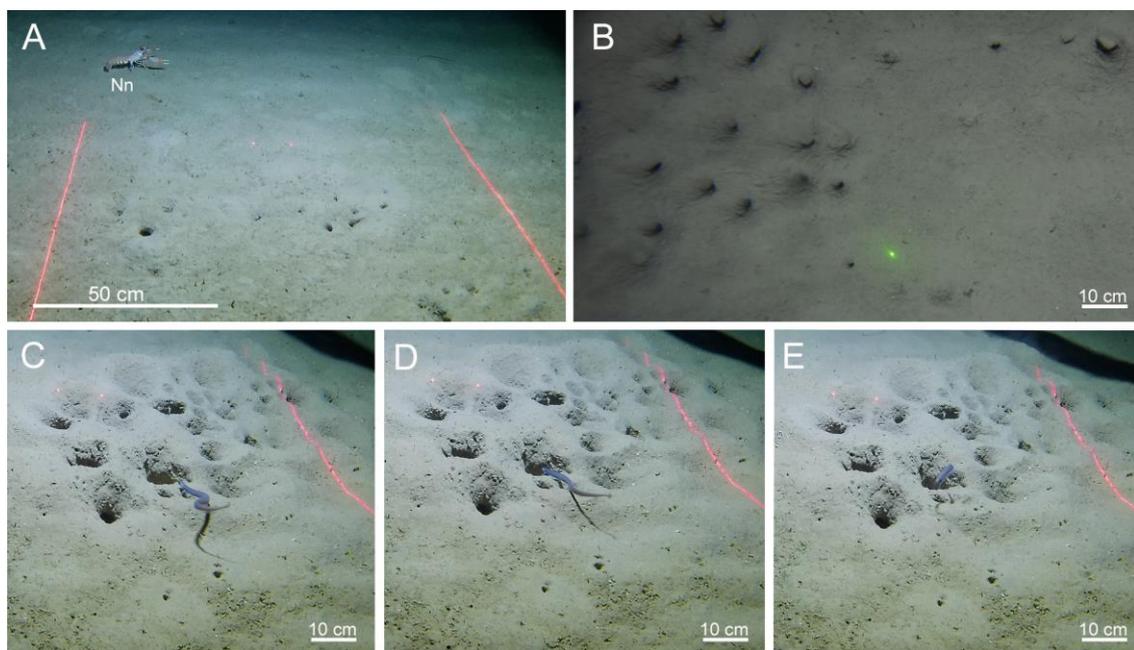


Figura 13. Imágenes submarinas del hábitat *Fangos y arenas fangosas batiales dominadas por fauna excavadora* (LPRE Fangos batiales con fauna excavadora, 04020210), que incluye diferentes tipos de decápodos, como la cigala *Nephrops norvegicus* (Nn), sobretodo en el *Campo Somero* y de peces, como el pez anguiliforme *Synaphobranchus kaupii*, en el *Campo profundo* (Figs. C-E).

Tabla 2. Correspondencia de los hábitats del LIC “*Volcanes de fango del golfo de Cádiz*” considerados en el presente estudio en relación a la pesca de arrastre de fondo y su relación con directivas y convenios nacionales e internacionales, así como con la Lista patrón de hábitats marinos presentes en España (LPRE, se muestra el hábitat más cercano o similar). NC: No correspondence, ND: No data, DD: Data Deficient, LC: Least Concern, NT: Near Threatened, EN: Endangered, CR: Critically Endangered.* Dependiendo de la especie formadora del hábitat, se encuadra dentro de diferentes categorías

Hábitat	Directiva Hábitat	OSPAR	Lista hábitats prioritarios región Mediterránea (Convenio de Barcelona)	Código LPRE	IUCN
Estructuras producidas por escape de gases con comunidades quimiosintéticas	1180	Sin Correspondencia	Similar a MG6.1, Emanaciones frías y fuentes hidrotermales, filtraciones de metano	04020103	ND
Fangos batiales compactos con <i>Isidella elongata</i>	1170	Coral gardens	ME6.515 Fangos batiales con <i>Isidella elongata</i>	04020206	CR
Fangos y arenas fangosas batiales con pennatuláceos	1170	Sea-Pen & Burrowing Megafauna Communities	ME6.513 Fangos batiales con <i>Funiculina quadrangularis</i> , <i>Kophobelemnon stelliferum</i> , <i>Pennatula</i> spp.	Similar a 04020202	LC
Fondos detríticos batiales con campos de <i>Leptometra phalangium</i>	1110	Sin Correspondencia	ME5.51 Arenas detríticas batiales superiores con <i>Leptometra phalangium</i> y/o <i>Antedon mediterranea</i>	0402031106	ND
Sedimentos mixtos batiales con <i>Flabellum chunii</i>	1110	Sin Correspondencia	MF6.51 Fangos batiales inferiores / ME5.51 Arenas detríticas batiales superiores	Sin código	ND
Fondos sedimentarios batiales no fangosos con cidarioideos (<i>Cidaris Cidaris</i>)	--	Sin Correspondencia	MF6.51 Fangos batiales inferiores / ME5.51 Arenas detríticas batiales superiores	04020305	ND
Arenas y arenas fangosas dominadas por Hormathiidae (<i>Actinauge richardi</i>)	--	Sin Correspondencia	MF6.51 Fangos batiales inferiores / ME5.51 Arenas detríticas batiales superiores	04020401	DD
Fangos batiales con dominancia de ceriantarios	--	Sin Correspondencia	MF6.51 Fangos batiales inferiores	04020207	ND
Fangos y arenas fangosas batiales dominadas por fauna excavadora	--	Sea-Pen & Burrowing Megafauna Communities	MF6.51 Fangos batiales inferiores ó ME6.5 Fangos batiales con pennatuláceos, alcionáceos y crustáceos decápodos	Similar a 04020210	ND/LC

3.2. Presión pesquera

El estudio de la presión pesquera se ha realizado en función de las artes que tienen una mayor representación y frecuencia en el LIC y, por tanto, importancia como presión que pueda producir impactos y perturbaciones en los hábitats. Díaz del Río et al. (2014 a,b) constataron que la modalidad pesquera de mayor importancia en el LIC era la de pesca de arrastre de fondo seguida, con mucha diferencia, por la pesca de palangre de fondo. Ello ha sido constatado a lo largo del proyecto LIFE IP INTEMARES en el que el procesado de nuevos datos de actividad pesquera de la modalidad de arrastre de fondo (OTB, código internacional) y del palangre de fondo (LLS, código internacional), ha mostrado que la primera representa un mayor número de buques que faenan en el LIC, así como de mareas y horas de pesca, con una distribución mucho más extensiva y frecuente y más constante que la segunda (Fig. 14). De hecho la actividad de palangre de fondo se ha detectado sólo en algunos años muy concretos y fundamentalmente en la Dorsal Diapírica de Cádiz (Fig. 15)

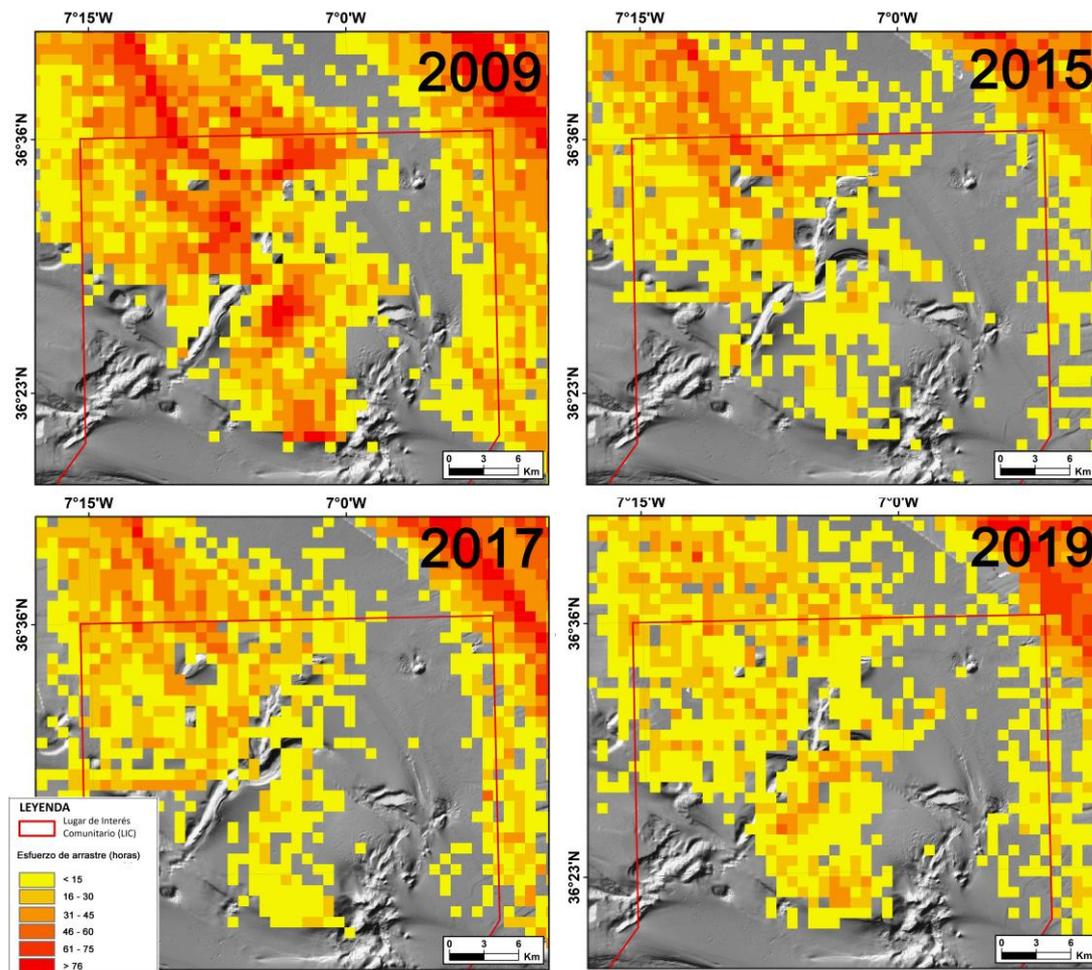


Figura 14. Distribución de la actividad de arrastre de fondo (horas anuales) en el *Campo Somero de Expulsión de Fluidos* del LIC en el que se observa la distribución extensiva, la alta ocurrencia y la similitud del patrón de distribución de esta modalidad a lo largo de varios años.

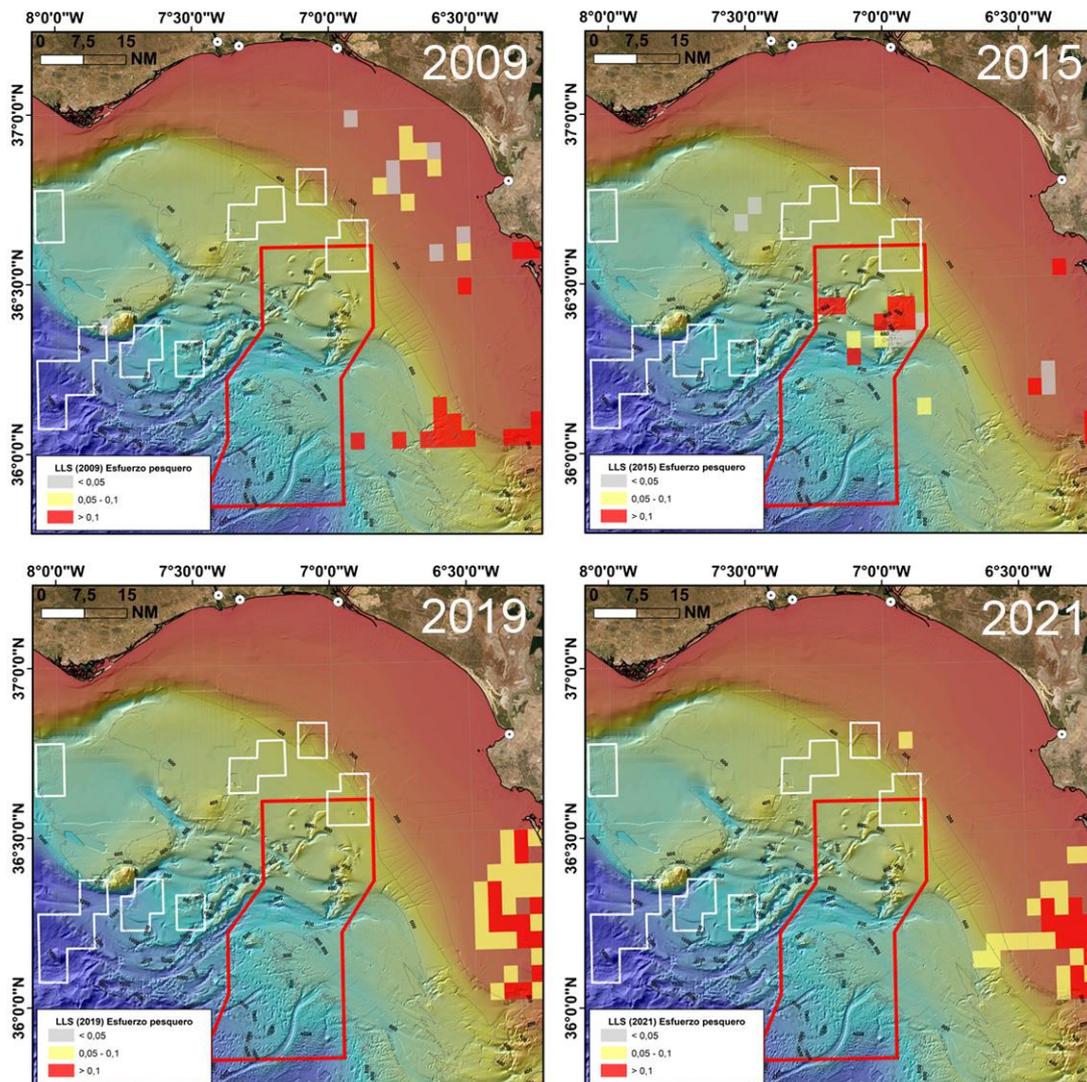


Figura 15. Distribución de la actividad de palangre de fondo en el golfo de Cádiz y en el LIC (polígono borde rojo) en el que se observa la baja ocurrencia, actividad y similitud del patrón de distribución de esta modalidad a lo largo de varios años. Polígonos propuestos en ICES para el cierre a la pesca de contacto con el fondo marino (polígono borde blanco).

En el Anexo se adjuntan mapas de distribución del esfuerzo de arrastre fondo de la última década.

3.2.1. Distribución espacial del esfuerzo pesquero en la zona de estudio

El estudio de la distribución espacial del esfuerzo de arrastre de fondo en el LIC se ha estimado usando 3 métodos diferentes, mediante (1) el análisis de los datos

procedentes del Sistema de Seguimiento de Buques (SSB o VMS del inglés *Vessel Monitoring System*) a nivel extensivo para todo el LIC y a lo largo de diferentes años; (2) la cuantificación de marcas de arrastre en imágenes submarinas de estaciones de muestreo con diferente actividad de arrastre y a lo largo de diferentes años y (3) la cuantificación de marcas de arrastre a partir de datos acústicos obtenidos con una ecosonda multihaz en polígonos con diferente actividad de arrastre de fondo en el año 2021.

3.2.1.1. *Análisis de datos procedentes del Sistema de Seguimiento de Buques*

Para el análisis de los datos procedentes del Sistema de Seguimiento de Buques (SSB-VMS), se utilizó el paquete de software libre *VMStools* para R (Hintzen et al., 2012) y los resultados obtenidos se representaron con el programa ArcGIS v10. Los datos de SSB-VMS que se usaron fueron los relativos al periodo 2012-2019 facilitados por la Secretaría General de Pesca (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, MAGRAMA) del Gobierno Español. El SSB-VMS es un dispositivo de seguimiento para buques de más de 15 metros de eslora (12 metros a partir de 2012), que envía un ping, normalmente cada 2 horas, e incluye información como la fecha, hora, número de registro del barco, su posición, velocidad, rumbo, el tipo de arte de pesca (por ejemplo, arrastre, red de cerco, etc.) y si el buque está faenando o no. Aquellos registros del SSB-VMS que estaban duplicados, con un número insuficiente de señales o los situados fuera de la zona de estudio, no se consideraron durante el análisis (Lee et al., 2010; Hintzen et al., 2012). Posteriormente, a través del método basado en el perfil de velocidad (Bastardie et al., 2010a; Hintzen et al., 2010) se identificaban las posiciones en las que el buque estaba faenando. Con este método, la velocidad media del buque entre las señales sucesivas se calculaba teniendo en cuenta el intervalo de tiempo y la distancia euclidiana entre las señales sucesivas, con lo que se obtenía finalmente una distribución de frecuencias de las velocidades medias (Hintzen et al., 2012). Por último, los registros con frecuencias de velocidad entre 2 y 5 nudos se identificaron como los que indicaban "pesca", además de considerar el conocimiento de esta pesquería en la zona de estudio (Díaz-del-Río et al., 2014a,b; González-García et al., 2020a, 2022). Aunque en otros estudios apuntan a que los buques de arrastre faenan a diferentes rangos de velocidad durante el arrastre de fondo (2-8 nudos, Mills et al., 2007; 2-4 nudos, Bueno-Pardo et al., 2017), para la asignación de las frecuencias medias de velocidad efectiva de arrastre también se tuvo en cuenta el conocimiento de la flota pesquera y los datos proporcionados por los observadores de la pesquería en la zona de estudio. Por lo tanto, cualquier registro de velocidad del buque que se encontrara fuera de este rango (<2 y >5 nudos) no se identificó como "realizando maniobra de pesca". El área de estudio se dividió en

celdas de 1 km² y los datos se integraron en un SIG (Sistema de Información Geográfica) para obtener un mapa espacial del esfuerzo pesquero (arrastre de fondo). Para el arrastre de fondo se consideró la cuantificación del esfuerzo en relación a la superficie barrida (SAR) y el tiempo efectivo de arrastre (Número de horas de arrastre). Estos tiempos efectivos de pesca se definieron en función de los rangos de velocidad de trabajo de los buques y la distribución espacial del tiempo de pesca por año, y se sumaron todos los tiempos de todos los barcos y caladeros situados en la misma cuadrícula.

Para el estudio de sensibilidad de hábitats en base a los datos de SSB-VMS, se usaron sólo los datos procedentes del tiempo efectivo de arrastre y se identificaron los hábitats que estaban sometidos a una mayor presión pesquera, se calculó, para cada arte, el porcentaje del esfuerzo pesquero (tiempo) registrado en cada hábitat. Se definieron diferentes niveles de esfuerzo pesquero utilizando los percentiles, de modo que el esfuerzo se dividió en 6 niveles, desde esfuerzo nulo (nivel 0) hasta un nivel de esfuerzo muy alto (nivel 5). La distribución de los diferentes niveles de esfuerzo pesquero se superpuso a la distribución de los hábitats, con el fin de evaluar la extensión de la zona de cada hábitat potencialmente afectada por las actividades pesqueras de arrastre de fondo y, por lo tanto, se evaluó la frecuencia relativa de las cuadrículas sometidas a cada nivel de presión pesquera para cada hábitat. Los datos procedentes de SSB-VMS se usaron también para conocer la influencia y el impacto de esta modalidad de pesca sobre algunos hábitats sedimentarios y especies formadoras de estos hábitats.

3.2.1.2. *Cuantificación de marcas de arrastre en imágenes submarinas*

El segundo método utilizado para estimar la actividad de arrastre de fondo fue el conteo directo de las marcas de arrastre en transectos de imágenes submarinas obtenidos en las campañas ISUNEPCA (desde el 2014 a 2019) entre los 500 y 600 m de profundidad e INTEMARES A4 CAD (2021) (Fig. 16 & 17).

La adquisición de imágenes submarinas se realizó a través del vehículo submarino remolcado HORUS, el cual presenta una cámara dispuesta en un ángulo de 45° con respecto al fondo marino y un par de focos (Fig. 18). Este vehículo presenta la característica de que se conecta a través de un cable de sonda de red al barco lo que permite la visualización, a tiempo real, de las imágenes submarinas durante la operación. El campo de visión empleado fue el delimitado con dos láseres de línea separados entre sí por 0,75 metros. Una vez que el HORUS se estabilizaba en el fondo, la duración del transecto era de 10 minutos válidos para el análisis de imágenes con un rumbo preestablecido y a una velocidad constante de aproximadamente entre 0,6-0,7 nudos. En aquellos casos en los que las condiciones de la adquisición de las imágenes no era la idónea (ej., baja visibilidad), se añadieron tantos minutos como fueron

necesarios hasta obtener una grabación final óptima con una duración de 10 minutos. Durante la campaña ISUNEPCA o618 y o619, se usó el trineo fotogramétrico TRISION, el cual consta de una cámara UHD 4K dispuesta en un ángulo de 45° con respecto al fondo y, al igual que con el HORUS, el campo de visión empleado entre los dos láseres era de 0,75 metros. Estos transectos fueron georreferenciados con un transpondedor (HiPAP) que permitió determinar con precisión la posición de las imágenes en relación con el buque a lo largo de cada transecto. Además, se registraron datos de la hora UTC al comienzo y final de la grabación, tiempo de grabación, profundidad y cable largado, así como las coordenadas de inicio y fin del transecto. Al igual que con el HORUS, la duración de la adquisición de imágenes submarinas en cada transecto era de aproximadamente 10 minutos válidos desde que el vehículo se estabilizaba en el fondo, tratando de mantener el rumbo preestablecido en el plan de campaña y a una velocidad constante de aproximadamente 0,6-0,7 nudos. Una vez el trineo fotogramétrico estaba a bordo, se descargaron las imágenes adquiridas, se chequearon y se copiaron en un disco duro externo para su posterior análisis en laboratorio. Los datos de navegación del trineo fotogramétrico y del barco fueron almacenados y chequeados inmediatamente después de cada transecto.

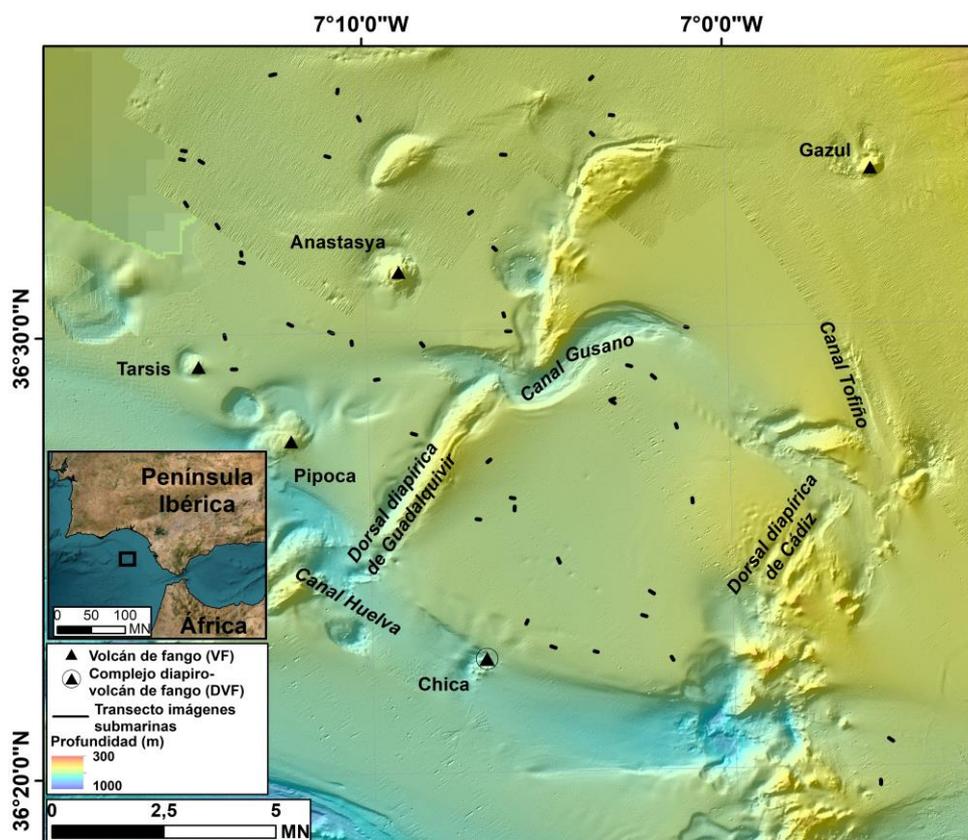


Figura 16. Localización de los transectos de imágenes submarinas realizados con los trineos fotogramétricos HORUS y TRISION en las campañas ISUNEPCA (2014-2019) en el *Campo Somero de Expulsión de Fluidos* del LIC "Volcanes de fango del golfo de Cádiz". Las coordenadas de los transectos se muestran en González-García et al. (en preparación).

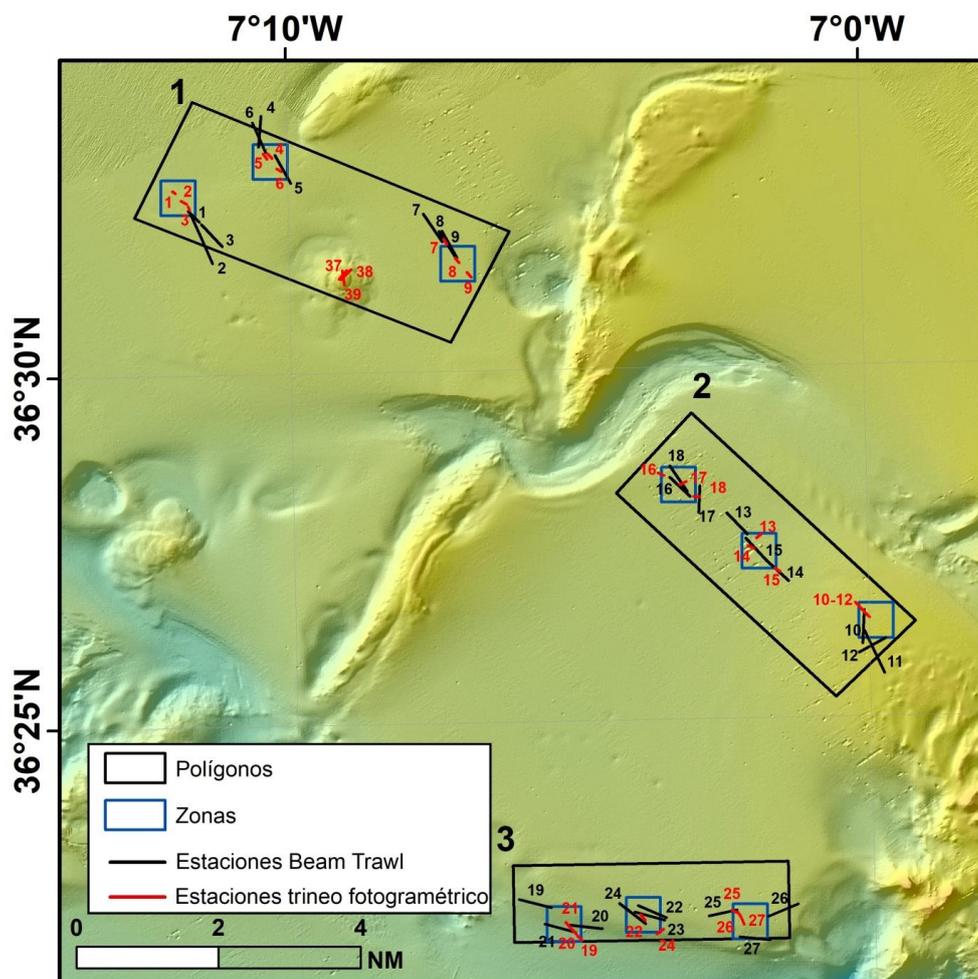


Figura 17. Localización de polígonos y zonas muestreadas, así como de los transectos realizados con el trineo fotogramétrico HORUS y con muestreos con beam-trawl en polígonos con un gradiente de actividad de arrastre durante la campaña INTEMARES A4 CAD. Las coordenadas de los transectos y muestreos con el beam-trawl se muestran en Rueda et al. (2022a).

El conteo de marcas se hizo tanto de puertas como de red, lo cual incluía marcas antiguas como recientes. Las marcas de arrastre recientes se observaban claramente porque dejan una huella inconfundible en el fondo marino con un surco profundo y una acumulación de sedimentos, muy abrupta, a ambos lados mientras que para aquellas marcas de arrastre antiguas la acumulación de sedimento era con una pendiente más suave pero perfectamente discernible (Fig. 19). Las marcas de red dejan unas marcas paralelas y mucho más suave y numerosas en el fondo marino. Estas marcas se contabilizaron a lo largo de todo el transecto y finalmente se extrapolaron a un área de 100 m².

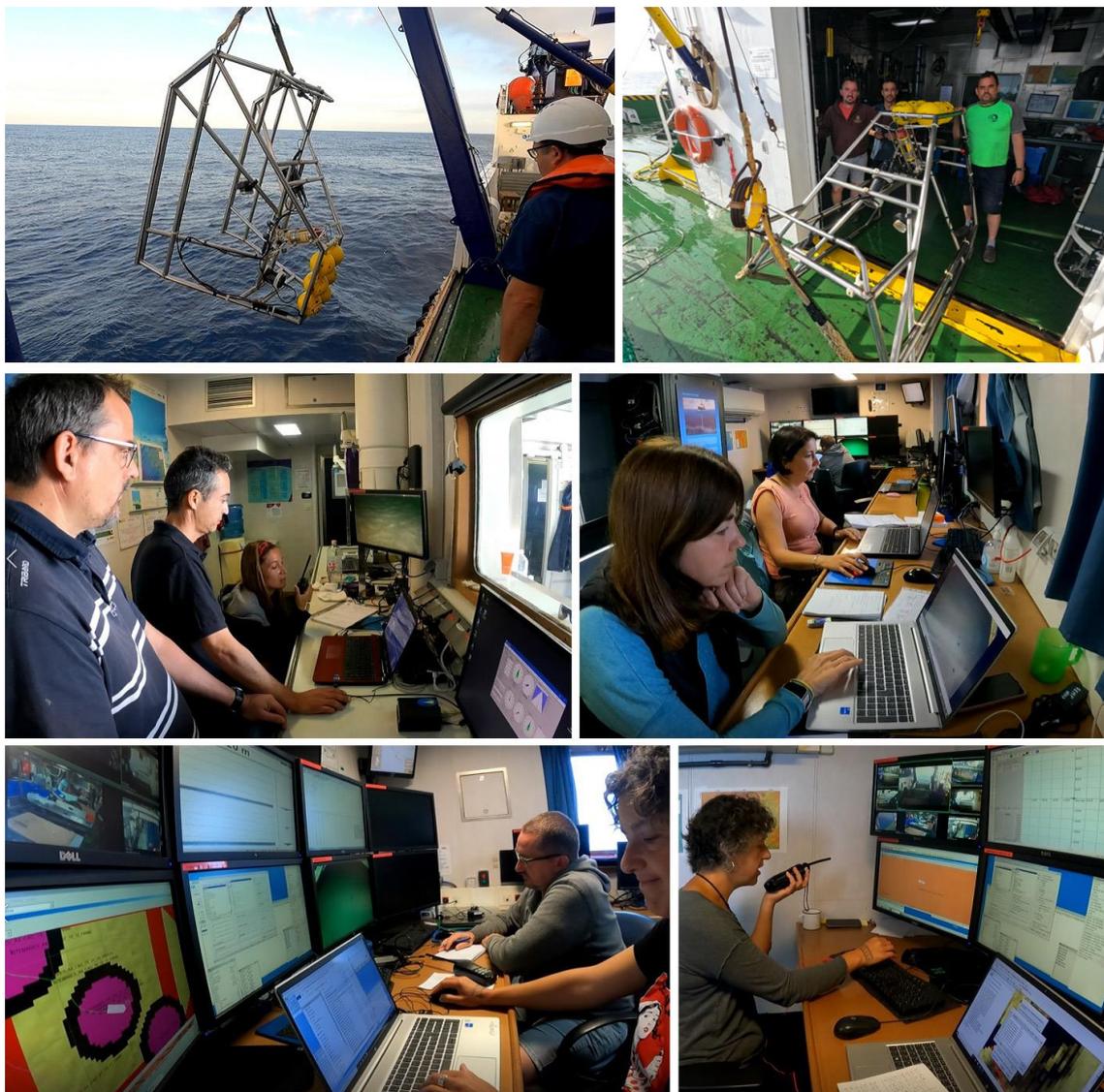


Figura 18. Trineo Horus del Centro Oceanográfico de Cádiz en el laboratorio húmedo, tras ser largado por el costado de estribor (arriba). Manejo del trineo Horus desde el laboratorio multipropósito (medio izquierda) y procesado preliminar de imágenes submarinas en el laboratorio de acústica (medio derecha). Posicionamiento de los transectos de trineos mediante el uso del Hypack (abajo).

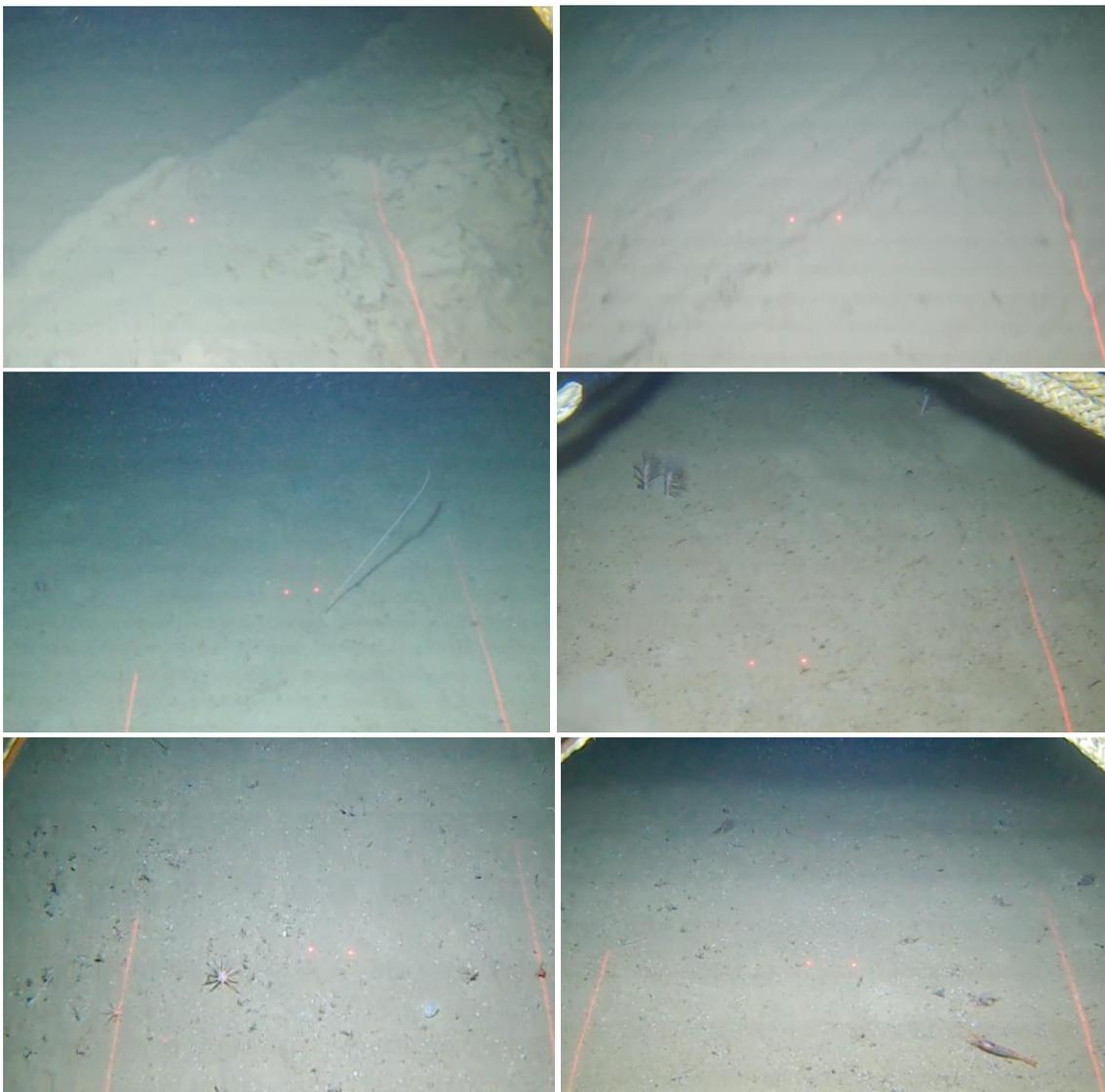


Figura 19. Imágenes submarinas de marca de arrastre de puerta (imagen superior izquierda), marca de arrastre de red (imagen superior derecha), de *Funiculina quadrangularis* y *Kophobelemnion stelliferum* (imágenes centrales), de *Cidaris cidaris* (imagen inferior izquierda) y de *Parapenaeus longirostris* (imagen inferior derecha).

3.2.1.3. Cuantificación de marcas de arrastre en datos de ecosonda multihaz

La adquisición de los datos acústicos se realizó con la ecosonda multihaz EM-710 con recubrimiento del 100% durante la campaña INTEMARES A4 CAD con el objetivo de estudiar las características del fondo marino con diferente actividad de arrastre pesquero (Fig. 20). La velocidad de navegación durante la adquisición de los datos se mantuvo entre 4,5 y 5 nudos, y la apertura de los haces fue de 60°. Con la intención de tener la máxima resolución de datos obtenidos con la ecosonda multihaz, durante la

prospección geofísica ni el ADCP instalado en el casco del barco ni la ecosonda monohaz fueron activos, pero sí durante tránsitos y muestreos.



Figura 20. Detalles de la adquisición y procesado de datos acústicos (ecosonda multihaz y sonda paramétrica TOPAS) en el laboratorio de acústica del B/O Ramón Margalef.

Las zonas de trabajo incluían 4 polígonos con diferente grado de actividad de arrastre en el *Campo Somero*, y que cubría cada uno de ellos alrededor de 20 km² (Fig. 21). Se realizó el procesado de los datos obtenidos con la ecosonda multihaz mediante el programa CARIS HIPS and SIPS y con ello se obtuvieron mapas de batimetría y reflectividad a mucha resolución de esos 4 polígonos, donde se podían visualizar marcas procedentes de la pesca de arrastre de fondo.

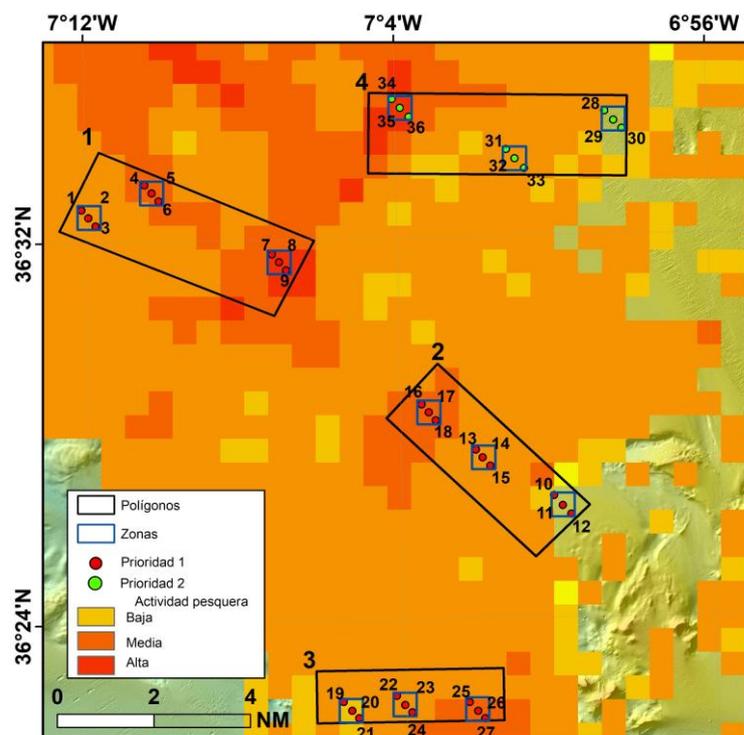


Figura 21. Localización de polígonos con un gradiente de actividad de arrastre de fondo y zonas a muestrear con trineo de imágenes submarinas, beam-trawl y meso box-corer para estudiar el efecto de la actividad pesquera en hábitat 1170 sedimentario durante la campaña INTEMARES A4 CAD (Rueda et al., 2022a).

Con el objetivo de contrastar las estimaciones de actividad de arrastre obtenido con los 3 métodos, se comparó el número de horas de arrastre y la superficie arrastrada procedentes de los datos de SSB-VMS con el número de marcas de arrastre de las imágenes submarinas en esas mismas zonas. Para el contraste de las marcas de arrastre detectadas en los datos de reflectividad de los polígonos, se contabilizaron estas marcas y se contrastó con el número medio de horas y de marcas de arrastre de fondo. Ello sólo se pudo hacer con los datos de 3 polígonos, debido a que no se tenían suficientes datos de imágenes submarinas en uno de ellos.

Posteriormente se analizaron las relaciones de la actividad de arrastre procedente de estos 3 métodos con la información ambiental, mediante correlaciones simples de Pearson o Spearman y análisis de componentes principales.

3.2.2. Distribución espacial de las capturas y el valor económico asociado a las mismas en la zona de estudio

Para el análisis de la distribución espacial de las capturas desembarcadas de las diferentes especies comerciales de la flota de arrastre de fondo que faena en el LIC, se utilizaron los datos del SSB-VMS y de los cuadernos de pesca (*logbooks*) de los diferentes buques pesqueros desde enero de 2007 hasta diciembre de 2012, facilitados por la Secretaría General de Pesca del gobierno español. Los análisis se realizaron con el paquete de *software* libre *VMStools* para R (Hintzen et al., 2012) y los resultados obtenidos se representaron con ArcGis v10. Para ello, los registros de los SSB-VMS con frecuencias de velocidad entre 2 y 5 nudos se identificaron como los que indicaban "pesca", tal y como se ha comentado anteriormente. Para poder conocer la distribución espacial y la evolución temporal de las capturas desembarcadas de diferentes especies comerciales (en adelante denominadas como capturas), se vincularon los puntos de datos del SSB-VMS que indican "pesca" con los datos de los cuadernos de pesca a través de un identificador común creado a tal efecto en el punto medio de cada operación de pesca durante cada marea diaria para estimar la procedencia de esas capturas desembarcadas. Todos los datos resultantes (número de operaciones de pesca y salidas por barco, número de horas de actividad de arrastre, las capturas, etc.) se transfirieron a un *hardware* de Sistema de Información Geográfica (SIG) y se rasterizaron para crear los mapas. El área de estudio se dividió en cuadrículas de 1 Km², y para mostrar los resultados de la distribución de las capturas de las principales especies comerciales de cada una de las cuadrículas de 1 km² se sumaron. Para obtener los datos ráster de la distribución espacial de las capturas (toneladas, t) por unidad de esfuerzo (horas) (CPUE) se consideraron los datos ráster de la actividad de arrastre de fondo y de las capturas por cada cuadrícula de 1 km².

También se utilizaron los datos sobre las capturas de los distintos buques pesqueros para estimar los desembarcos en los puertos pesqueros más importantes situados en el noreste del GdC. Debido a que muchas de las capturas de la flota de arrastre del golfo de Cádiz se codifican con códigos genéricos sin especificar su especie (p. ej., LOX: Reptantia; FIN y MZZ, Osteíctios; SKA, *Raja* spp.; AXR, *Aristeus* spp.; CRA, *Brachyura*, etc.), fue necesario agrupar algunos de estos datos, generalmente los que tenían valores muy bajos dentro del LIC, para una mejor comprensión de los desembarcos de las especies. Los grupos creados fueron el grupo de gambas rojas (RSH), el grupo de langostinos (PRA), el grupo de rape (MON), el grupo de cefalópodos (CEP), el grupo de elasmobranquios (ELA), el grupo de otros peces (OFI) y el grupo de otros crustáceos (OCR).

Para la estimación del valor económico (o ingresos totales brutos, IT) asociado a las capturas de las diferentes especies comerciales, se utilizaron los datos proporcionados en 2020 por el Sistema de Información Andaluz de Comercialización y Producción Pesquera de la Dirección General de Pesca y Acuicultura de la Junta de Andalucía (IDAPES). Los datos contenían las notas de venta de las especies desembarcadas en la lonja, incluyendo datos sobre el peso (toneladas) y el precio medio mensual por kilogramo (€/kg) de las especies subastadas (o grupos de especies) durante cada año de la serie temporal (2007-2012). Los IT se han calculado relacionando las capturas de cada especie en cuadrículas de 1 km² en el LIC con el precio medio por kilogramo de esas especies en ese año en los puertos de desembarque. Las estimaciones de los IT de aquellos grupos de especies con baja capturabilidad (por ejemplo, RSH, PRA, etc.) se calcularon mediante (1) los IT de cada una de las especies de ese grupo utilizando el precio medio anual multiplicado por el total de capturas de esa especie durante el mismo año y 2) la suma de los IT de cada especie de ese grupo para ese año en concreto. A continuación, se calcularon los valores de los IT para cada cuadrícula de 1 km² (suma de los ingresos de cada especie en las celdas de 1 Km²). Por último, estos datos se transfirieron al SIG para obtener diferentes mapas de distribución espacial de los IT por unidad de esfuerzo en cuadrículas de 1 Km² situadas tanto dentro como fuera del campo de volcanes de fango del LIC. Finalmente, los IT procedentes del LIC o de los diferentes sectores propuestos para la regulación del arrastre de fondo se calcularon para cada puerto durante el año de estudio multiplicando las capturas de las diferentes especies (o grupos de especies) procedentes de esos sectores por el precio medio de las mismas especies en ese año. Esto se hizo para saber qué puertos se verían más afectados si se aplicase la regulación de la pesca de arrastre de fondo. Información más completa de este componente de estudio puede consultarse en González-García et al. (2022).

3.3. Muestreo

Para el estudio de la influencia y/o impacto del arrastre de fondo sobre los hábitats se combinaron diferentes tipos de datos y muestras que se adquirieron mediante:

3.3.1. Búsqueda bibliográfica

Ello se realizó para obtener valores o tipología de variables de las masas de agua (temperatura, salinidad, velocidad de la corriente) (Sánchez-Leal et al., 2017), los tipos de fondo (Fernández-Salas et al., 2021) y los tipos de hábitats presentes en el LIC (Rueda et al., 2022b). La información obtenida sobre estos componentes se representó con ArcGIS v10 y se usó en diferentes tipos de análisis de datos

3.3.2. Muestras de sedimento

Se realizó fundamentalmente durante la campaña INTEMARES A4 CAD, generalmente usando la draga shipek y en menor medida con una draga meso box-corer (Figs. 22 y 23). Dichos muestreos se realizaron por el costado de estribor (draga shipek) o por la popa (meso box-corer), anotándose la hora GMT, la posición y la profundidad de cada estación y observaciones de la muestra tales como la textura, el color, presencia de organismos vivos y restos de organismos muertos (conchas, púas de erizos, etc.).

La nomenclatura para los muestreos puntuales se hizo usando las abreviaturas SK (shipek) y BC (box-corer) seguido del número de orden de la campaña-número de la estación del plan de campaña. Una vez la draga llegaba a la cubierta, cada muestra se fotografió de manera general con una etiqueta plastificada con una escala y donde se indicaba el código de muestra. Luego se tomaban fotografías de forma más detallada, tanto de la parte superficial como de la lateral de la columna extraída. Además, se tomaron fotografías a mayor detalle de la fauna presente en su estado natural, estructuras sedimentarias o lo que se consideraba interesante. Se anotaron las características del sedimento (textura, color en base a escala MUNSELL, bioturbación) y principales elementos de la fauna/flora tanto viva como fósil presente en la muestra. En el caso de que la muestra fuese de la meso box-corer, se midió la altura de la columna de sedimento, la profundidad del frente red-ox (una vez quitado el cajetín), y se anotaron las características del sedimento. Después se tomaba un testigo de 8,5 cm de diámetro, el cual se muestreó en intervalos de 5 cm, cogiéndose 2 muestras de sedimento de unos 120 ml en cada nivel o intervalo de profundidad, una para análisis granulométricos (rotulada como GRAN) y otra para análisis geoquímicos (contenido

en materia orgánica y carbonatos) (rotulada como MO), las cuales fueron congeladas inmediatamente y agrupadas en base a su tipología para ser transportadas y procesadas en el laboratorio del Centro Oceanográfico de Málaga.

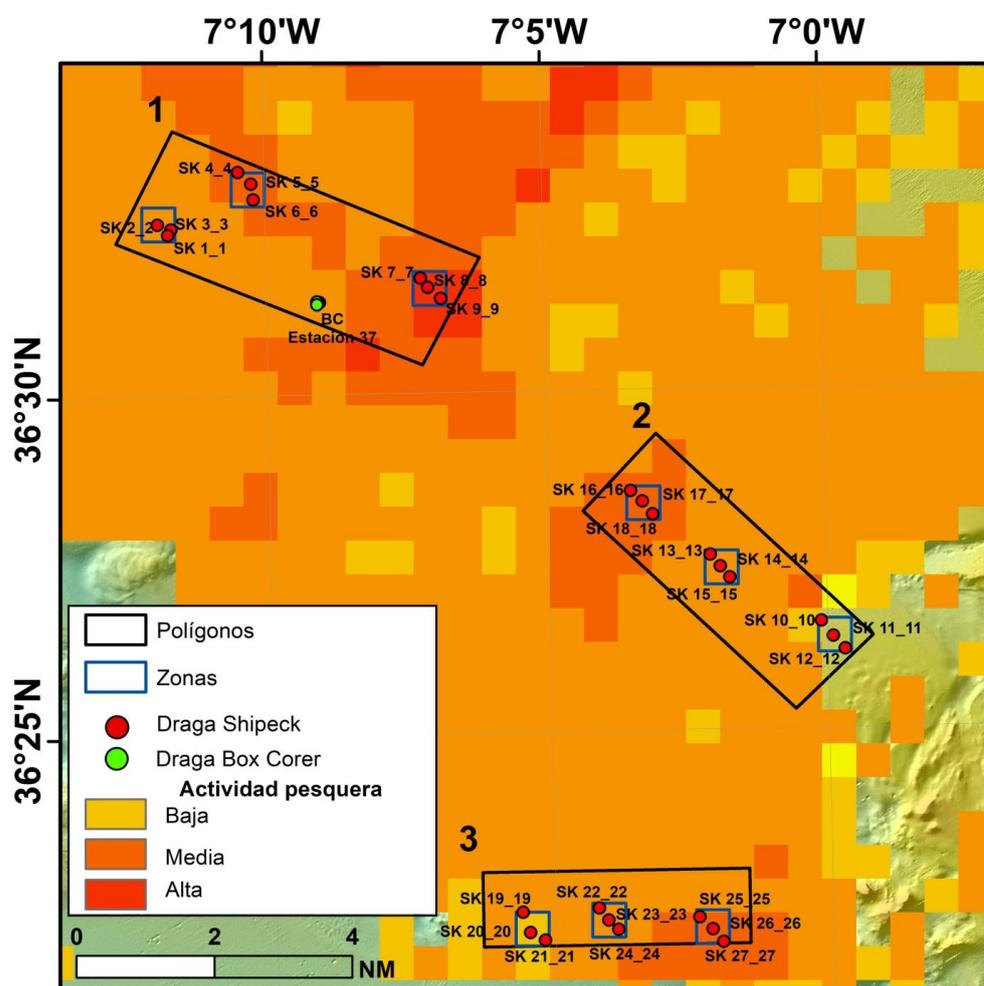


Figura 22. Localización de polígonos con un gradiente de actividad de arrastre (serie histórica 2009-2019) y las zonas muestreadas con draga de muestreo puntual (generalmente shipek) para estudiar el efecto de la actividad pesquera en el Hábitat 1170 *sedimentario* durante la campaña INTEMARES A4 CAD. Además, los polígonos fueron muestreados con técnicas acústicas (multihaz y TOPAS) para estudiar con más detalle las características del fondo marino con diferente actividad de arrastre de fondo. En la Tabla A del Anexo I de Rueda et al. (2022b) se muestran las coordenadas de los muestreos puntuales finalmente realizados.

En el caso de muestrear con shipek, el procedimiento era menos complejo en el cual, tras la eliminación del agua superficial, se fotografiaba la muestra, anotaba su volumen aproximado y las características del sedimento, así como su biota asociada y de los restos muertos de organismos (tanatocenosis). Posteriormente se cogían muestras de sedimento para análisis granulométricos y geoquímicos (contenido en materia orgánica y carbonatos) (generalmente de unos 120 ml en cada caso). En el Anexo II de Rueda et al. (2022a) se adjuntan las fichas realizadas *in situ* a bordo del

buque en el que se ofrece una breve descripción de las muestras recogidas con los diferentes muestreos puntuales (meso box-corer, shipek y van veen).

El análisis granulométrico se realizó usando diferentes métodos, los protocolos pueden consultarse en Díaz del Río et al. (2014a), González-García et al. (2020b) y Rueda et al. (2022a).

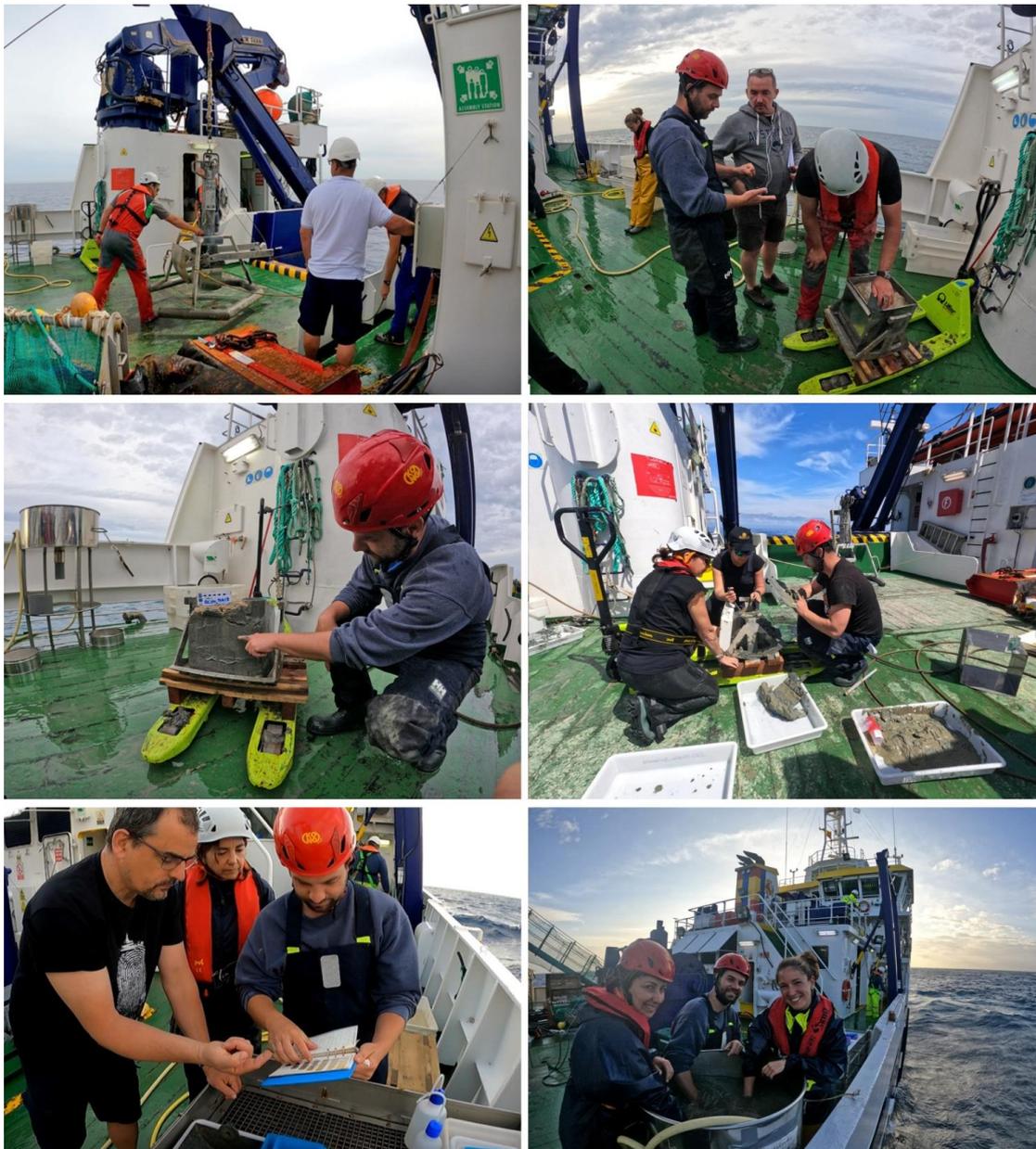


Figura 23. Meso box-corer a punto de ser largada por la popa del B/O Ramón Margalef (arriba izquierda). Inserción de un testigo para muestreo del sedimento (arriba derecha). Descripción general y submuestreo vertical de la columna de sedimento obtenida en la draga meso box-corer (medio). Anotación de la coloración del sedimento mediante el uso de la Munsell Color Chart (abajo izquierda) y tamizado de la muestra de sedimento usando una bañera de tamizado (abajo derecha).

3.3.3. Muestras de fauna

Las muestras de fauna se obtuvieron con un beam-trawl durante las campañas INDEMARES-CHICA e INTEMARES A₄ CAD con el principal objetivo de muestrear la fauna observada en transectos de imágenes submarinas anteriores y de obtener tallas de las especies formadoras de hábitats, así como datos de la fauna asociada que no se detectaron en las imágenes submarinas (Figs. 24, 25 y 26). El aparejo que se empleó en estas campañas siempre tenía una configuración similar con una malla de 50 mm y una tralla de 26 mm montada, con un intracopo de 1 cm en la parte final, sobre una estructura metálica con una apertura horizontal de 2 m de ancho soportada por una barra de acero, y una altura vertical de 0,60 m proporcionada por los patines de acero. La velocidad de arrastre fue siempre inferior a 2 nudos (en torno a 1,7), y el arrastre efectivo tuvo generalmente una duración de 15 minutos.

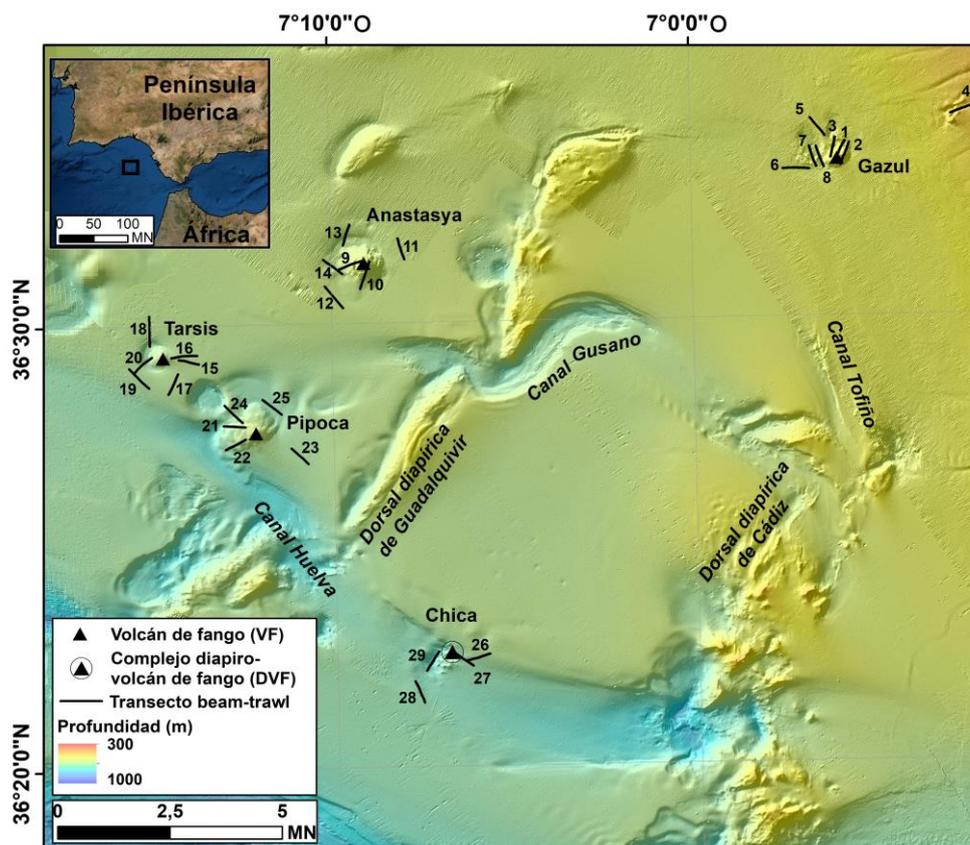


Figura 24. Localización de lances de beam-trawl en los diferentes sectores del *Campo Somero de Expulsión de Fluidos* del margen español del golfo de Cádiz durante las campañas INDEMARES-CHICA 0610 y CHICA 0211. Sectores: Gazul, Anastasya, Tarsis, Pipoca y Chica. Las coordenadas de los lances de beam-trawl se muestran en González-García et al. (2020b).

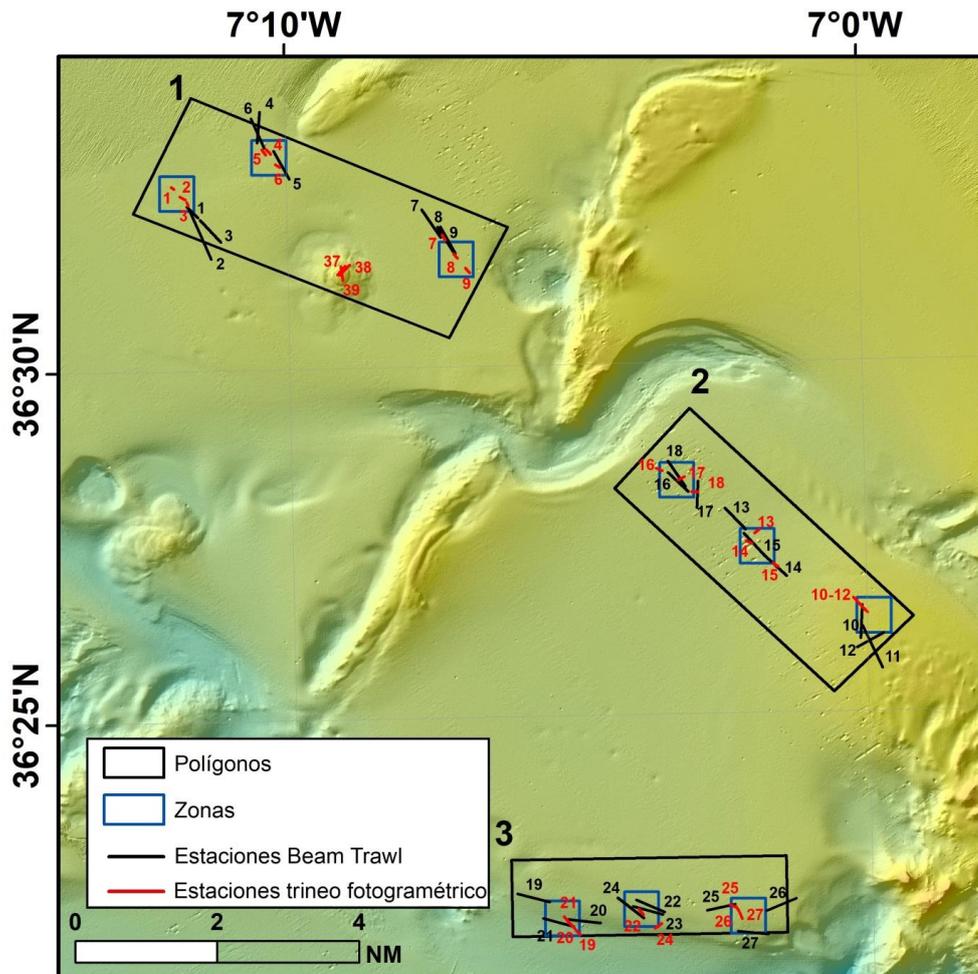


Figura 25. Localización de polígonos y zonas muestreadas, así como de los transectos realizados con el trineo fotogramétrico HORUS y los muestreos con beam-trawl en los mismos polígonos con un gradiente de actividad de arrastre (serie histórica 2010-2019). Las coordenadas de los transectos y muestreos con el beam-trawl se muestran en las Tablas B y C del Anexo I de Rueda et al. (2022a).

Debido a la naturaleza fangosa del sedimento del golfo de Cádiz, se hicieron pruebas de arrastre durante el comienzo de la campaña para evitar posibles enfangamientos. Por otro lado, la maniobra intentaba ser lo más delicada posible para que la red no diese la vuelta y tapase la boca del beam-trawl, y que su aterrizaje sobre el lecho marino fuese suave. Para facilitar la maniobra del beam-trawl se acopló un sensor SCANMAR, para conocer cuando estaba en el fondo y comenzar a contar el tiempo de arrastre. En cada lance se tomaron datos de hora GMT, coordenadas geográficas, profundidad, cable largado al inicio, firme y final del arrastre. También se georeferenciaron las maniobras usando el software Hypack.



Figura 26. Detalles del beam-trawl usado en cubierta y durante su largado por la rampa de popa (arriba) durante la campaña INTEMARES A₄ CAD. Muestra recolectada por el beam-trawl sobre cubierta (abajo izquierda) y reparto de la muestra en diferentes cajas para su posterior procesado (abajo derecha).

La nomenclatura de las muestras recolectadas con el beam-trawl se realizó mediante las siglas BT (beam-trawl), acompañado del Número de orden de la campaña-Número de la estación del plan de campaña. Las muestras de beam-trawl se procesaron en cubierta (tamizado, limpieza de fango y triado preliminar) con la mesa de tamizado o la torre de cajas-tamices. En alguna ocasión se finalizó todo el proceso del mismo (triado, identificación, cuantificación, medición y pesado de organismos) en el parque de pesca o en el laboratorio húmedo-laboratorio multipropósito (Fig. 27).

Una vez el arte estaba a bordo, la captura se depositó en cajas y se tomaron fotografías del material recolectado junto con una etiqueta con el nombre de la campaña y el número del lance. Los ejemplares más delicados se depositaron en bandejas más pequeñas o en cubetas con agua de mar, para evitar un posible deterioro de los caracteres morfológicos que pudiese dificultar su posterior identificación. La captura se trió y separó hasta el nivel taxonómico más bajo (generalmente hasta especie). Si la muestra venía muy enfangada, se empleaba la mesa de tamizado o la torre de cajas-tamices para limpiar la muestra en cubierta, teniendo cuidado de mantener la manguera con agua de mar con la presión adecuada para no dañar los organismos más delicados. Finalmente, los individuos de cada especie se contaron y pesaron usando básculas marinas de precisión.

Posteriormente se tomaba la talla de los pennatuláceos (longitud total) y de las gorgonias de sustratos blandos como *Spinimuricea* sp. e *Isidella elongata* (altura y anchura). Dichos ejemplares de especies constructoras de hábitats (o una representativa selección de las mismas) se conservaron en etanol al 70% para mediciones más complejas de sus colonias en el laboratorio del Centro Oceanográfico de Málaga. En los casos en los que las especies no se pudieron identificar o medir a bordo, se fotografiaron junto con una escala plastificada y etiquetas donde se especificaban la campaña (INTEMARES A₄ CAD), el número de lance y el código dado a dicha especie. Con este método, la medición de los ejemplares se puede hacer a partir de esas fotos, y los ejemplares fueron guardados en etanol al 70% o formaldehído al 4%.



Figura 27. Procesado de las muestras recogidas con el beam-trawl en cubierta (arriba izquierda), incluyendo la separación de la muestra por fracciones de tamaño mediante lavado en una torre de tamices (arriba derecha) y por especies usando bandejas (medio izquierda). Medición de especies constructoras de hábitats recogidas con el beam-trawl en el laboratorio multipropósito (en la foto mediciones del pennatuláceo *Kophoblemnon stelliferum*) (medio derecha). Identificación, cuantificación y pesado de las especies de pequeño tamaño en el laboratorio multipropósito (abajo).

3.3.4. Adquisición de imágenes submarinas

Se han grabado transectos de imágenes submarinas en siete campañas oceanográficas durante la serie histórica de ISUNEPCA entre los años 2014 y 2019 y la campaña INTEMARES A₄ CAD en el LIC "Volcanes de fango del golfo de Cádiz", en el estrato comprendido entre los 500 y 600 metros de profundidad (Figs. 28 y 29). En el primer caso, la toma de estas imágenes estaban enmarcadas en el proyecto ISUNEPCA ("Imágenes submarinas para la estimación de la abundancia de cigala *Nephrops norvegicus* y caracterización de las comunidades asociadas en el golfo de Cádiz") (campañas ISUNEPCA 0814, 0615, 0516, 0517, 0618 y 0619) mediante el uso de los trineos fotogramétricos HORUS y TRISION. Se han analizado un total de 50 transectos, aproximadamente unos 500 minutos, recogidas en las diferentes campañas realizadas durante la serie histórica de ISUNEPCA (González-García et al., en preparación). Además se han analizado unos 27 transectos, aproximadamente 270 minutos, y un área muestreada de 3252,75m² (generalmente 120 m² por cada transecto) para la campaña INTEMARES A₄ CAD.

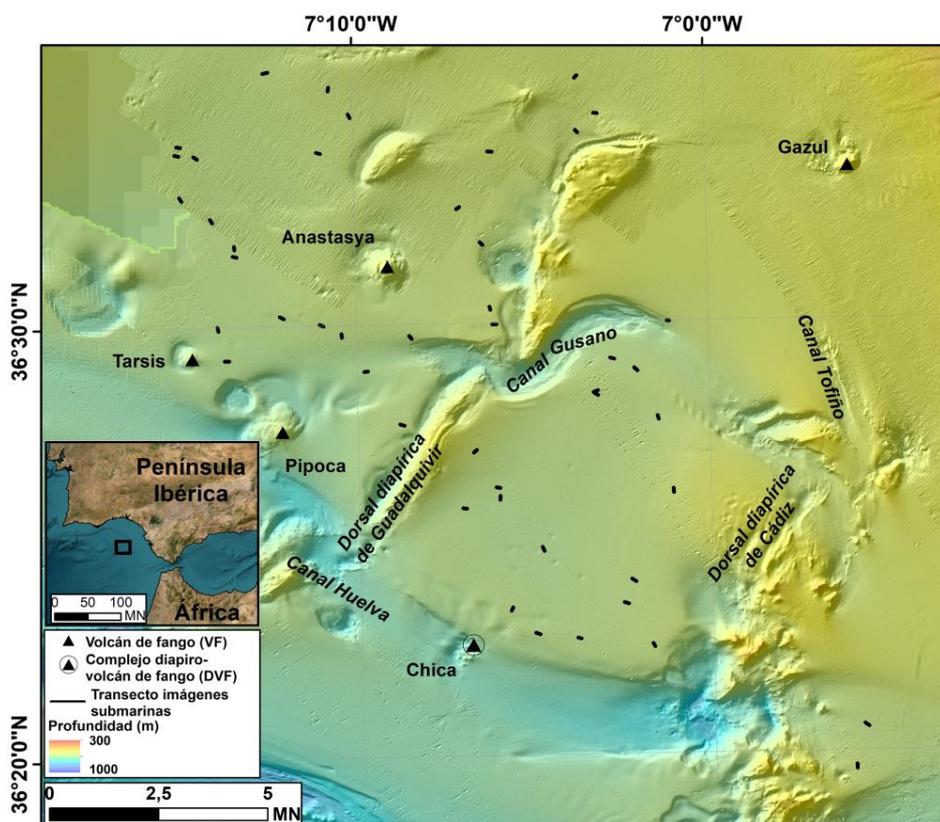


Figura 28. Localización de los transectos de imágenes submarinas realizados con los trineos fotogramétricos HORUS y TRISION en las campañas ISUNEPCA (2014-2019) en el *Campo Somero de Expulsión de Fluidos* del LIC "Volcanes de fango del golfo de Cádiz".

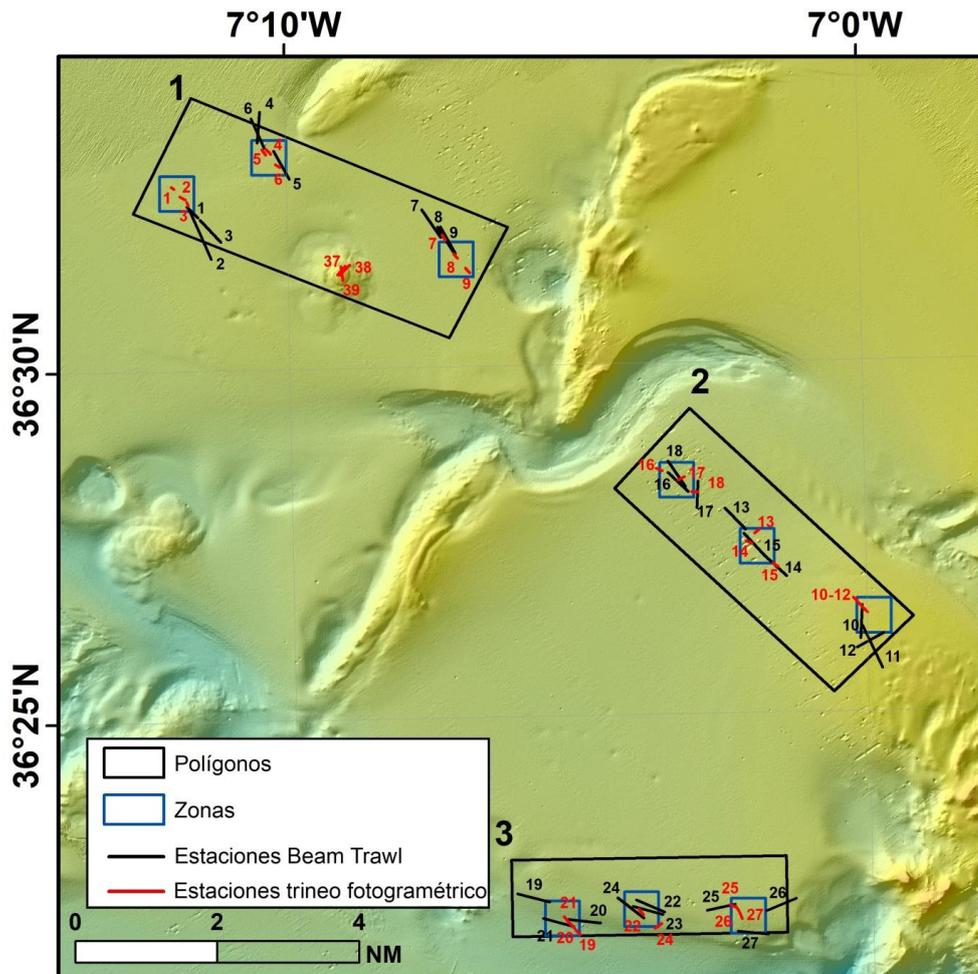


Figura 29. Localización de polígonos y zonas muestreadas, así como de los transectos realizados con el trineo fotogramétrico HORUS y los muestreos con beam-trawl en los mismos polígonos con un gradiente de actividad de arrastre (serie histórica 2010-2019) de la Figura 4. Las coordenadas de los transectos y muestreos con el beam-trawl se muestran en las Tablas B y C del Anexo I de Rueda et al. (2022b)

En las campañas de ISUNEPCA 0814, 0615, 0516 y 0517, y la campaña INTEMARES A4 CAD la toma de imágenes submarinas se realizó a través del vehículo submarino HORUS, el cual presenta una cámara dispuesta en un ángulo de 45° con respecto al fondo marino y un par de focos (Fig. 30). Este vehículo presenta la característica de que se conecta a través de un cable de sonda de red al barco, lo que permite la visualización a tiempo real de las imágenes submarinas durante la operación. El campo de visión empleado fue confirmado con dos láseres de línea separados entre sí por 0,75 metros. Una vez que el HORUS se estabilizaba en el fondo, la duración del transecto era de 10 minutos válidos para el análisis de imágenes, sin cambiar el rumbo preestablecido y a una velocidad constante de aproximadamente entre 0,6-0,7 nudos. En aquellos casos en los que las condiciones de la adquisición de las imágenes no era la idónea (baja visibilidad, por ejemplo), se añadieron tantos minutos como fueron

necesarios hasta obtener una grabación final óptima con una duración de 10 minutos. Durante la campaña ISUNEP-CA 0618 y 0619, se usó el trineo fotogramétrico TRISION, el cual consta de una cámara UHD 4K dispuesta en un ángulo de 45° con respecto al fondo y, al igual que con el HORUS, el campo de visión empleado entre los dos láseres era de 0,75 metros. Estos transectos fueron georreferenciados con un transpondedor que permitió determinar con precisión la posición de las imágenes en relación con el buque a lo largo de cada transecto.

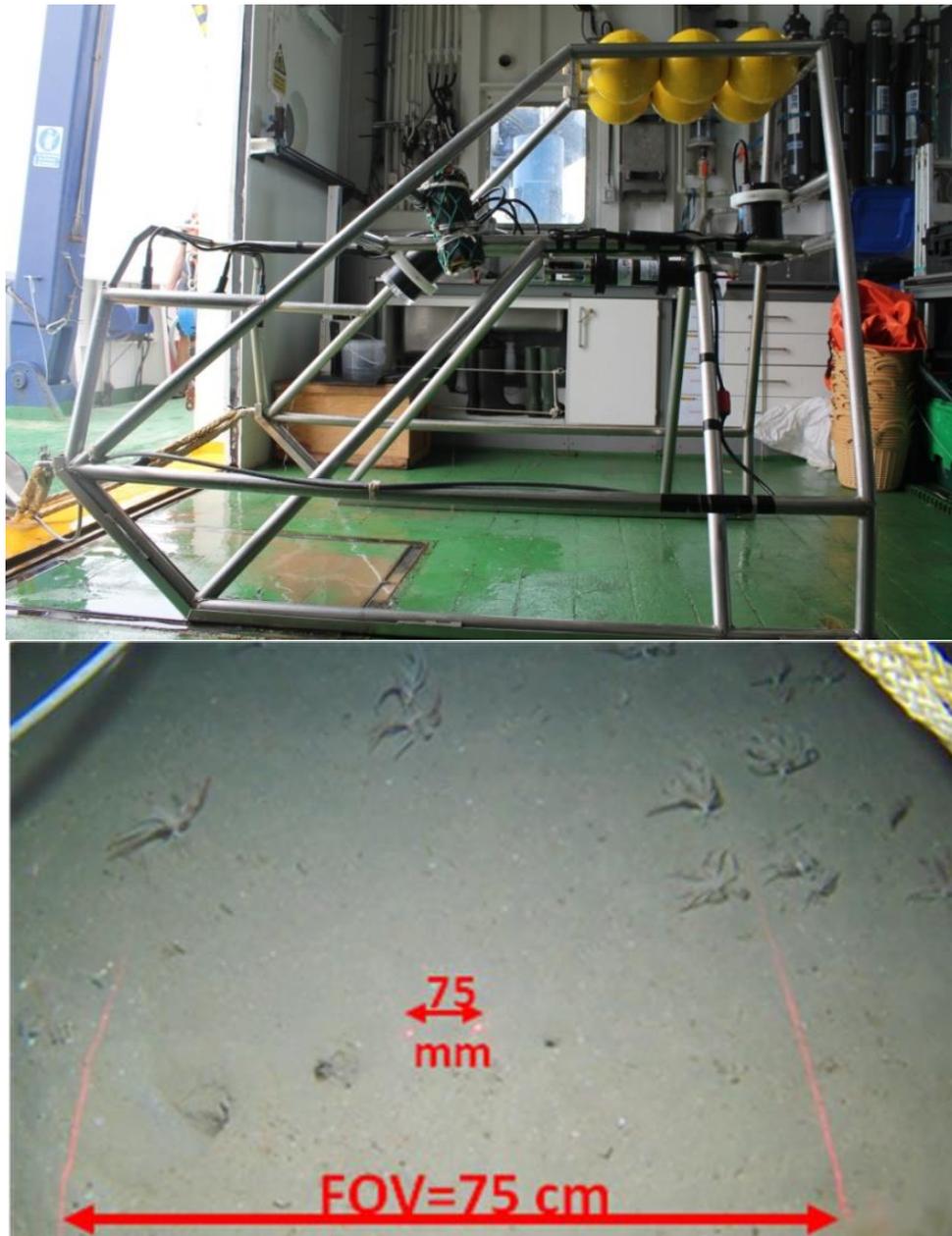


Figura 30. Detalle del trineo fotogramétrico HORUS y de los punteros láseres puntuales (separados 75 mm) y los lineales (separados 75 cm) en un fotograma submarino tomado con dicho trineo.

Además, se registraron datos de la hora UTC al comienzo y final de la grabación, tiempo de grabación, profundidad, cable largado y cable antes del virado, así como las coordenadas al inicio y final del transecto. Al igual que con el HORUS, la duración de la adquisición de imágenes submarinas en cada transecto era de aproximadamente 10 minutos válidos desde que el vehículo se estabilizaba en el fondo, tratando de mantener el rumbo preestablecido en el plan de campaña y a una velocidad constante de aproximadamente 0,6-0,7 nudos. Una vez el trineo fotogramétrico estaba a bordo, se descargaron las imágenes grabadas, se chequearon dichas imágenes y se copiaron en un disco duro externo para su posterior análisis en laboratorio. Los datos de navegación del trineo fotogramétrico y del barco fueron almacenados y chequeados inmediatamente después de cada transecto.

Una vez en el laboratorio y durante la visualización de las imágenes submarinas, se fueron identificando y anotando los diferentes organismos presentes entre los láseres de línea (separados entre sí por 0,75 metros), para luego poder estandarizar su abundancia a 100 m². Muchos de los organismos observados en los diferentes transectos fueron identificados hasta el nivel taxonómico más bajo posible gracias al gran conocimiento del área de estudio y de las diferentes especies presentes en esta zona. Por el contrario, algunos organismos cuya identificación taxonómica a su nivel más bajo posible no era viable, se decidió agruparlas en varios grupos de especies morfológicamente similares, con el fin de evitar inconsistencias taxonómicas y poder ser tratadas y cuantificadas como especies, género o Unidades Taxonómicas Operacionales (*Operational Taxonomic Units, OTUs*) pues a veces comprenden entidades identificables a diferentes niveles taxonómicos (Howell et al., 2019; Lacharité and Metaxas, 2017; Puerta et al., 2022). En conclusión, algunos de los organismos cuantificados que conforman la matriz han sido tratadas como grupo de especies, género o *OTUs* como Anthozoa S. Id., *Cerianthus* spp., *Caryophyllia* spp., *Echinus* sp., Porífera S. Id, *Holothuria* spp., Sabellidae, etc.

El análisis de las imágenes submarinas de los diferentes transectos se realizó con el *software* libre VLC media player. Las secuencias con mala visibilidad, debido a la turbidez del agua o a la distancia al fondo marino se descartaron, obteniendo finalmente unos 500 minutos de imágenes aptas para el estudio. En aquellos casos en los que era posible (buena visibilidad y siempre usando el mismo campo de visión), se extraían los fotogramas de los diferentes individuos de especies de pennatuláceos (*Kophobelemnion stelliferum*, *Funiculina quadrangularis* y *Pennatula aculeata*) para posteriores estudios de biometría.

3.4. Estudio del impacto de la pesca de arrastre en hábitats sedimentarios

Se ha analizado el posible impacto de la pesca de arrastre de fondo sobre un hábitat 1180 de la DH (*Estructuras producidas por escape de gases con comunidades quimiosintéticas*) y un hábitat 1170 de la DH (*Fangos y arenas fangosas batiales con pennatuláceos*). Estos hábitats son claros ejemplos de hábitats biogénicos de tipo sedimentario con gran importancia y/o gran ocupación en el *Campo Somero* del LIC, y que parecen presentar solapamiento con la actividad de arrastre de fondo.

Para estimar el impacto de la pesca de arrastre de fondo sobre un hábitat 1180 de la DH (*Estructuras producidas por escape de gases con comunidades quimiosintéticas*) se seleccionaron 2 volcanes de fango (VF) en zonas con diferente actividad pesquera, los cuales fueron Anastasya con alta actividad pesquera, y Tarsis con baja actividad pesquera. El objetivo de estos estudios era conocer el estado del fondo marino a partir de (1) la cuantificación de marcas de arrastre en transectos de imágenes submarinas y (2) el estado de la comunidad quimiosintética y la comunidad estructurante no quimiosintética (fundamentalmente pennatuláceos).

Para ello se realizaron 2 transectos de imágenes submarinas en la cima del VF Tarsis, y 3 transectos en la cima del VF Anastasya y se obtuvieron muestras con meso box-corer en las zonas con mayor actividad de emisión (Fig. 31). Cada transecto tenía una duración media de 30 minutos por lo que se dividieron los transectos en tramos de unos 10 minutos a modo de pseudo réplicas, obteniéndose de esta manera 9 transectos para Anastasya y 6 para Tarsis.

En los transectos de imágenes submarinas se cuantificaron las marcas de arrastre, los tapetes bacterianos y el resto de organismos presentes tal y como se realizó en la sección 3.3.4. Adquisición de imágenes submarinas. También se identificaron y cuantificaron los ejemplares de especies quimiosintéticas obtenidas con las dragas meso box-corer.

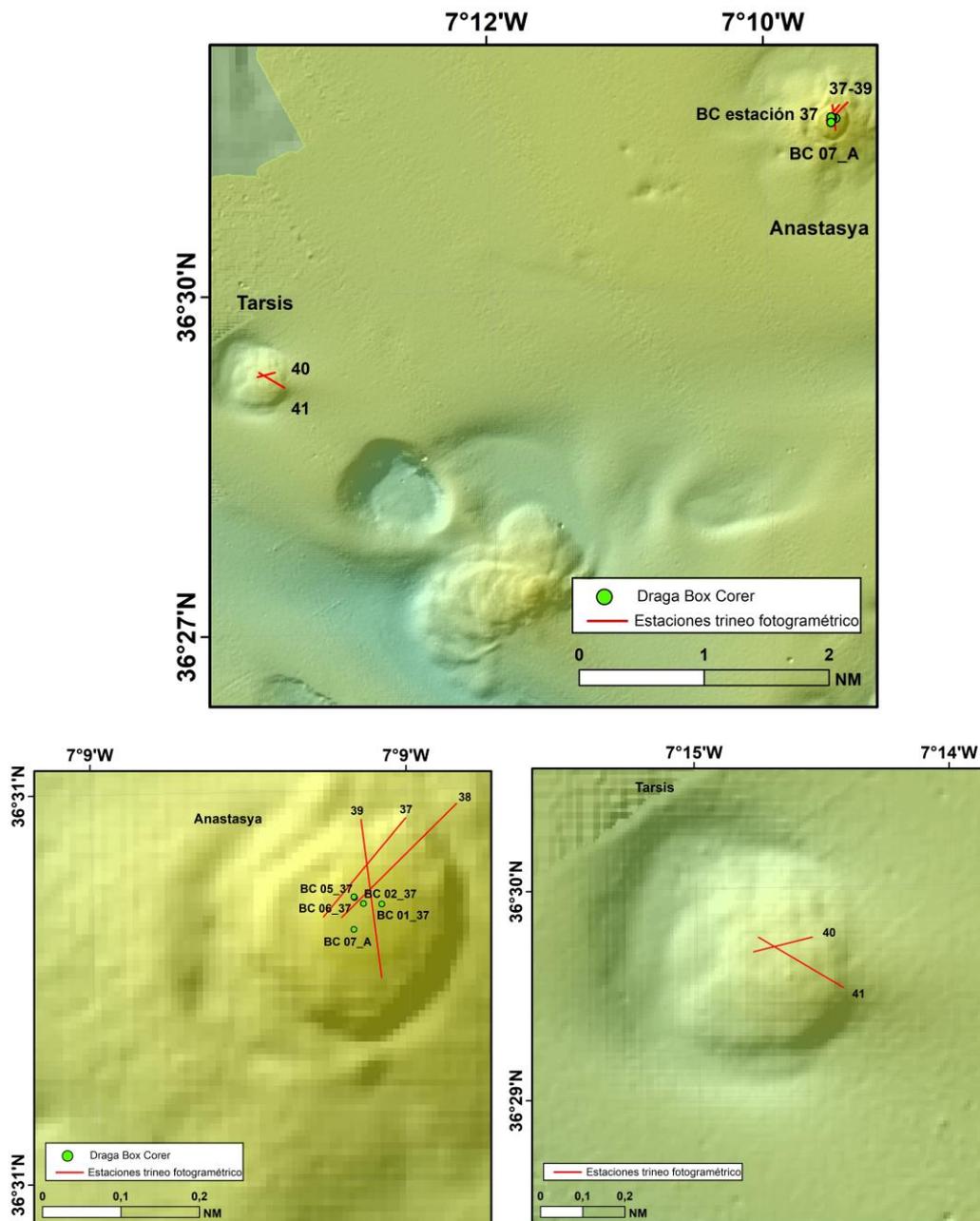


Figura 31. Transectos de imágenes submarinas y muestreos realizados en las cimas de los volcanes de fango Anastasya (izquierda abajo) y Tarsis (derecha abajo).

Para las estimaciones del impacto en el hábitat *Fangos y arenas fangosas batiales con pennatuláceos*, se realizaron muestreos y adquisiciones de imágenes submarinas y datos en el *Campo Somero*, ya que es donde se produce un mayor solapamiento entre la actividad de arrastre de fondo y los hábitats de interés para la conservación. Para la selección de los puntos de muestreo se tuvo en cuenta el esfuerzo pesquero durante la serie histórica 2009-2019 con el fin de explorar la influencia de la actividad de arrastre en el fondo marino, con los hábitats y su comunidad epifaunal y endofaunal. Para el

estudio de la actividad de arrastre, se seleccionaron 4 polígonos (uno de ellos de reserva), y dentro de cada polígono se establecieron 3 zonas con diferentes grados de actividad de arrastre donde se establecieron 3 estaciones de muestreo.

En cada estación de muestreo generalmente se realizó un transecto con el trineo fotogramétrico (o al menos dentro de cada zona con diferente intensidad de arrastre de fondo), y posteriormente se efectuaban los muestreos puntuales (shipek) y lineales (beam-trawl) con el fin de minimizar el impacto del fondo antes de la toma de imágenes (Fig. 32). Al igual que con la toma de imágenes submarinas, con estas técnicas de muestreo invasivas finalmente se obtenían 3 réplicas dentro de cada zona de un mismo polígono con diferente intensidad pesquera. La adquisición de las muestras y los transectos de imágenes submarinas se realizaron durante el día, y por la tarde-noche se adquiría información del fondo marino mediante otros métodos no invasivos como es la adquisición de datos acústicos a muy alta resolución. Los barridos con la ecosonda multihaz y la sonda paramétrica TOPAS se realizaron en los polígonos que contenían zonas con diferente actividad pesquera con el objetivo de detectar cambios en el fondo marino a partir de la reflectividad y la irregularidad del relieve, que pudiesen estar vinculados con la actividad de arrastre.

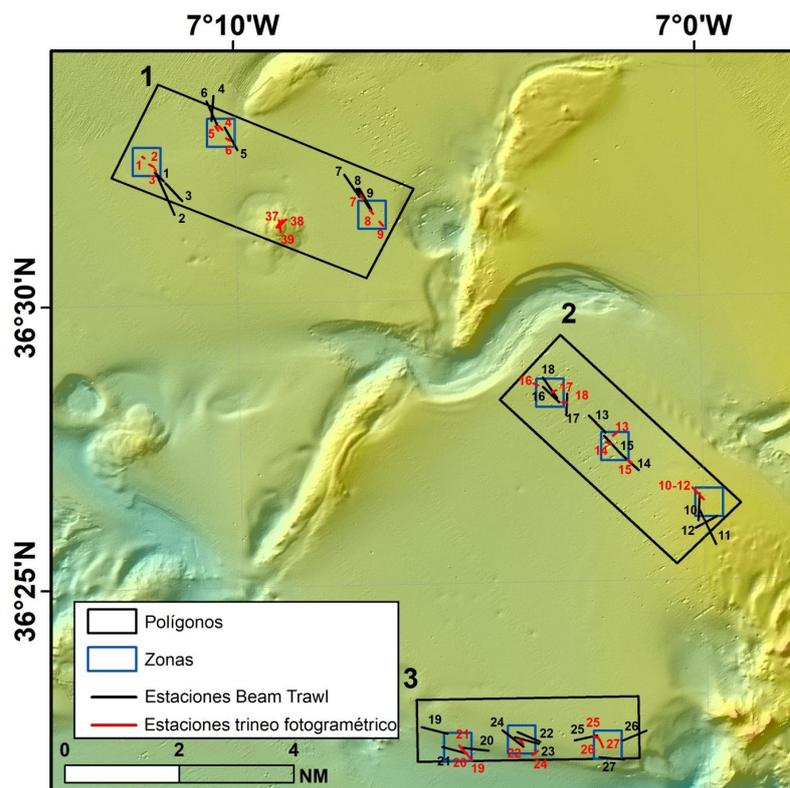


Figura 32. Localización de polígonos y zonas muestreadas, así como de los transectos realizados con el trineo fotogramétrico HORUS y los muestreos con beam-trawl en los mismos polígonos con un gradiente de actividad de arrastre (serie histórica 2010-2019). Las coordenadas de los transectos y muestreos con el beam-trawl se muestran en las Tablas B y C del Anexo I de Rueda et al. (2022a).

El procesado de las imágenes submarinas y las muestras de beam-trawl se hizo siguiendo el protocolo mencionado en el apartado 3.3. *Muestreo* del presente informe.

3.5. Análisis de datos

3.5.1. Indicadores ecológicos y de sensibilidad

Para la caracterización de los hábitats y comunidades biológicas asociadas a zonas con diferente grado de actividad de arrastre se obtuvieron los siguientes índices ecológicos en cada uno de los transectos y muestras de beam-trawl mediante el *Software* PRIMER 6: (1) Riqueza específica (S): número de filos, familias, géneros o especies de cada muestra; (2) Abundancia (N): número de individuos o colonias observadas de una especie y/o OTU, familia o filo de cada muestra; (3) Índice de Shannon-Wiener (H') (Krebs, 1989): parámetro que analiza la estructura de la comunidad con relación al número de especies y sus abundancias, variando el índice entre 0 (baja riqueza específica y/o equirrepartición) y valores positivos (alta riqueza específica y/o equirrepartición); (4) Índice de equirrepartición o equitatividad (J) (Pielou, 1969): calcula la proporción de la diversidad observada en base a la mayor diversidad esperada, y proporciona valores entre 0 (especies con abundancia muy dispar) y 1 (abundancia similar entre las especies).

Para el estudio de la sensibilidad al arrastre de fondo se usó el Índice de sensibilidad al arrastre de fondo o índice BESITO (*Bentos Sensitivity Index to Trawling Operations*) (González-Irusta et al., 2018). Ello se realizó para estimar la sensibilidad de las comunidades a la pesca de arrastre de fondo en función de la estructura y complejidad de las especies presentes en zonas con diferentes grados de actividad de arrastre. Para ello se elaboraron matrices, una para las imágenes submarinas y otra para las muestras de beam-trawl, y para cada OTU y taxón se establecieron categorías de diferentes características biológicas (*Biological traits*) (Tabla 3), en los que se tenía en cuenta el tamaño, la longevidad, la movilidad, la fijación, la posición bentónica, la flexibilidad, la fragilidad y la alimentación, con una puntuación en base a diferentes categorías dentro de cada característica biológica. El índice asigna valores que van de 1 (menor sensibilidad) a 5 (mayor sensibilidad) a cada especie combinando los 8 rasgos biológicos que reflejan tanto la resistencia como la capacidad de recuperación de las especies. Las especies más sensibles (grupo 5) eran generalmente sésiles, permanentemente adheridas, emergentes (> 20 cm), longevas (> 11 años) con tamaños medianos o grandes (>11 cm), que se alimentan por filtración-suspensión-depósito, mayoritariamente desprotegidas y con poca o ninguna flexibilidad. Las especies menos sensibles (grupo 1) fueron las especies móviles que se arrastran y/o nadan activamente cerca de la superficie, mayoritariamente carnívoras y/o carroñeras

con longevidades inferiores a 10 años y tallas medianas y pequeñas (< 10 cm). Las especies con sensibilidades intermedias mostraron patrones de rasgos intermedios entre los dos grupos descritos anteriormente. La información sobre las características o rasgos funcionales de cada especie se recopiló a partir de bases de datos específicas en línea (MarLIN, 2006; WoRMS Editorial Board, 2020), artículos científicos y literatura gris, así como a partir de la opinión de expertos (cuando no se disponía de ninguna otra fuente de información relevante, la información se dedujo de especies estrechamente relacionadas o de taxones superiores).

Finalmente se aplicó en cada set de datos la siguiente formula (González-Irusta et al., 2018):

$$\text{BESITO (Bi)} = ((2 \times \text{BT}_1 + 3 \times \text{BT}_2 + \text{BT}_3 + \text{BT}_4 + \text{BT}_5 + \text{BT}_6 + 2 \times \text{BT}_7 + 2 \times \text{BT}_8) / 6,6) - 2.$$

Donde BT_1 significa tamaño máximo, BT_2 longevidad, BT_3 movilidad, BT_4 fijación al sustrato, BT_5 posición bentónica, BT_6 flexibilidad, BT_7 fragilidad y BT_8 modo de alimentación y una vez que se le designó un valor a cada especie, se calculó la sensibilidad de cada muestra mediante la fórmula:

$$\text{Sensitivity} = \sum \text{Ni} \times \text{Bi} / \text{Ntotal}$$

Donde Ni es el número de individuos/colonias de la especie, Bi la sensibilidad que se le asignó a cada especie y Ntotal es el total de individuos/colonias de la muestra.

La distribución de la sensibilidad de cada hábitat bentónico presente en el LIC se tomó de Rueda et al. (2022b) mediante una combinación de la sensibilidad de todas las especies de megafauna epibentónica que componen el componente biológico de cada hábitat tal y como se describe en los párrafos anteriores (Fig. 33). También se calculó la sensibilidad conjunta de cada muestra y cada transecto usando la misma metodología y los datos obtenidos se compararon en relación a la actividad de arrastre de fondo.

Tabla 3. Características biológicas usadas en el cálculo del índice BESITO para estimar la sensibilidad al arrastre de fondo de las comunidades bentónicas en cada transecto de imágenes submarinas y muestras de beam-trawl (Modificado de González-Irusta et al., 2018).

TRAIT	Score	CRITERIO	TRAIT	Score	CRITERIO
TAMAÑO MÁXIMO	1	Pequeño (<2 cm)	FORMA CORPORAL	1	Aplanado (dorsal y lateralmente)
	2	Mediano (2-10 cm)		2	Globular
	3	Mediano-Grande (11-50 cm)		3	Erecto, pedunculado y arborescente
	4	Grande (>50 cm)		4	Erecto con ramificación en un único plano
LONGEVIDAD	1	<5 años	FIJACIÓN AL SUSTRATO	1	No (sésil)
	2	5-10 años		2	No (ocasionalmente reptante)
	3	11-50 años		3	Temporal
	4	>50 años		4	Permanente
MOVILIDAD	1	Nadador	FRAGILIDAD	1	Concha dura
	2	Reptante		2	Cuerpo duro
	3	Excavador y reptante ocasional		3	Sin protección
	4	Sésil		4	Concha frágil
POSICIÓN BENTÓNICA	1	Galería o excavación	FLEXIBILIDAD	1	Alta (>45°)
	3	Superficie		3	Baja (10-45°)
	4	Emergente (>20 cm)		4	Ninguna (<10°)
MODO DE ALIMENTACIÓN	1	Carroñero y/o carnívoro			
	2	Depredador, omnívoro			
	3	Depositívoro y/o suspensívoro			
	4	Filtrador			

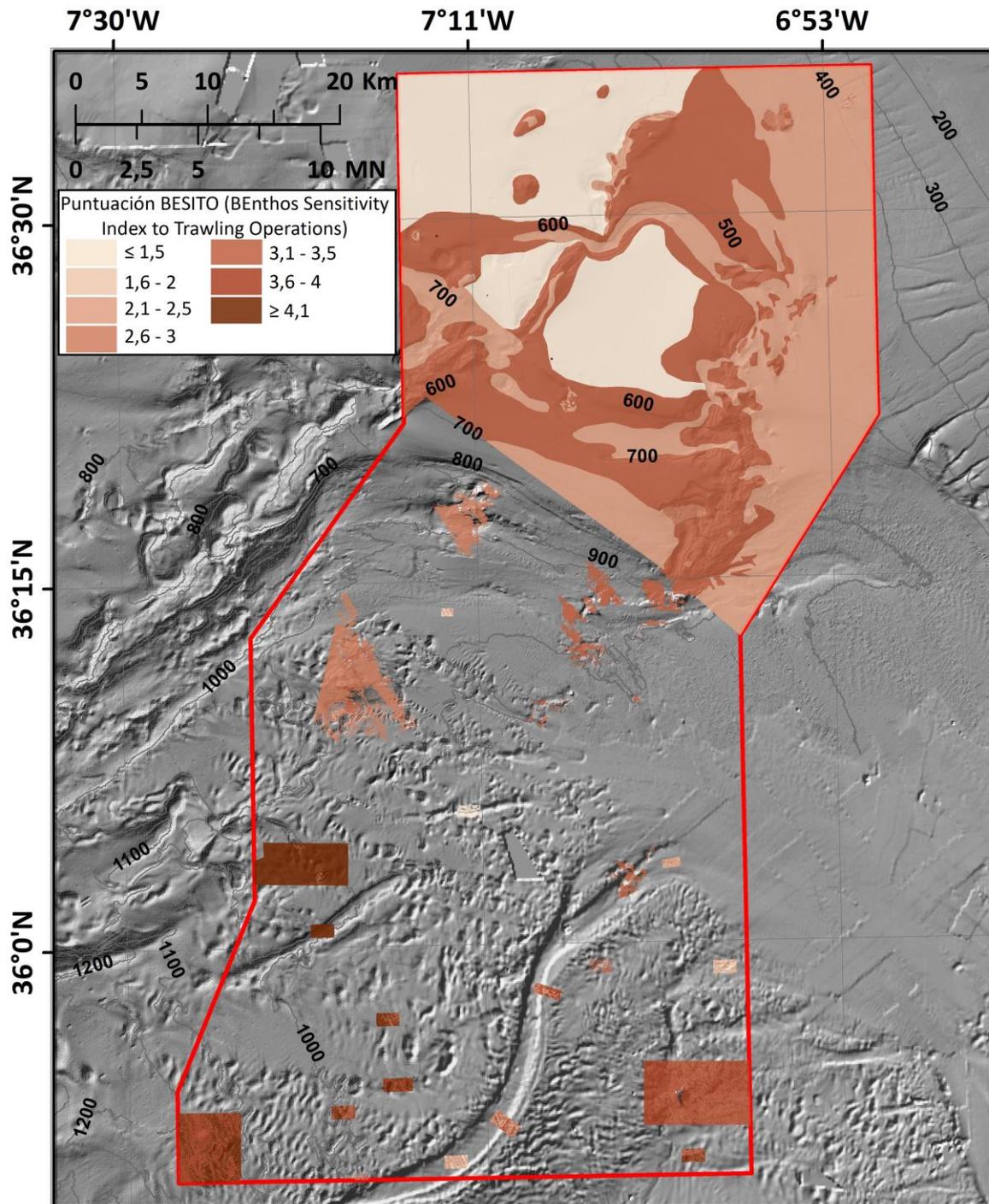


Figura 33. Distribución de la sensibilidad al arrastre (basada en el índice BESITO) en los diferentes hábitats del LIC "Volcanes de fango del golfo de Cádiz" en base a muestras de beam-trawl. Zonas sin coloración representan hábitats en los que no se ha podido obtener ese índice. Más información en Rueda et al. (2022b).

3.5.2. Análisis de datos para la caracterización de los hábitats en caladeros de pesca (Transectos de imágenes submarinas de las campañas ISUNEPCA)

Para el estudio multivariante de la similitud de datos estandarizados procedentes de imágenes submarinas de las campañas ISUNEPCA, se aplicó el índice de similitud de Bray-Curtis (Bray & Curtis, 1957) sin transformación de los datos, obteniéndose semimatrices de similitud entre los transectos de imágenes para comparar cada transecto con los demás teniendo en cuenta la abundancia y composición faunística encontrada en cada uno de ellos. Posteriormente se clasificaron los datos de transectos mediante un Cluster (UPGMA) y se aplicó el test de SIMPROF a una probabilidad de 0,05, con el fin de buscar una significación estadística para la agrupación de diferentes transectos. Las agrupaciones obtenidas con el SIMPROF fueron interpretadas como diferentes asociaciones faunísticas resultantes del procesado de transectos de imágenes y presentes en los caladeros donde faena la flota de arrastre de fondo. También se realizó un método de ordenación, el nMDS (*Non-metric Multi-Dimensional Scaling*), en el que se contrastaron las agrupaciones de transectos a nivel espacial. En este caso la distancia entre dos puntos indicaba el grado de similitud entre ellos y el coeficiente de estrés indica el ajuste basado en la regresión entre la distancia de dos elementos y la similitud entre ambos y, generalmente, para valores menores a 0,1 la ordenación es muy fiable, menores a 0,2 la ordenación es fiable, pero convendría revisar con otros análisis y mayores de 0,3 no es fiable (Clarke & Warwick, 1998). Tanto el cluster como el nMDS se compararon con el factor más explicativo de la clasificación y ordenación de las muestras.

Algunos factores se establecieron para comparar los diferentes transectos a través de una prueba de tipo multivariante como el ANOSIM, midiendo y comparando así el rango de similitud media de las diferentes muestras con respecto al factor de comparación, dando como resultado un valor de R_{ANOSIM} acotado entre 0 (poca diferencia entre los grupos) y 1 (altas diferencias entre los grupos) (Clarke & Green 1988). Los factores seleccionados *a priori* se categorizaron usando los cortes naturales (Jenks) donde los valores similares se agrupan mejor y se maximizan las diferencias entre clases. Los factores seleccionados fueron (1) profundidad media de cada transecto (≤ 538 m, 538-568 m, ≥ 568 m), (2) la salinidad estableciendo dos categorías ($\leq 36,55$ psu y $\geq 36,56$ psu); (3) la temperatura ($\leq 13,44$ °C y $\geq 13,45$ °C); (4) la velocidad de la corriente próxima al fondo (baja $\leq 0,1$ m s⁻¹; media 0,11-0,17 m s⁻¹; alta $> 0,18$ m s⁻¹) y (5) la actividad de arrastre basada en marcas de arrastre por 100 m² y la basada en los datos de SSB-VMS (nula o horas de arrastre por km²; baja < 10 ; media 11-30 horas; alta > 31 horas). Finalmente, se realizó el análisis SIMPER (*SIMilarity PERcentage*) con el objetivo de conocer la contribución de las especies a la similitud dentro de los grupos (interpretados como diferentes comunidades de megafauna) y la

disimilitud entre los diferentes grupos con respecto a los factores que mostraban las mayores diferencias entre los grupos de muestras (valores altos de R_{ANOSIM}). Todos estos análisis multivariantes se llevaron a cabo con el programa PRIMER 6 (*Plymouth Routines In Multivariate Ecological Research*) del *Plymouth Marine Laboratory, UK*.

Mediante el *software* SPSS v.22 se realizaron pruebas estadísticas para conocer si existían diferencias significativas en los índices ecológicos en relación a los diferentes grupos de transectos de imágenes submarinas (interpretados como diferentes comunidades) y a los diferentes factores, fundamentalmente aquellos que mostraron mayor significación en los análisis multivariantes. Para ello, inicialmente se hizo un análisis de Kolmogorov-Smirnoff en el cual se detectó que los datos de los índices ecológicos no se ajustaban a una distribución normal, por lo que se decidió realizar pruebas no paramétricas como Kruskal Wallis y la U de Mann-Whitney.

Por último, para analizar las relaciones de algunas variables ambientales y de la actividad de arrastre con los datos de abundancia de los OTUs, se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) utilizando el *software* PRIMER-6. Los datos ambientales, expresados en valores absolutos, se normalizaron mediante $(x - Media)/Desviación\ estándar$. A continuación, se analizó si era necesario eliminar una de aquellas que presentaban una correlación superior a 0,8 (tras el análisis de correlación de Spearman). En este caso, ninguna variable mostró una alta correlación. A continuación, se utilizó el ACP para determinar y contrastar las variables consideradas que explicaban la mayor parte de la varianza de los datos de abundancia ($p < 0,05$).

3.5.3. Análisis de datos para la estimación del impacto del arrastre de fondo sobre los hábitats (Transectos de imágenes submarinas, campaña INTEMARES A4 CAD)

El estudio de la estimación del impacto de la pesca de arrastre de fondo se hizo con las matrices estandarizadas de abundancia de OTUs y taxones resultantes del análisis de los transectos de imágenes submarinas y de las muestras de beam-trawl de la campaña INTEMARES A4 CAD. Se crearon en Excel matrices y, en ellas, se ordenaron las muestras por columnas y los OTUs/taxones por filas, y se eliminaron los datos de abundancia de aquellas especies que eran pelágicas o con muy poca vinculación al fondo marino, por tanto, priorizándose en aquellos OTUs/taxones con alta vinculación al fondo marino. Además, se elaboraron otras dos matrices con los factores de agrupación que contenían datos de:

- Profundidad (del trineo y del beam-trawl), con las siguientes categorías: (1) baja profundidad, para valores menores de 500 metros, (2) media para valores entre 500

y 550 metros, (3) alta para los valores entre 550 y 600m de profundidad, (4) muy alta para valores superiores a 600m.

- Temperatura (de la zona muestreada) que contenía solo dos categorías debido a la similitud de los datos: (1) mayor, para valores mayores a 13,2 °C, (2) menor, para valores menores a 13,2 °C.

- Salinidad (de la zona muestreada), que contenía solo dos categorías debido a la similitud de los datos: (1) mayor, para una salinidad mayor de 36,5 PSU, (2) menor, para valores por debajo de 36,5 PSU.

- Velocidad de corriente próxima al fondo (de la zona muestreada), que contenía tres categorías: (1) baja, para velocidades de corriente menores de 0,1 m/s, media, para valores entre 0,1 y 0,2 m/s, y alta para velocidades mayores de 0,2 m/s.

- Sedimento predominante (a partir de la granulometría de la muestra de shipek recolectada en la zona muestreada), detectándose que solo había dos tipos de sedimento en todas las estaciones de muestreo y, por tanto, con 2 categorías: (1) arena fina (generalmente enfangada), y (2) fango.

- Actividad de arrastre basada en marcas de arrastre (marcas de arrastre observadas en cada transecto de imágenes submarinas), y que contenía 3 categorías: (1) baja actividad, entre cero y 5 marcas de arrastre por transecto de imágenes, (2) media, entre 5 y 9 marcas, (3) alta, por encima de 9 marcas.

-Actividad de arrastre basada en SSB-VMS (número de horas de arrastre por km²), con 3 categorías: (1) baja actividad, para valores menores a 10 horas de arrastre por km², (2) media, con valores entre 11 y 30 horas, (3) alta, con valores superiores a 31 horas.

Para el estudio multivariante de la similitud de datos estandarizados procedentes de imágenes submarinas y muestras de beam-trawl, se aplicó el índice de similitud de Bray-Curtis (Bray & Curtis, 1957) obteniéndose semimatrices de similitud entre las estaciones de muestreo. Posteriormente se clasificaron los datos de transectos y muestras mediante un Cluster (UPGMA) y se aplicó el test de SIMPROF a una probabilidad de 0,05 en la matriz de imágenes submarinas y a una probabilidad de 0,01 en la matriz de beam-trawl, con el fin de buscar una significación estadística para la agrupación de grupos que se encuentran en distintos lugares. Las agrupaciones obtenidas con el SIMPROF fueron interpretadas como diferentes asociaciones bentónicas y demersales resultantes del procesado de transectos de imágenes y de lances de beam-trawl. También se realizó un método de ordenación, el nMDS (*Non-*

metric Multi-Dimensional Scaling), en el que se contrastaron las agrupaciones de transectos y muestras a nivel espacial. Tanto el cluster como el nMDS se contrastó con el factor más explicativo de la clasificación y ordenación de las muestras, y las gráficas se eligieron para mostrar el efecto de dicho factor.

Los factores mencionados anteriormente se usaron para comparar los diferentes transectos y muestras a través de una prueba de tipo multivariante como el ANOSIM, midiendo y comparando así el rango de similitud media de las diferentes muestras con respecto al factor de comparación, dando como resultado un valor de R_{ANOSIM} acotado entre 0 (poca diferencia entre los grupos) y 1 (altas diferencias entre los grupos) (Clarke & Green 1988). También se realizó el análisis SIMPER (*Similarity Percentage*) con el objetivo de conocer la contribución de las especies a la similitud dentro de los grupos y la disimilitud entre los diferentes grupos con respecto a los factores que mostraban las mayores diferencias entre los grupos de muestras (valores altos de R_{ANOSIM}).

Para el análisis de las tallas de las especies constructoras de hábitats dominantes (fundamentalmente los pennatuláceos *Kophobelemnion stelliferum* y *Funiculina quadrangularis*) se analizaron los datos de beam-trawl por separado para cada especie y para cada categoría de actividad pesquera en base a marcas de arrastre de las imágenes submarinas y los datos de VMS-SSB, como factores categóricos.

Mediante el *software* SPSS v.22 se realizaron pruebas estadísticas para conocer si existían diferencias significativas en los índices ecológicos en relación a diferentes factores, fundamentalmente aquellos que mostraron mayor significación en los análisis multivariantes, por lo que inicialmente se hizo un análisis de Kolmogorov-Smirnoff en el cual se detectó que los datos de los índices ecológicos no se ajustaban a una distribución normal, por lo que se decidió realizar pruebas no paramétricas como Kruskal Wallis y la U de Mann-Whitney. Este mismo tipo de pruebas se usaron para comparar los valores de abundancia de las colonias de *K. stelliferum* y *F. quadrangularis* con relación a la actividad de arrastre de fondo. Para el estudio comparativo de las tallas de las colonias de *K. stelliferum* y *F. quadrangularis* se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnoff de comparación de diferentes distribuciones de datos, en este caso las tallas de cada especie en relación con la actividad de arrastre de fondo.

3.5.4. Análisis de datos para la estimación de la perturbación debida a la pesca de arrastre de fondo

Para este componente del estudio se siguió la metodología descrita por Elliot et al. (2018) y que recientemente ha sido aplicada al LIC “*Sur de Almería-Seco de los Olivos*” por de la Torriente et al. (2022). En ambos trabajos se menciona que dicha perturbación ha sido interpretada como la acción física del arte de arrastre sobre las comunidades bentónicas. Para el cálculo de la perturbación se usaron los mapas de sensibilidad de los hábitats tomados de Rueda et al. (2022b) y un mapa de la actividad de arrastre de fondo promediada del periodo 2015-2019. Se siguió el esquema de trabajo propuesto por de la Torriente et al. (2022) para el cálculo de una matriz de perturbación que categorizaba las celdas de la cuadrícula en 9 niveles diferentes de perturbación (Figura 33).

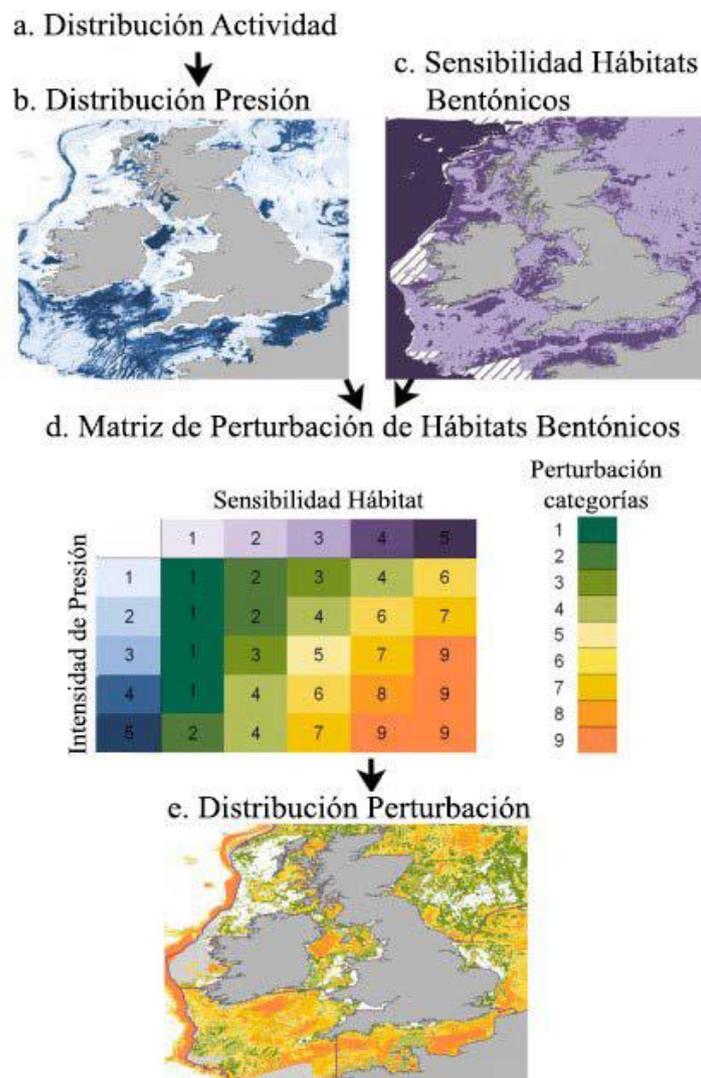


Figura 33. Esquema original de Elliot et al. (2018), adaptado por de la Torriente et al. (2022), para el cálculo de la perturbación derivada de una presión (ej. pesca arrastre de fondo).

La perturbación (D) se obtuvo en cada una de las celdas mediante la fórmula:

$$D=b+ab/b$$

Donde b es la sensibilidad del hábitat en esa celda y a es la presión ejercida sobre el mismo en esa celda. Mediante una ponderación de los valores, Elliot et al. (2018) mostró que los hábitats bentónicos poco sensibles estaban menos afectados por la presión mientras que los hábitats bentónicos altamente sensibles estaban más afectados por la presión. Finalmente se calcularon siete niveles distintos de perturbación debida a la pesca de arrastre de fondo y la distribución obtenida se superpuso a la distribución de los hábitats, con el fin de evaluar la extensión de la zona de cada hábitat perturbada por las actividades pesqueras.

4. Resultados

4.1. Distribución del hábitat objeto de estudio

La distribución de los hábitats que se han considerado para el presente estudio provienen del cartografiado realizado por Rueda et al. (2022b), que incluye todos los hábitats presentes en el Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) “*Volcanes de fango del golfo de Cádiz*” (Figs. 34 & 35).

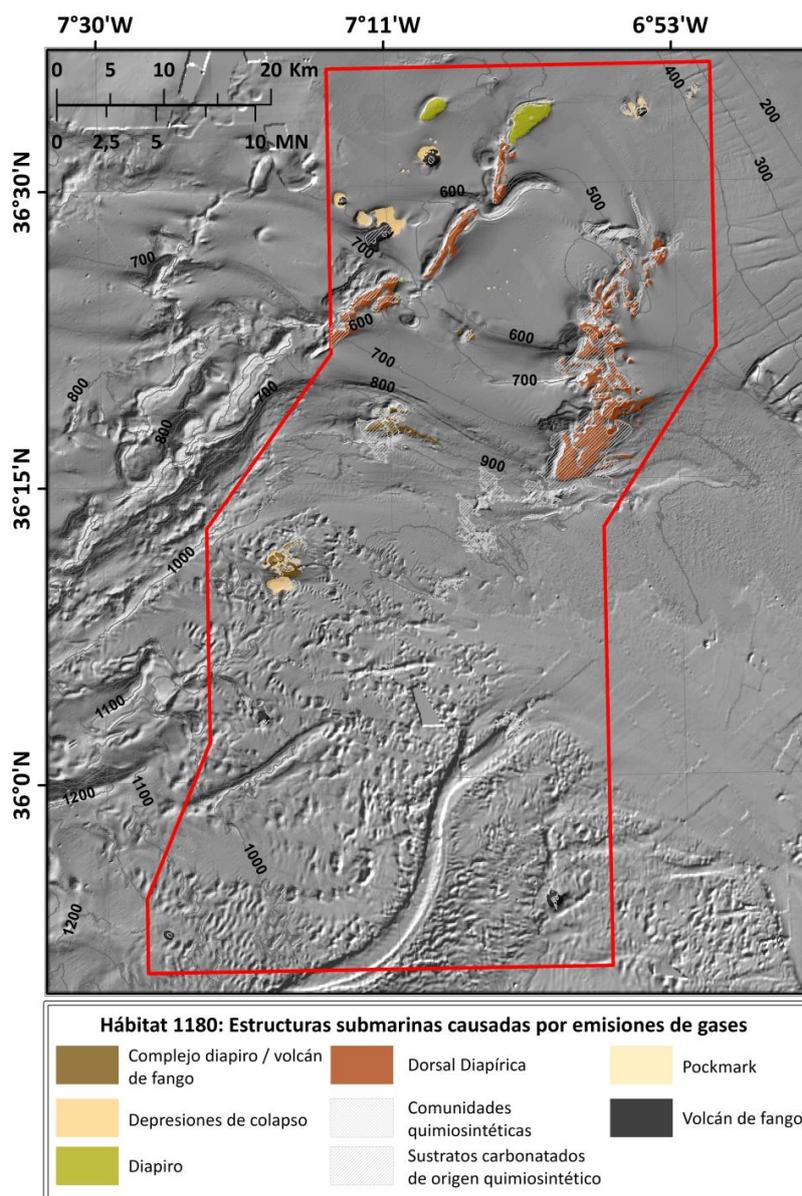


Figura 34. Distribución de los hábitats vinculados al Hábitat 1180 “*Estructuras submarinas causadas por emisiones de gases*” de la Directiva Hábitat en el LIC “*Volcanes de fango del golfo de Cádiz*”. En ANEXO de Rueda et al. (2022b) se adjuntan mapas a mayor resolución del *Campo Somero* y *Campo Profundo de Expulsión de Fluidos* del LIC.

Sin embargo en este caso sólo se han considerado los hábitats del *Campo Somero*. Algunos datos sobre su distribución se han ofrecido en el apartado 3.1. Hábitats y especies objeto de estudio.

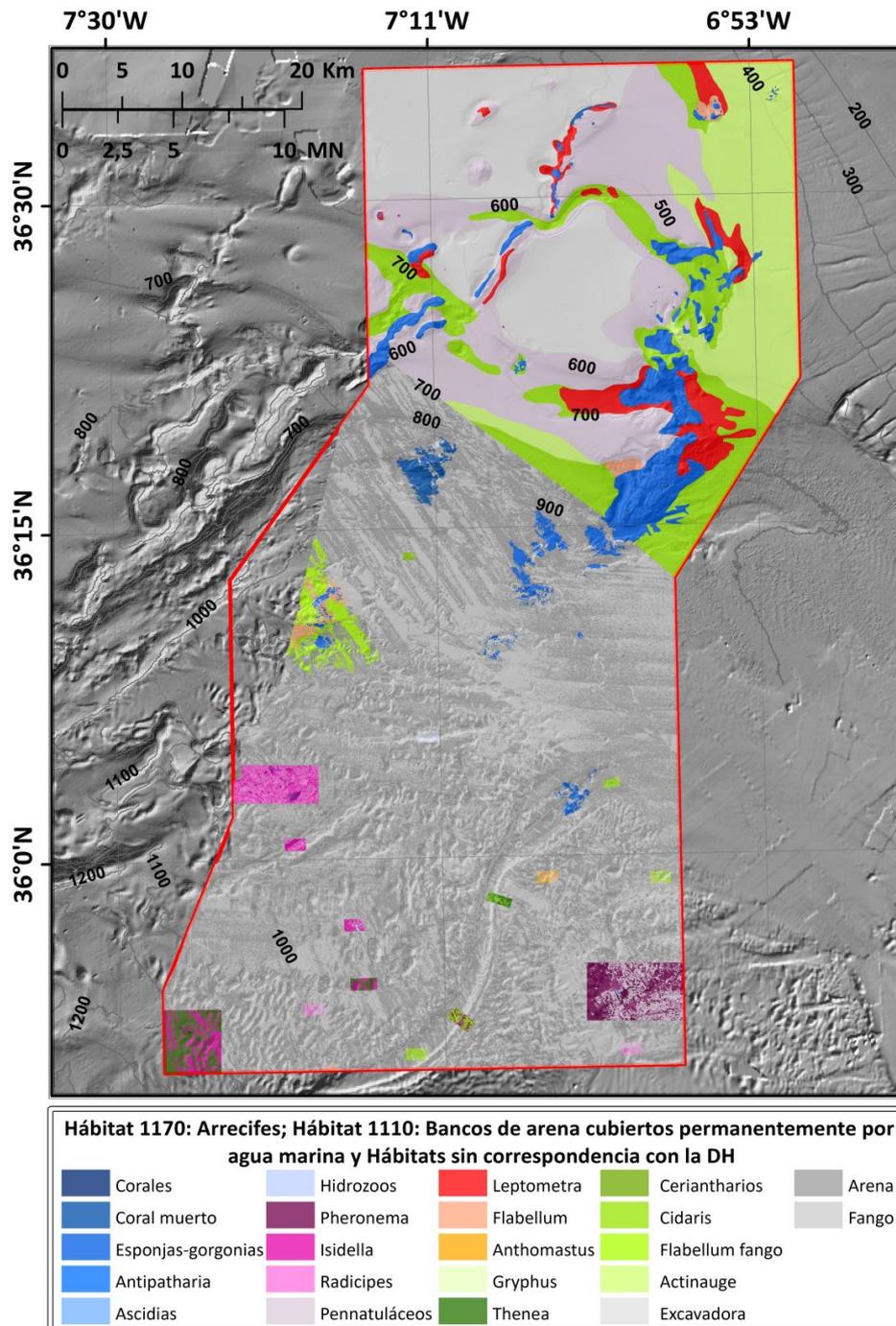


Figura 35. Distribución de los hábitats 1170, 1110 y los que no tienen correspondencia con directivas ni convenios en el LIC "Volcanes de fango del golfo de Cádiz". En ANEXO de Rueda et al. (2022b) se adjuntan mapas a mayor resolución del *Campo Somero* y *Campo Profundo de Expulsión de Fluidos* del LIC.

4.2. Presión pesquera

4.2.1. Estimaciones basadas en datos de Sistemas de Seguimiento de Buques (SSB-VMS)

4.2.1.1. Distribución espacial y tendencias temporales de la actividad de arrastre de fondo

Se han contabilizado alrededor de 50 buques arrastreros en el *Campo Somero* siendo, aproximadamente, el 75% de estos barcos procedentes de algunos puertos de la provincia de Huelva, principalmente Isla Cristina, Ayamonte, Huelva-Lepe y Punta Umbría (Tabla 4). El resto de la flota procedía de puertos de la provincia de Cádiz, principalmente Sanlúcar de Barrameda y Puerto de Santa María. Todas estos arrastreros presentaban la potencia, el tonelaje de registro bruto (TRB) y la eslora adecuados para faenar en alta mar (Tabla 4). Los arrastreros realizaron, en su mayoría, menos de 25 mareas en 2011 (53%) y sólo el 25% de los buques (todos de Huelva) efectuaron más de 50 mareas (Tabla 4).

Tabla 4. Número de arrastreros que faenan en el LIC "*Volcanes de fango del golfo de Cádiz*", donde se indica la potencia media, el Tonelaje de Registro Bruto (TRB, unidades TB), la eslora del buque (Longitud, metros) y el número de buques en relación con los puertos de origen de la provincia de Cádiz (Ca) y de la provincia de Huelva (Hu) (González-García et al., 2020a).

Puerto	Número arrastreros	Potencia	TRB	Eslora	Número de	Número de	Número de
					arrastreros ≤ 25 mareas	arrastreros 26-50 mareas	arrastreros ≥ 51 mareas
Ayamonte (Hu)	8	314,4	45,3	21,5	4	1	3
Huelva-Lepe (Hu)	8	273,3	38,7	20,6	5	1	2
Isla Cristina (Hu)	15	300,4	46,8	22,8	5	4	6
Punta Umbría (Hu)	7	216,2	32,3	19,2	2	3	2
Puerto de Santa María (Ca)	3	157	33,1	15,5	3	0	0
Sanlúcar de Barrameda (Ca)	10	195,5	33,3	18,8	8	2	0

La actividad de arrastre de fondo (número de horas de arrastre de todos los buques por km²) mostró una disminución de la intensidad desde la zona menos profunda (plataforma) hacia el *Campo Somero*, localizado dentro del LIC (Fig. 36). En el *Campo Somero*, la actividad de arrastre suele ser escasa en torno al Volcán de fango (VF) Gazul (profundidades entre 400-500 m), en la Dorsal Diapírica de Cádiz, en complejo diapiro-volcán de fango (DVF) Chica y en el VF de Pipoca (ambas en la zona del Canal de Huelva). Además, la actividad de arrastre generalmente es prácticamente nula por debajo de los 700 m de profundidad. Sin embargo, dicha actividad suele ser alta en profundidades entre los 500-600 m, alrededor del VF Anastasya, a ambos lados de la

Dorsal Diapírica del Guadalquivir, en el área conocida como el “*Triángulo*”, la cual está localizada entre los VF de Anastasya, Pipoca y Tarsis y en la Zona Externa (Fig. 36). Se detectó una alta correlación entre los datos de actividad de arrastre basados en horas de arrastre con los de superficie arrastrada ($Rho\ Spearman = 0,865, p < 0,01$). Además se detectó una relación negativa significativa de la actividad de arrastre con la profundidad ($Rho\ Spearman = -0,485, p < 0,01$) y la velocidad de la corriente ($Rho\ Spearman = -0,24, p < 0,05$). En general, la actividad de arrastre de fondo en el LIC es mucho menor que la que se detecta en la plataforma y, por lo general, la mayor actividad se da en zonas aplaceradas, con sedimentos finos y con bajo hidrodinamismo (González-García et al., 2020a, 2022). Por el contrario, las zonas con menor actividad de arrastre de fondo son zonas profundas, así como las zonas abruptas y con desniveles acusados (tanto elevaciones como canales), con substratos compuestos de arenas gruesas, gravas y rocas y con un alto hidrodinamismo (González-García et al., 2020a, 2022). Además, este patrón de distribución espacial de la actividad de arrastre de fondo es bastante similar a lo largo de diferentes años y, las zonas con alta actividad de arrastre son zonas caracterizadas con altas capturas de especies comerciales y alto rendimiento (González-García et al., 2022) (*Ver mapas de actividad de arrastre para diferentes años en ANEXO*).

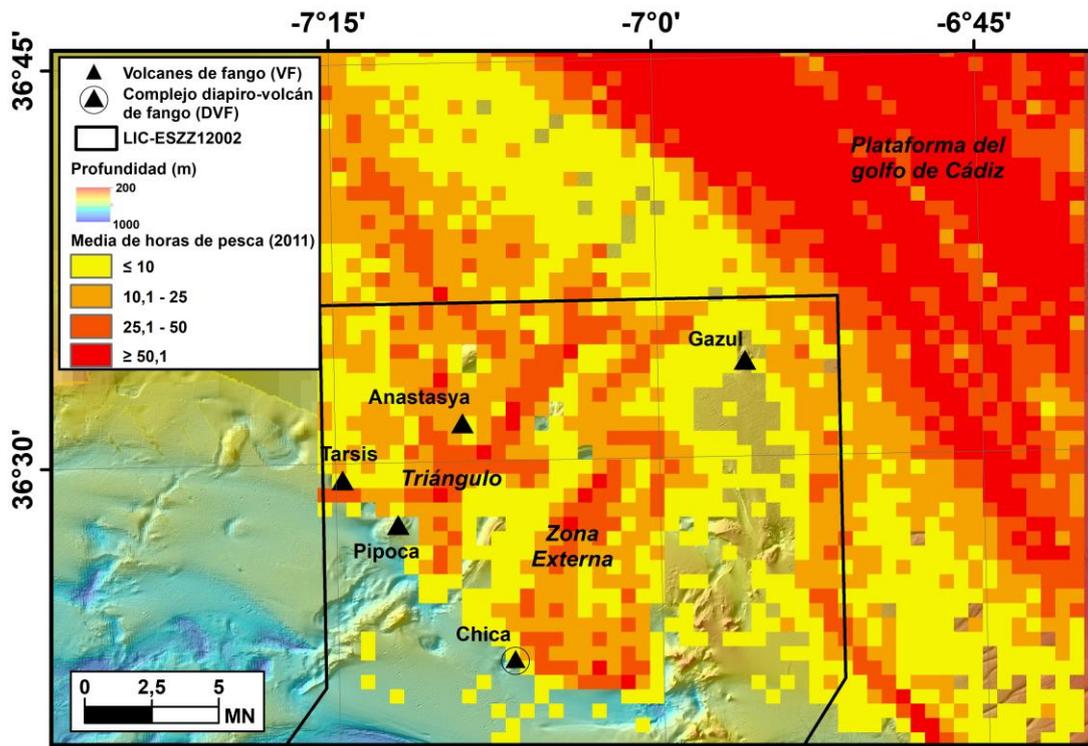


Figura 36. Distribución espacial de la actividad de arrastre de fondo (número de horas de arrastre) por celdas de km^2 en la plataforma del norte del golfo de Cádiz y en el *Campo Somero* durante 2011 (González-García et al., 2020a). La celda sin color indica que no se detectó arrastre en esa celda.

Durante una serie temporal de estudio (2007-2012), la actividad de arrastre de fondo registró una disminución espacial de la intensidad desde la plataforma continental hacia el talud, donde se encuentra el *Campo Somero* del LIC (Figura 37). En general, un promedio de 51 buques arrastreros faenaron en el *Campo Somero* del LIC. El número de arrastreros dentro de los diferentes sectores propuestos para la regulación pesquera fue, generalmente, menor que fuera de los sectores siendo, a lo largo de la serie, el sector de Gazul donde se mostró un bajo número de arrastreros (un promedio de 2-3 arrastreros durante 2007-2012), en contraste con el sector de Anastasya donde se detectó un alto número de buques de arrastre (un promedio de 28 arrastreros) (Tabla 5).

Tabla 5. Actividad de arrastre de fondo (esfuerzo, horas anuales), incluyendo el número de buques arrastreros y horas totales de arrastre de fondo de todos los arrastreros por año en el LIC "Volcanes de fango del golfo de Cádiz" y en los diferentes sectores propuestos para regulación pesquera de arrastre de fondo por González-García et al. (2022) en relación a la presencia de hábitats vulnerables.

	LIC		Gazul		Cristóbal Colón		Anastasya		Tarsis y Pipoca		Chica	
	Horas	Buques	Horas	Buques	Horas	Buques	Horas	Buques	Horas	Buques	Horas	Buques
2007	4272	42	4	2	137	7	303	21	65	9	13	4
2008	4731	45	6	2	170	12	298	18	43	6	9	2
2009	11587	58	5	3	472	23	633	38	69	7	29	10
2010	7184	55	5	1	331	21	496	29	7	2	20	4
2011	9403	54	13	5	338	22	546	34	293	20	55	9
2012	8782	49	0	0	419	18	340	26	184	12	31	9

Durante la serie histórica, la tendencia espacial de la actividad de arrastre de fondo se mantuvo relativamente constante con una elevada actividad fuera del LIC, principalmente en la plataforma, y también en el talud superior (Fig. 37). En el *Campo Somero* del LIC, la actividad de arrastre de fondo fue especialmente alta en las zonas sedimentarias planas alrededor de la dorsal diapírica del Guadalquivir, afectando principalmente a los sectores de Anastasya y Cristóbal Colón (situado cerca de Anastasya) y, en menor grado, al sector de Tarsis y Pipoca (Fig. 37). La actividad de arrastre fue de baja a muy baja en las dorsales diapíricas del Guadalquivir y Cádiz, en los sectores de Gazul y Chica y a profundidades superiores a 700 m (Fig. 37). El número total de horas de arrastre de fondo en el *Campo Somero* por año fue bajo para 2007 y alto para 2009 y 2012, respectivamente, mostrando un aumento fluctuante en períodos de cada 3 años (Tabla 5). En general, durante la serie temporal, se mostraron un mayor número de horas de arrastre de fondo en los sectores de Anastasya y Cristóbal Colón, especialmente en 2009 y 2012 respectivamente (Tabla 5). En el sector de Tarsis y Pipoca, se registró un número intermedio de horas de arrastre de fondo,

con un aumento en 2011 y 2012 (Tabla 5). Por último, en los sectores de Chica y Gazul el número de horas de arrastre fue generalmente muy bajo durante la serie temporal, con mínimos en 2008 y 2012, respectivamente (Tabla 5).

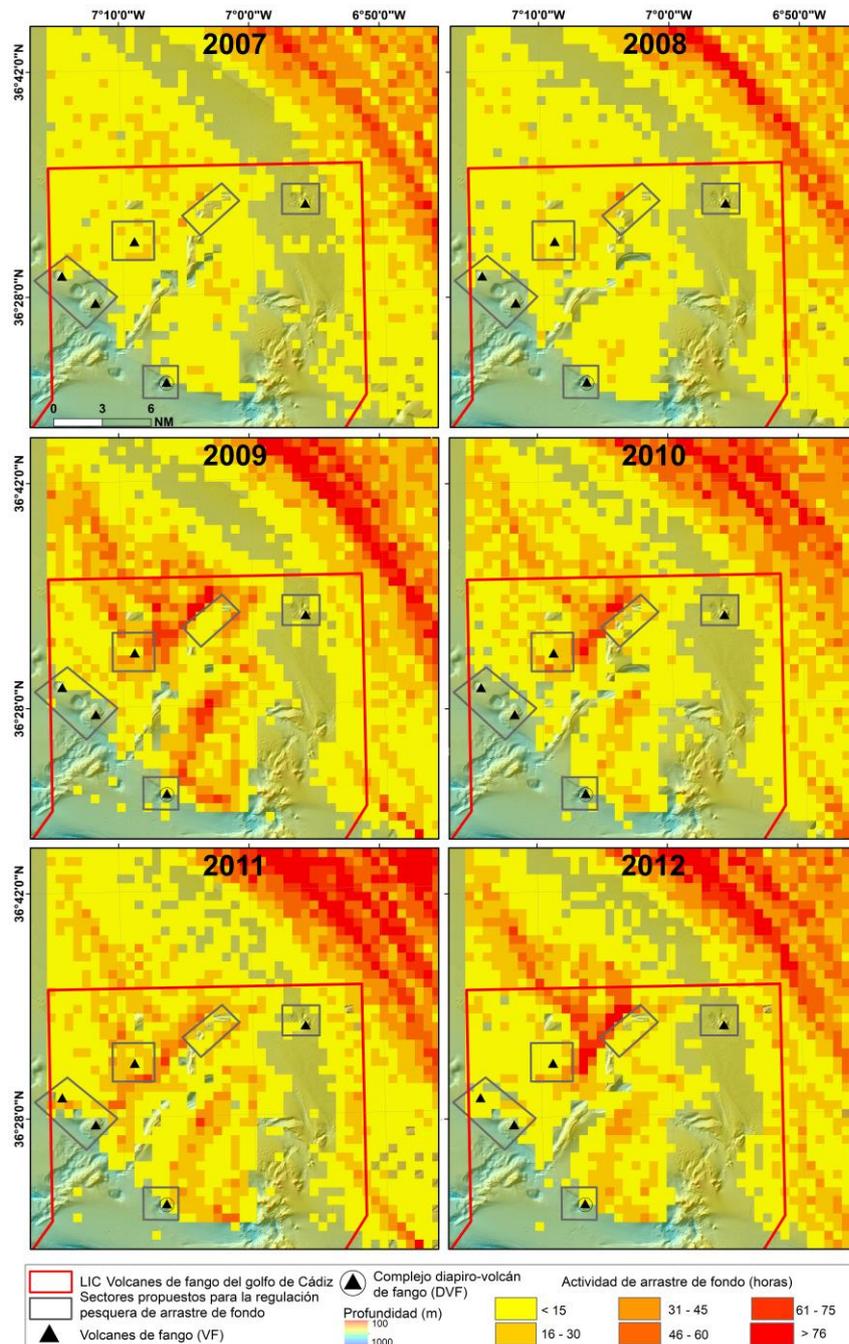


Figura 37. Distribución espacial y evolución temporal de la actividad de arrastre de fondo (esfuerzo, horas anuales) (número total de horas de arrastre de fondo) en celdas de cuadrículas de 1 km² en el *Campo Somero* del LIC, incluyendo los diferentes sectores propuestos para la potencial regulación del arrastre de fondo según estudios previos debido a la presencia de hábitats vulnerables (González-García et al., 2022) y en la plataforma y talud adyacentes del margen español del golfo de Cádiz.

4.2.1.2. Distribución espacial y tendencias temporales de las capturas de las principales especies comerciales e ingresos económicos asociados

Las principales especies comerciales capturadas en la plataforma y talud de aguas españolas del golfo de Cádiz en el 2011, generalmente fueron la gamba blanca *Parapenaeus longirostris* (1661,6 t para 2011, el 48,1% de las capturas de todas las especies capturadas en el GdC), la merluza *Merluccius merluccius* (436,6 t, 12,6%), la cigala *Nephrops norvegicus* (81,7 t, 2,4%) y, como captura accesorias, la bacaladilla *Micromesistius poutassou* (Risso, 1827) (153,5 t, 4,4%) (Tabla 6). En el Campo Somero del LIC, las mayores capturas (desembarcos) correspondieron a *P. longirostris* (112,3 t para 2011, el 6,8% de toda la gamba blanca capturadas en aguas españolas del GdC), *N. norvegicus* (28,1 t, el 34,4%) y *M. merluccius* (20,3 t, el 4,6%), entre una gran variedad de especies (Tabla 6). Las capturas de la mayoría de las especies comerciales dentro del campo de los VF son bajas en comparación con sus capturas en aguas españolas del GdC (generalmente < 10% del total de capturas), con la excepción de *N. norvegicus* que representó alrededor de un tercio de las capturas de esta especie en las aguas españolas del GdC durante 2011.

Tabla 6. Capturas (Toneladas, t) en aguas españolas de la plataforma externa y talud del golfo de Cádiz (GdC) y en el Campo Somero del LIC con los porcentajes (%) de las capturas de las principales especies comerciales en relación a todas las especies capturadas en aguas españolas del GdC durante 2011. También se incluyen estimaciones de los ingresos económicos brutos (k€, miles de euros) de las capturas de las principales especies comerciales en aguas españolas del GdC y en el Campo Somero durante 2011 (González-García et al., 2020a).

Especies comerciales	Capturas en aguas españolas del GdC (t)	% de capturas en relación con todas las especies capturadas en aguas españolas del GdC	Capturas en el Campo Somero (t)	Ingresos brutos de las capturas en aguas españolas del GdC (k€)	Ingresos brutos de las capturas en el Campo Somero (k€)
<i>Parapenaeus longirostris</i>	1661,6	48,1	112,3	12278,92	829,61
<i>Nephrops norvegicus</i>	81,7	2,4	28,1	1068,87	367,62
Otros osteíctios	567,8	16,4	20,7	No disponible	No disponible
<i>Merluccius merluccius</i>	436,6	12,6	20,3	1443,98	67,12
Pulpos	237,5	6,9	1,9	886,08	6,96
Calamares	25,1	0,7	5,0	No disponible	No disponible
Elasmobranquios	71,2	2,1	1,1	124,57	3,84
<i>Lophius</i> spp,	52,6	1,5	5,2	361,16	35,37
<i>Micromesistius poutassou</i>	153,5	4,4	4,0	162,55	4,28
<i>Helicolenus dactylopterus</i>	7,3	0,2	1,4	16,88	3,15
<i>Aristeus antennatus</i> & <i>Aristaeomorpha foliacea</i>	2,4	0,07	0,8	77,83	25,07

En el *Campo Somero*, las mayores capturas de *N. norvegicus* se concentraron generalmente en aquellas zonas donde también se observó una elevada actividad de arrastre, incluyendo el “*Triángulo*”, la Zona Externa y alrededor del VF de Anastasya, entre 400 y 700 m de profundidad (Fig. 38A). Las mayores capturas de *P. longirostris* se registraron en el “*Triángulo*” y en los alrededores del VF de Anastasya (principalmente hacia el norte), así como en la Zona Externa a profundidades entre 500 y 700 m (Fig. 38B). Las capturas de *M. merluccius* se produjeron principalmente en los alrededores del VF de Anastasya, así como en la Zona Externa, generalmente a profundidades entre 500 y 700 m (Fig. 38C). Por último, con las capturas accesorias de *M. poutassou* éstas fueron elevadas hacia el este del VF de Gazul y hacia el norte y el este del VF de Anastasya entre 400 y 550 m de profundidad, pero fueron bajas en zonas más profundas (>550 m) en comparación con otras especies comerciales (Fig. 38D).

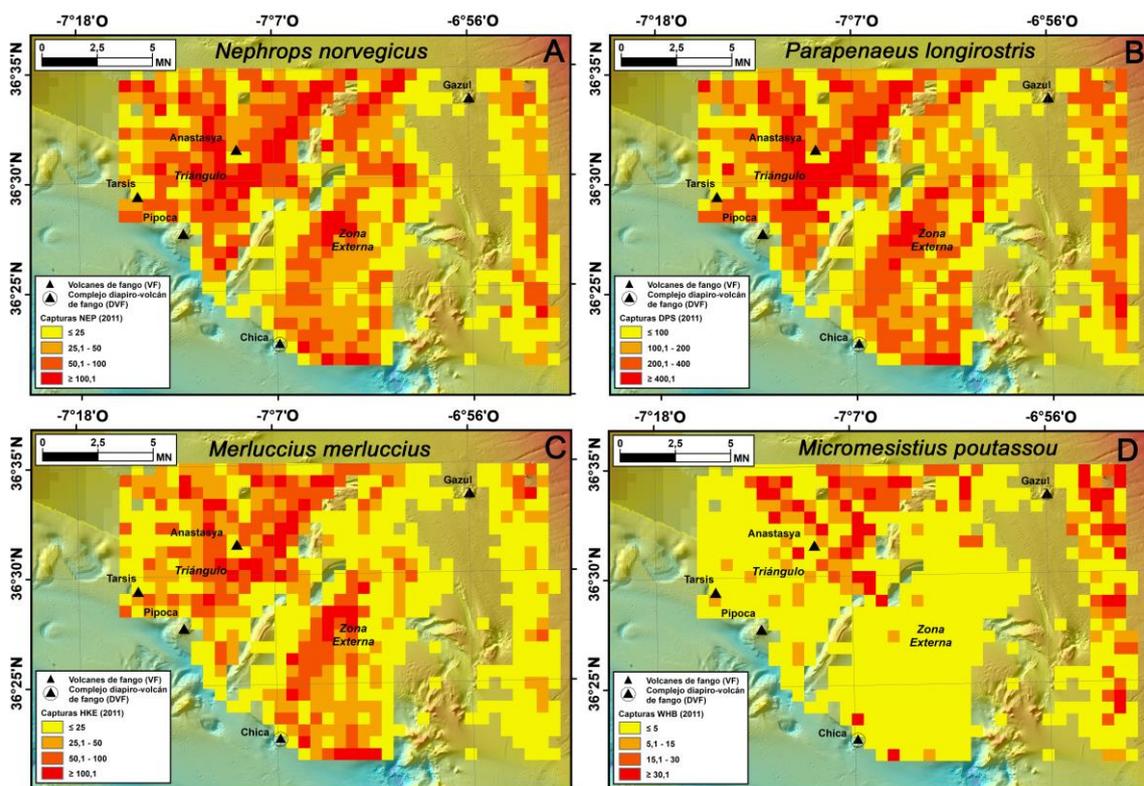


Figura 38. Distribución espacial de las capturas (kg) en celdas de 1 km² de A) la cigala (*Nephrops norvegicus*, NEP); B) la gamba blanca (*Parapenaeus longirostris*, DPS); C) la merluza (*Merluccius merluccius*, HKE) y D) la bacaladilla (*Micromesistius poutassou*, WHB) por la flota de arrastre en el LIC “Volcanes de fango del golfo de Cádiz” en 2011 (González-García et al., 2020a).

En una escala temporal mayor (2007-2012) la principal especie comercial capturada en el LIC fue la gamba blanca (*P. longirostris*, DPS), con una media de 86,59 toneladas (t) al año (aproximadamente el 6% del total de capturas de esta especie en el noreste del GdC), aunque experimentó grandes fluctuaciones durante la serie temporal (valores máximos en 2009 y mínimos en 2007, Tabla 7). La cigala (*N. norvegicus*, NEP) fue la segunda especie con mayor número de capturas en el LIC con una media de 30,43 t al año (aproximadamente el 32% del total de capturas de cigala en el noreste del GdC), con máximos en 2009 y mínimos en 2007 (Tabla 7). La merluza europea (*M. merluccius*, HKE) fue la tercera especie más capturada en el LIC con una media de 17,11 t (aproximadamente el 5% de las capturas de merluza europea en el noreste del GdC), con máximos en 2010 y 2011 y mínimos en 2007. Otras capturas de especies comerciales importantes en el LIC son los osteíctios (grupo OST) con una media anual de 26,89 t durante la serie temporal, seguidos de los rapes (grupo MON) con una media de 9,4 t y los elasmobranquios (grupo ELA) con una media de 4,56 t (Tabla 7).

Tabla 7. Total de capturas anuales (Toneladas, t) (basadas en los datos de los Sistema de Seguimiento de Buques y los cuadernos de pesca) de las principales especies comerciales así como de los grupos de especies comerciales (González-García et al., 2022) capturadas por la flota arrastrera en el LIC "Volcanes de fango del golfo de Cádiz" durante 2007-2012. NEP: *Nephrops norvegicus*; DPS: *Parapenaeus longirostris*; HKE: *Merluccius merluccius*; WHB: *Micromesistius poutassou*; Grupo RSH: Gamba roja; Grupo OST: Osteíctios; Grupo PRA: Langostinos; Grupo MON: Rapes; Grupo CEP: Cefalópodos; Grupo ELA: Elasmobranquios; Grupo OFI: Otros peces; Grupo OCR: Otros crustáceos.

	2007	2008	2009	2010	2011	2012
NEP	20,91	25,45	43,60	28,85	32,80	30,99
DPS	11,40	41,65	187,09	49,71	128,55	101,13
HKE	7,40	9,88	21,36	23,15	23,47	17,38
WHB	14,87	12,01	4,16	62,63	5,62	3,29
RSH	0,09	0,07	0,40	0,22	2,06	1,67
OST	31,71	24,38	41,83	21,23	23,44	18,73
PRA	1,81	1,35	15,99	3,41	0,44	0,14
MON	4,46	4,61	4,56	4,20	5,82	3,74
CEP	2,77	3,00	1,72	4,57	12,57	16,11
ELA	8,46	5,08	8,31	4,11	2,92	7,21
OFI	2,43	3,85	5,88	3,69	4,98	2,47
OCR	0,11	0,23	0,74	0,93	8,40	1,74

Teniendo en cuenta todos los sectores propuestos por González-García et al. (2022) para una posible regulación del arrastre de fondo debido a la presencia de hábitats vulnerables (combinando los datos de los diferentes sectores de Gazul, Cristóbal Colón, Anastasya, Tarsis/Pipoca y Chica), las capturas totales representaron una media del 9% del total de capturas en el LIC con valores mínimos en 2009 (7,5%

de todas las capturas en el LIC) y máximos en 2011 (10,7%, Tabla 8). Las capturas de las especies comerciales de todos estos sectores presentaron valores máximos en 2009 (24,98 t) y 2011 (26,91 t) y mínimos en 2007 y 2008 (aproximadamente 10,5 t) (Fig. 39, Tabla 8). Las especies comerciales con mayores capturas de los sectores propuestos fueron la gamba blanca, seguida de la cigala y la merluza. De este modo, para el conjunto de los sectores en el año 2011 la captura de la gamba blanca fue de 14,12 t (10,99% con respecto del total de capturas de esta especie dentro del LIC y 1% frente al total de capturas de esta especie en el noreste del GdC en 2011), seguida de la cigala con 4,01 t (12. 24% de la captura total de esta especie dentro del LIC y el 5% frente a la captura total de esta especie en el noreste del GdC en 2011) y la merluza europea con 2,58 t (10,97% con respecto a la captura total de esta especie dentro del LIC y un 1% frente la captura total de esta especie en el noreste del GdC en 2011) (Tabla 8).

Tabla 8. Capturas totales anuales (Toneladas, t) (basadas en los datos de los Sistema de Seguimiento de Buques y los cuadernos de pesca) y porcentajes de las capturas (%) de las principales especies comerciales en el conjunto de los diferentes sectores propuestos para la regulación pesquera de arrastre de fondo en relación con el total de capturas desembarcadas de todo el LIC "Volcanes de fango del golfo de Cádiz" durante 2007-2012. NEP: *Nephrops norvegicus*; DPS: *Parapenaeus longirostris*; HKE: *Merluccius merluccius*; Grupo MON: Rapes; Grupo OTR: Otras especies de peces y crustáceos (WHB: *Micromesistius poutassou*; Grupo RSH: Gamba roja; Grupo OST: Osteíctios; Grupo PRA: Langostinos; Grupo CEP: Cefalópodos; Grupo ELA: Elasmobranquios; Grupo OFI: Otros peces; Grupo OCR: Otros crustáceos).

	2007		2008		2009		2010		2011		2012	
	t	%	t	%	t	%	t	%	t	%	t	%
NEP	1,79	8,57	2,30	9,05	3,52	8,08	2,66	9,22	4,01	12,24	2,47	7,97
DPS	1,46	12,77	2,86	6,87	12,75	6,82	4,10	8,24	14,12	10,99	7,19	7,11
HKE	0,66	8,88	0,95	9,57	1,72	8,04	2,01	8,7	2,58	10,97	1,62	9,33
MON	0,35	7,77	0,27	5,75	0,38	8,31	0,31	7,36	0,60	10,36	0,23	6,23
OTR	6,30	10,12	4,09	8,18	6,60	8,36	11,41	11,32	5,60	9,26	5,02	9,78

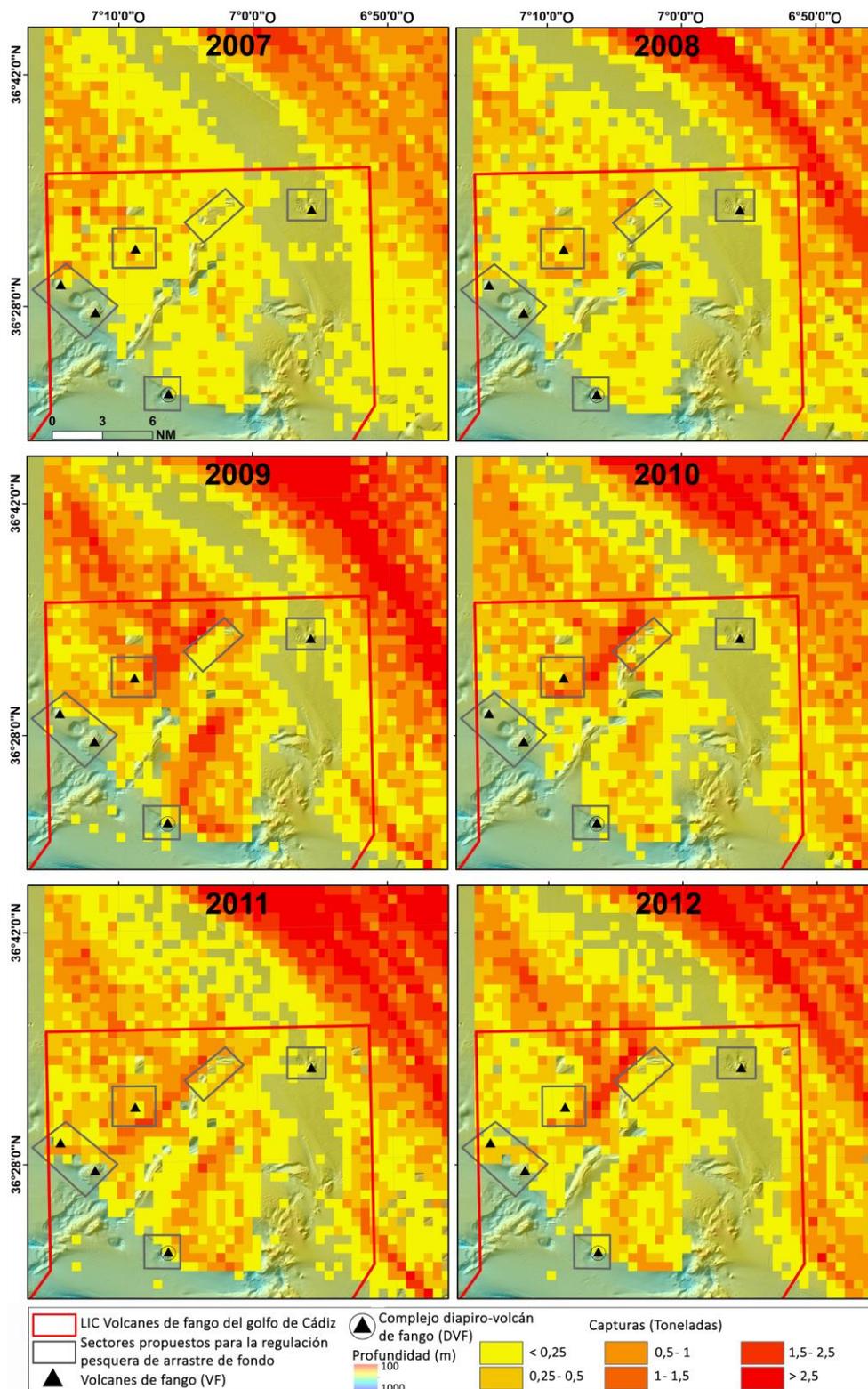


Figura 39. Distribución espacial del total de las capturas anuales (Toneladas) (basado en datos del Seguimiento de Sistemas de Buques (SSB) y de los cuadernos de pesca) de todas las especies comerciales por cuadrículas de 1 km² en el LIC "Volcanes de fango del golfo de Cádiz", incluyendo los diferentes sectores propuestos para la potencial regulación del arrastre de fondo en base a la presencia de hábitats vulnerables (González-García et al., 2022) y en la plataforma y talud adyacentes del margen español del golfo de Cádiz, durante 2007-2012.

Tabla 9. Capturas desembarcadas (CD, Toneladas, t) (basadas en los datos de los Sistema de Seguimiento de Buques y los cuadernos de pesca) y estimación de los ingresos totales (IT) (Euros, €) de las principales especies comerciales capturadas en los diferentes sectores propuestos para la regulación pesquera de arrastre de fondo (González-García et al., 2022) del LIC "Volcanes de fango del golfo de Cádiz" durante 2007-2012. NEP: *Nephrops norvegicus*; DPS: *Parapenaeus longirostris*; HKE: *Merluccius merluccius*; Grupo MON: Rapes; Grupo OTR: Otras especies de peces y crustáceos (WHB: *Micromesistius poutassou*; Grupo RSH: Gamba roja; Grupo OST: Osteíctios; Grupo PRA: Langostinos; Grupo CEP: Cefalópodos; Grupo ELA: Elasmobranquios; Grupo OFI: Otros peces; Grupo OCR: Otros crustáceos). Las estimaciones de IT se realizaron a partir de los datos del Sistema de Seguimiento de Buques, los datos de los cuadernos de pesca y el precio medio de mercado de las especies proporcionado en 2020 por el Sistema de Información Andaluz de Comercialización y Producción Pesquera de la Dirección General de Pesca y Acuicultura de la Junta de Andalucía (IDAPES) (González-García et al., 2022)

		2007		2008		2009		2010		2011		2012	
		CD	IT										
Gazul	NEP	0,02	314,56	0,01	138,62	0,02	311,19	0,01	151	0,03	425,18		
	DPS	0,01	147,52	0,03	240,59	0,12	889,05	0,01	130,27	0,12	1001,05		
	HKE	0,01	59,50	0,01	43,11	0,02	70,10	0,01	28,82	0,01	47,47		
	MON	0,01	16,94			0,01	17,10			0,01	6,35		
	OTR	0,04	74,89	0,01	23,73	0,04	551,55	0,01	24,81	0,06	628,57		
Cristóbal Colón	NEP	0,23	3610,90	0,47	6711,08	0,57	8890,41	0,59	9152,55	0,84	12409,43	0,70	7879,60
	DPS	0,36	5296,29	0,44	3345,91	2,83	20263,96	1,09	11746,35	2,47	21018,34	1,75	16216,01
	HKE	0,10	497,25	0,08	355,89	0,19	603,09	0,45	1293,44	0,39	1354,86	0,27	936,89
	MON	0,07	471,82	0,04	163,32	0,04	268,34	0,06	307,36	0,10	576,88	0,06	324,93
	OTR	0,72	2376,74	0,45	1387,44	0,79	7962,88	3,19	6216,07	0,97	7432,31	0,88	3738,63
Anastasya	NEP	0,86	13422,49	1,41	20283,82	2,40	37302,33	1,97	30587,26	1,89	28039,98	1,24	14018,02
	DPS	0,99	14641,26	2,21	16819,13	8,68	62135,17	2,90	31307,88	7,08	60344,92	3,38	31361,75
	HKE	0,40	2015,07	0,76	3274,36	1,34	4331,63	1,53	4408,33	1,27	4364	0,93	3262,64
	MON	0,17	1076,66	0,19	1342,85	0,26	1790,89	0,25	1605,47	0,28	1712,68	0,12	518,11
	OTR	3,40	11121,09	3	7343,16	4,77	14743,80	7,98	18203,86	2,21	14725,61	1,91	5892,88

		2007		2008		2009		2010		2011		2012	
		CD	IT	CD	IT	CD	IT	CD	IT	CD	IT	CD	IT
Tarsis y Pipoca	NEP	0,60	9430,40	0,37	5358,90	0,35	5509,91	0,02	343,16	1,07	15927,14	0,42	4759,45
	DPS	0,10	1414,66	0,16	1194,36	0,62	4430,88	0,02	237,36	4,02	34231,46	1,67	15461,87
	HKE	0,13	637,48	0,10	419,22	0,12	396	0,01	24,81	0,75	2573,59	0,37	1316,71
	MON	0,08	580,03	0,04	281,92	0,06	416,05			0,20	1453,75	0,04	217
	OTR	2,04	5581,13	0,55	1464,53	0,86	2540,55	0,10	144,94	1,86	16686,96	2,07	9212,71
Chica	NEP	0,08	1239,85	0,04	622,20	0,18	2742,10	0,06	978,36	0,18	2658,77	0,11	1288,15
	DPS	0,01	104,03	0,02	151,65	0,51	3637,40	0,08	887,25	0,44	3765,36	0,39	3655,23
	HKE	0,02	118,69	0,01	43,11	0,05	168,67	0,03	72,04	0,15	502,19	0,06	195,51
	MON	0,01	102,02			0,02	54,97			0,02	97,13	0,01	29,22
	OTR	0,10	628,10	0,09	171,04	0,14	671,93	0,13	294,50	0,50	5124,13	0,16	1069,59
LIC	NEP	20,91	326846,46	25,45	365869,63	43,60	677467,72	28,85	446960,47	32,80	486075,44	30,99	350541,92
	DPS	11,40	168098,44	41,65	316463,40	187,09	1340030,86	49,71	537565,93	128,55	1095457,62	101,13	938268,39
	HKE	7,40	37470,23	9,88	42607,85	21,36	69235,43	23,15	66709,45	23,47	80585,31	17,38	61236,44
	MON	4,46	27485,40	4,61	28572,25	4,56	26857,23	4,20	19731,16	5,82	28206	3,74	15838,93
	OTR	62,25	201763,89	49,98	160006,98	79,02	668959,90	100,79	263663,53	60,42	453759,56	51,36	198795,06

En lo que se refiere a cada uno de los sectores por separado, las mayores capturas se concentraron en aquellos con una elevada actividad de arrastre de fondo (Tabla 9, Fig. 39). Así, el sector de Anastasya presentó las mayores capturas con una media de 10,96 t por año (5,38% del total de capturas del LIC) siendo la gamba blanca la especie más capturada, seguida de la cigala y la merluza (Tabla 9). En este sector, se constató un aumento de las capturas totales anuales al principio de la serie temporal (17,44 t en 2009) seguido de un descenso al final de la misma (7,57 t en 2012, cuadro 4). El sector de Cristóbal Colón se situó en segundo lugar en cuanto a capturas con una media anual de 3,53 t (1,69% del total de capturas del LIC), presentando valores máximos en 2010 (5,37 t) y mínimos en 2007 y 2008 (1,48 t, Tabla 9, Fig. 39). Los sectores de Chica y Gazul (con una actividad de arrastre de fondo de baja a muy baja) mostraron las capturas anuales más bajas y que, generalmente, representaron menos del 1% del total de capturas anuales para todo el LIC en cualquiera de los años de la serie histórica (Tabla 9, Fig.39).

La Figura 40A muestra la evolución de las capturas totales anuales desembarcadas (Toneladas, t) por unidad de esfuerzo (horas) (CPUE) en el LIC durante la serie temporal 2007-2012, destacando los bajos valores de CPUE que se mantienen en el conjunto de los sectores propuestos, con máximos en 2009 y 2011 (18% de la CPUE para el conjunto del LIC) y mínimos en 2012 (13,89%). Sin embargo, la mayor diferencia entre la CPUE para todos el conjunto de los sectores y el CPUE del LIC se detectó en 2007 (8%) (Tabla 10). En lo que respecta a cada uno de los sectores propuestos por separado, el sector de Anastasya mostró la mayor media de CPUE (0,69 t por hora con valores máximos en 2008 y 2010 y mínimos en 2007 y 2012), seguido del sector de Cristóbal Colón (0,46 t por hora, con máximos en 2009 y mínimos en 2012). En general, se observaron los valores mínimos de CPUE en los sectores de Gazul (principalmente en los años 2010 y 2012) y Chica (en 2007 y 2012) (Tabla 10). La Fig. 41 se muestra, a lo largo de la serie temporal, la distribución espacial de CPUE por cuadrículas de 1 km². Los mayores valores de CPUE se concentraron en zonas ubicadas generalmente fuera de los sectores propuestos para la posible regulación de la pesca de arrastre de fondo, especialmente en la parte más occidental del LIC (sector de Anastasya hacia el norte y el oeste).

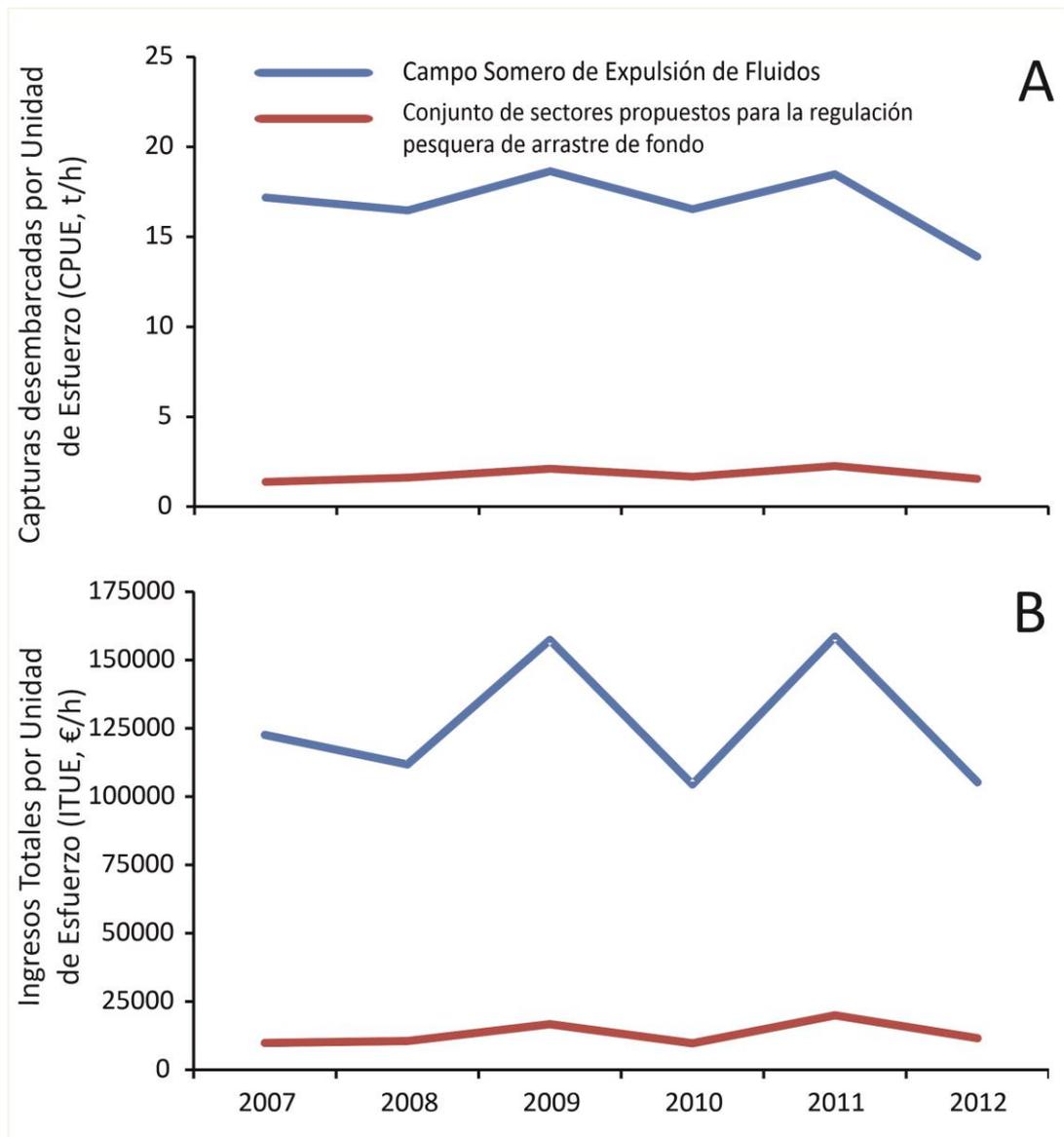


Figura 40. A) Evolución, con valores medios estimados, de las capturas desembarcadas (Toneladas, t) por unidad de esfuerzo (horas) (CPUE) (basada en los datos del Sistema de Seguimiento de Buques (SSB) y de los cuadernos de pesca); B) Ingresos totales (Euros, €) por unidad de esfuerzo (horas) (ITUE) en el LIC "Volcanes de fango del golfo de Cádiz" durante 2007-2012. Se muestran los datos del LIC y de todos los sectores propuestos para la posible regulación del arrastre de fondo (González-García et al., 2022).

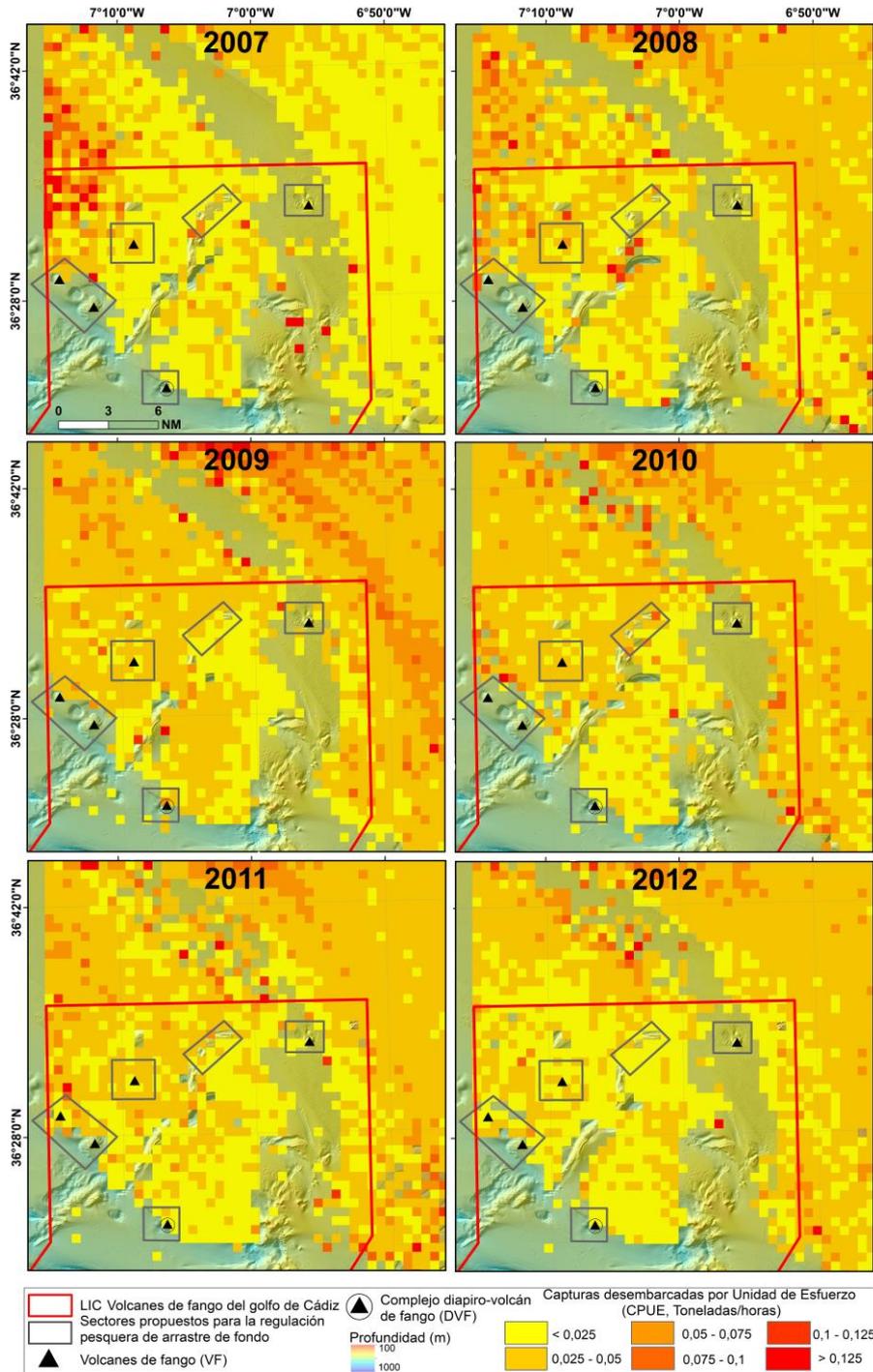


Figura 41. Distribución espacial y evolución temporal de los desembarcos por Unidad de Esfuerzo (CPUE, Toneladas/hora) por celdas de cuadrícula de 1 km² en el LIC "Volcanes de fango del golfo de Cádiz", incluyendo los diferentes sectores propuestos para la potencial regulación del arrastre de fondo (González-García et al., 2022) y en la plataforma y talud adyacentes del margen español del golfo de Cádiz, durante 2007-2012.

Tabla 10. Estimación de las capturas desembarcadas por unidad de esfuerzo (CPUE, Toneladas/hora) y de los ingresos totales por unidad de esfuerzo (ITUE, €/hora) en base a la actividad de arrastre de fondo en los diferentes sectores propuestos para la regulación pesquera de arrastre de fondo (González-García et al., 2022) y para todo el LIC "Volcanes de fango del golfo de Cádiz" durante 2007-2012.

	2007		2008		2009		2010		2011		2012	
	CPUE	ITUE	CPUE	ITUE								
Gazul	0,03	243,90	0,03	265,67	0,28	3551,85	0,02	204,97	0,16	1480,41	0,02	143,8
Cristóbal Colón	0,45	3432,29	0,41	3909,63	0,53	4378,70	0,67	3513,21	0,51	4415,92	0,37	3013,8
Anastasya	0,59	4101,64	0,77	4883,83	0,70	4896,80	0,77	4689,32	0,73	6087,93	0,59	4387,8
Tarsis y Pipoca	0,26	1733,82	0,36	2210,02	0,42	2581,30	0,13	713,79	0,72	6633,57	0,50	3446,8
Chica	0,04	365,19	0,05	298,06	0,17	1300,62	0,07	593,09	0,14	1294,96	0,07	634,8
LIC	17,18	122575,6	16,46	111724,6	18,65	157357,8	16,54	104515,4	18,48	158562,2	13,89	10528,8

En relación con el conjunto de las capturas de todas las especies comerciales, las estimaciones de los ingresos totales (IT) fueron elevadas en torno a la dorsal diapírica del Guadalquivir (hacia el este y oeste), así como en los sectores de Anastasya y Cristóbal Colón (Fig. 42). Por el contrario, los IT resultaron bajos en ambas dorsales diapíricas (de Guadalquivir y Cádiz), en los canales contorníticos y en los sectores de Gazul y Chica (Fig. 42).

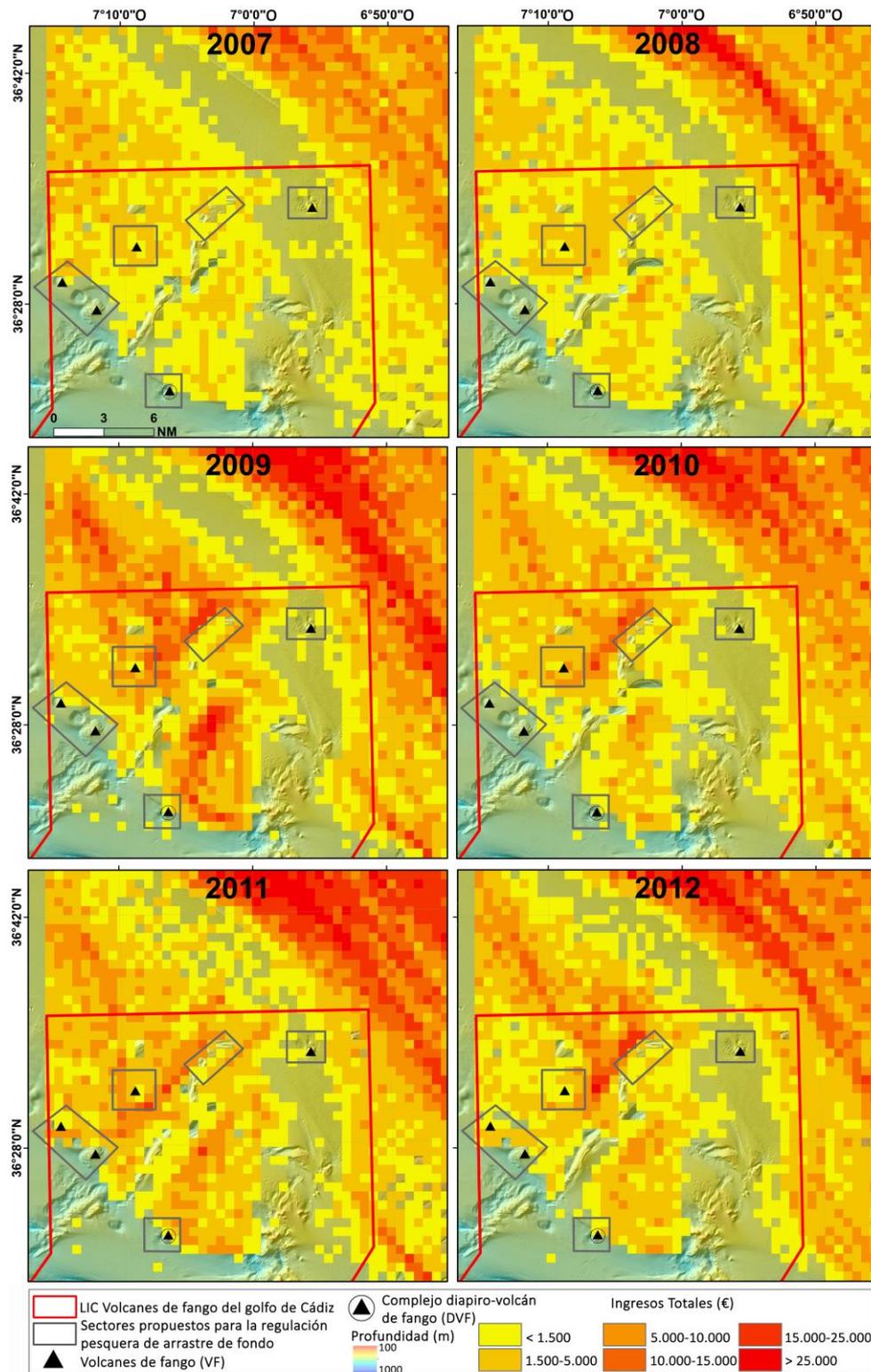


Figure 42. Distribución espacial de los ingresos totales anuales (euros, €) asociados a las capturas de todas las especies comerciales de la Tabla 2 expresados en euros por celdas de cuadrícula de 1 km² en el LIC "Volcanes de fango del golfo de Cádiz", en los sectores propuestos para la potencial regulación del arrastre de fondo (González-García et al., 2022) y en la plataforma y talud adyacentes del margen español del golfo de Cádiz, durante 2007-2012.

Las principales especies comerciales implicadas en los IT fueron la gamba blanca y la cigala. La contribución de los IT asociados a estos dos decápodos, en comparación con el resto de especies comerciales dentro del LIC, pasó del 65% en 2007 hasta el 82% en 2012. El valor máximo de IT asociado a estas dos especies se observó en 2009 pero representó un valor claramente inferior al de la plataforma continental en donde las capturas de estas especies fueron, en general, mucho más elevadas (Tabla 9, Fig. 42).

Considerando el conjunto de todos los sectores, los IT representaron una media anual, durante la serie histórica, de 133000 €, con valores mínimos en 2007 y 2008 (unos 72000 €) y máximos en 2011 (unos 237000 €, el 11% de los IT generados dentro del LIC). En 2009, los IT también fueron elevados para el conjunto de los sectores (superando los 180000 euros), pero sólo supusieron el 6% de los IT generados dentro del LIC. Esto contrasta con los IT mucho más elevados detectados fuera de los sectores, concretamente a ambos lados de la dorsal diapírica del Guadalquivir (Fig. 42). Si consideramos el conjunto de todos los sectores durante la serie temporal, la gamba blanca generó el mayor IT aportando más de 120000 € en 2011, seguida de la cigala con valores próximos a 6000 €. No obstante, los IT obtenidos por la cigala en 2007 y 2009 superaron a los de la gamba blanca (Tabla 9).

Al considerar los sectores propuestos por separado, durante la serie histórica, el mayor IT se registró en el sector de Anastasya (acorde con la mayor actividad de arrastre de fondo y capturas), con una media anual de 77000 € (Tabla 9). El valor máximo de IT se detectó en 2009 (120000 €) y el mínimo en 2007 (alrededor de 42000 €). El segundo sector con mayor IT fue el de Cristóbal Colón con una media anual superior a los 27000 € y con valores máximos en 2011 (unos 43000 €) y mínimos en 2007 y 2008 (alrededor de 12000 €). En ambos sectores (Anastasya y Cristóbal Colón), las especies que aportaron los mayores IT fueron la gamba blanca y la cigala (Tabla 9). El sector de Tarsis/Pipoca contribuyó, durante la serie temporal, con una media anual de IT de en torno a 24000 €, con valores mínimos en 2010 (aproximadamente 1000 €) y máximos en 2011 (en torno a 70000 €) como consecuencia de las fluctuaciones de las capturas durante la serie (Tabla 7 y Tabla 9). Por último, en los sectores de Chica y Gazul (con una actividad de arrastre de fondo de baja a muy baja) se generó, a lo largo de la serie histórica, el menor promedio anual de IT con 1000 y 5000 € respectivamente (Tabla 9).

La Fig. 40B representa, a lo largo de la serie temporal, los ingresos totales anuales (€) en función de la unidad de esfuerzo (horas) (ITUE) en el LIC y en el conjunto de los sectores propuestos para su regulación. La ITUE del conjunto de los sectores representó valores inferiores al 10%, con mínimos en 2007 (8% de la ITUE de todo el LIC) y máximos en 2009, 2011 y 2012 (entre el 10 y 12%), como consecuencia de las elevadas capturas de la gamba blanca en los sectores de Anastasya y Cristóbal Colón

(Tabla 9). En la Fig. 43, se muestra, a lo largo de la serie histórica, la distribución espacial de la ITUE en función de la actividad de arrastre de fondo (esfuerzo). En líneas generales, los valores más altos de ITUE se concentraron a ambos lados de la dorsal diapírica del Guadalquivir y en la parte más occidental de los sectores de Anastasya y de Tarsis/Pipoca.

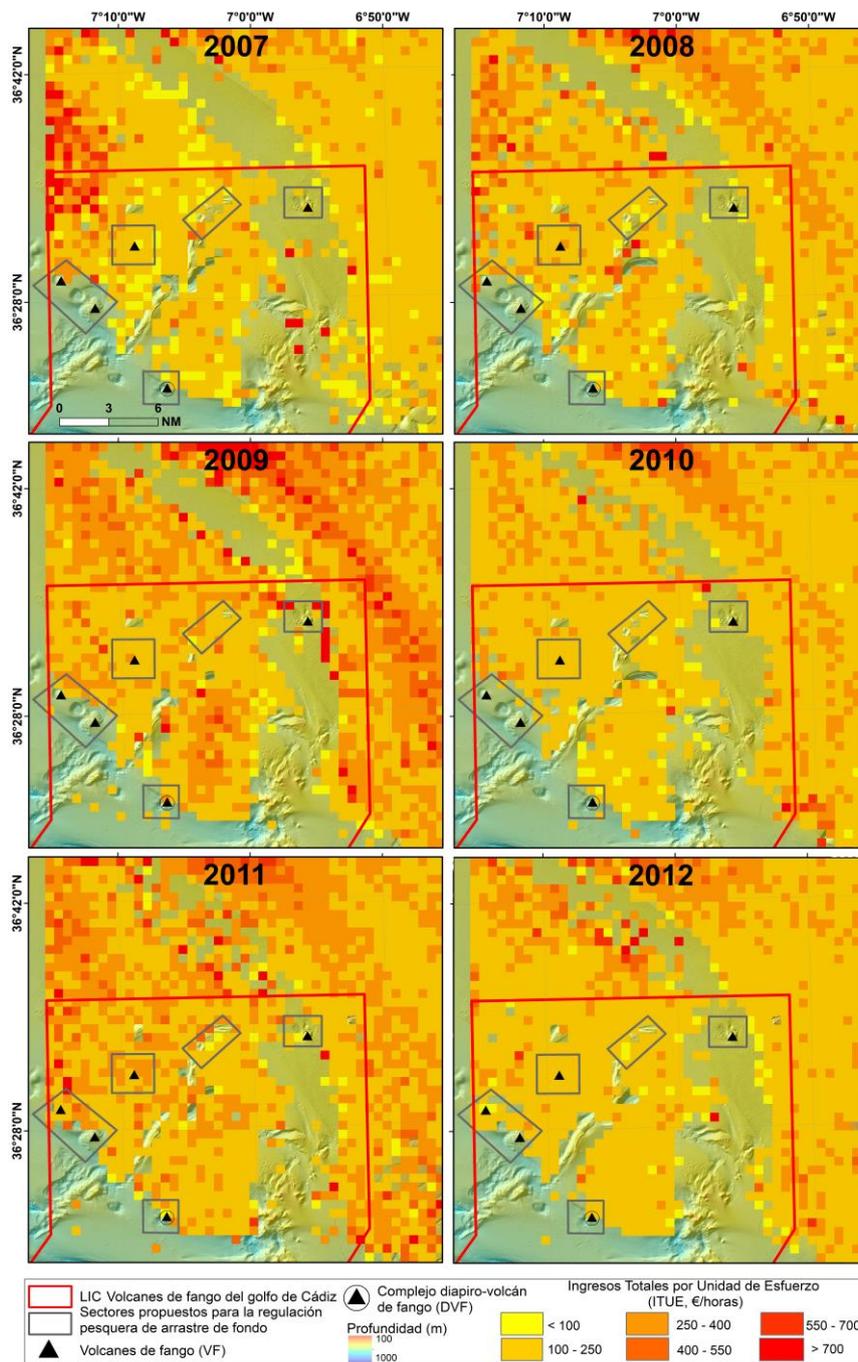


Figura 43. Distribución espacial y evolución temporal de los ingresos totales por unidad de esfuerzo (ITUE, €/hora) por celdas de cuadrícula de 1 km² en el LIC "Volcanes de fango del golfo de Cádiz", incluyendo los diferentes sectores propuestos para la potencial regulación del arrastre de fondo (González-García et al., 2022) y en la plataforma y el talud adyacentes del margen español del golfo de Cádiz, durante 2007-2012.

4.2.1.3. Distribución espacial y tendencias temporales de las capturas de las principales especies comerciales e ingresos económicos asociados en relación a los puertos

Los puertos pesqueros con mayores cantidades de capturas desembarcadas obtenidas en el LIC se localizan en la provincia de Huelva siendo los puertos de Isla Cristina (IC), Ayamonte (AYA) y Punta Umbría (PU) los más importantes (hasta un 91,2% de todas las capturas del LIC en 2007) (Fig. 44).

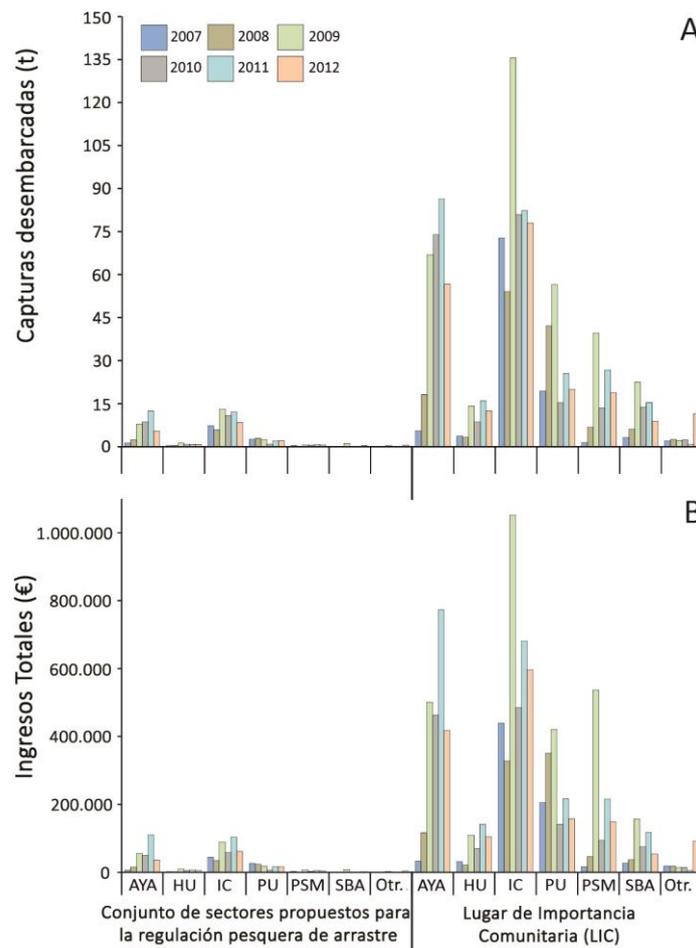


Figura 44. A) Evolución, durante la serie temporal, de las capturas desembarcadas de especies comerciales (Toneladas, t) en los principales puertos pesqueros del LIC "Volcanes de fango del golfo de Cádiz" y en el conjunto de los diferentes sectores propuestos para la potencial regulación del arrastre de fondo; B) Evolución de la estimación de los ingresos totales (IT) asociados a los desembarcos (Euros, €) en los principales puertos pesqueros para el LIC y en el conjunto de los diferentes sectores propuestos para la potencial regulación del arrastre de fondo. AYA: Ayamonte; HU: Huelva; IC: Isla Cristina; PU: Punta Umbría; PSM: El Puerto de Santa María; SBA: Sanlúcar de Barrameda. Las estimaciones de IT se obtuvieron combinando los datos del Sistema de Seguimiento de Buques (SSB) y de los cuadernos de pesca con el precio medio de mercado de las especies (IDAPES) (González-García et al., 2022).

Durante la serie histórica, el puerto de IC registró la mayor media anual de capturas desembarcadas del LIC con unas 80 t (máximo en 2009), seguido del puerto de AYA con unas 50 t (y con una tendencia creciente durante la serie temporal y una disminución en 2012), y del puerto de PU con unas 30 t (con una tendencia anual fluctuante) (Fig. 44A). Los puertos pesqueros con menores capturas totales anuales desembarcadas del LIC fueron los de El Puerto de Santa María (PSM) (media de unas 18 t), Sanlúcar de Barrameda (SBA) (unas 11 t) y Huelva (HU) (unas 9 t).

Considerando el conjunto de todos los sectores propuestos para una posible regulación del arrastre de fondo, los puertos pesqueros que registraron las mayores capturas anuales desembarcadas en ellos fueron también IC (una media de unas 9,38 t), AYA (6,10 t) y PU (unas 1,95 t) (Fig. 44A). Su tendencia temporal resultó análoga al total de capturas anuales desembarcadas en el LIC, excepto en el caso de PU en el que se observó valores similares durante toda la serie temporal. Los puertos pesqueros con el menor número de capturas anuales totales desembarcadas en el conjunto de todos los sectores para una hipotética regulación fueron SBA y HU (en ambos casos unas 0,4 t), seguidos de PSM (con una media de 0,3 t).

Considerando el conjunto de los sectores propuestos, los IT mostraron una tendencia similar a la de las capturas desembarcadas en estos sectores, siendo los puertos IC (IT medio anual de unos 65000 €), AYA (unos 45000 €) y PU (unos 18000 €) en los que se registraron los mayores valores (Fig. 44B). Los puertos con los IT más bajos fueron los de PSM, SBA y HU (en todos los casos, alrededor de 4.000 euros). En general, los IT de estos puertos, procedentes de las capturas de los sectores propuestos para la regulación, fueron inferiores al 10% de los IT procedentes del LIC. Teniendo en cuenta esto, los puertos IC, AYA y PU podrían ser los más afectados en relación a una posible regulación de la pesca de arrastre de fondo en estos sectores. A lo largo de la serie temporal, se ha detectado una tendencia creciente y fluctuante en los IT de IC y AYA con respecto a estos sectores, mientras que en el resto de los puertos se observó un IT similar. Se observó una tendencia temporal similar en los IT del LIC en relación a los diferentes puertos, destacando el fuerte aumento fluctuante para el puerto de AYA (Fig. 44B).

4.2.1.4. Distribución espacial de la actividad de arrastre de fondo en relación a los hábitats

En el LIC “*Volcanes de fango del golfo de Cádiz*”, casi todos los hábitats tanto biogénicos como no biogénicos están sometidos a presiones humanas, sobre todo en el *Campo Somero*. En el *Campo Profundo* la situación es muy diferente y sólo

determinadas zonas pueden presentar alguna presión concreta derivada de las acciones humanas. En la presente sección se ofrece información sólo para el *Campo Somero*, en el que tanto los hábitats biogénicos como los no biogénicos están sometidos a diferente grado de presión por parte de la pesca de arrastre.

En relación al hábitat 1180 considerado en este informe *Estructuras producidas por escape de gases con comunidades quimiosintéticas*, el número de horas totales de arrastre de fondo al año es de 407,4 horas y afectaría a una superficie del 62% (mayoritariamente con categoría 1 y 2 de arrastre de fondo - baja actividad) en relación a datos del SSB-VMS. No obstante el análisis de imágenes submarinas ha mostrado la ausencia de marcas de arrastre de fondo en algunos volcanes de fango con este tipo de hábitats como se expone en el apartado relativo a los impactos en los hábitats. En relación al hábitat 1180 considerado en este informe *Estructuras producidas por escape de gases con sustratos carbonatados de origen quimiosintético*, el número de horas totales de arrastre de fondo al año es de 74,14 horas y afectaría a una superficie del 6,78 % (mayoritariamente con categoría 1 y 2 de arrastre de fondo - baja actividad) en relación a datos del SSB-VMS.

En relación al resto de hábitats principales del *Campo Somero*, se detectó que los hábitats que más horas de arrastre de fondo presentaban eran *Fangos y arenas fangosas batiales dominadas por fauna excavadora* (5734,75 horas por año, 55,6 % de las horas en todos los hábitats), seguido de *Fangos y arenas fangosas batiales con pennatuláceos* (2027,97 horas, 19,66%) y *Arena y arena fangosa batiales dominadas por Hormathiidae (Actinauge richardi)* (1729,53 horas, 16,77%) (Fig. 45). En el otro extremo los hábitats sometidos a una menor actividad de arrastre fueron los *Fondos detríticos batiales con campos de Leptometra phalangium* (282,34 h, 2,74%), *Fangos batiales compactos con Isidella elongata* (49,22 horas, 0,48%), *Sedimentos mixtos batiales con Flabellum chunii* (7,8 horas, 0,08%) y *Arrecife de corales profundos (Lophelia pertusa, Madrepora oculata)* (1 hora, <0,01%).

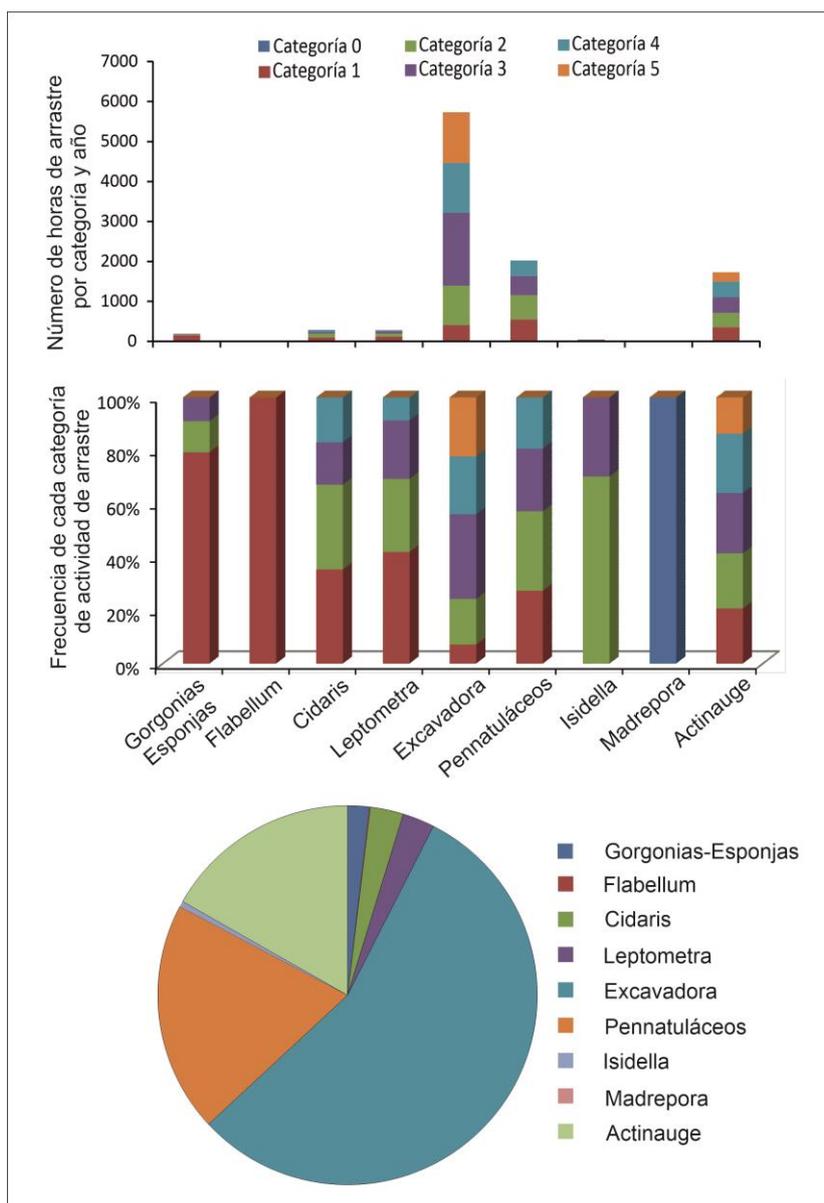


Figura 45. Número y frecuencia de horas de arrastre para cada categoría de arrastre (nivel de esfuerzo) por año (media entre 2015-2019) y tipo de hábitat (arriba y medio), y porcentaje del número de horas de arrastre de fondo totales entre los diferentes hábitats (abajo). Gorgonias-Esponjas: Sustrato duro batial con gorgonias y esponjas; Flabellum: Sedimentos mixtos batiales con *Flabellum chunii*; Cidaris: Fondos sedimentarios no fangosos con cidarioideos *Cidaris cidaris*; Leptometra: Fondos detríticos batiales con campos de *Leptometra phalangium*; Excavadora: Fangos y arenas fangosas batiales dominadas por fauna excavadora; Pennatuláceos: Fangos y arenas fangosas batiales con pennatuláceos; Isidella: Fangos batiales compactos con *Isidella elongata*; Madrepora: Arrecife de corales profundos (*Lophelia pertusa*, *Madrepora oculata*); Actinauge: Arena y arena fangosa batiales dominadas por Hormathiidae (*Actinauge richardi*). Categoría 0: 0 horas; Categoría 1: 0,4-8 horas; Categoría 2: 8,01-13 horas; Categoría 3: 13,01-20 horas; Categoría 4: 20,01-30 horas; Categoría 5: > 30,01 horas.

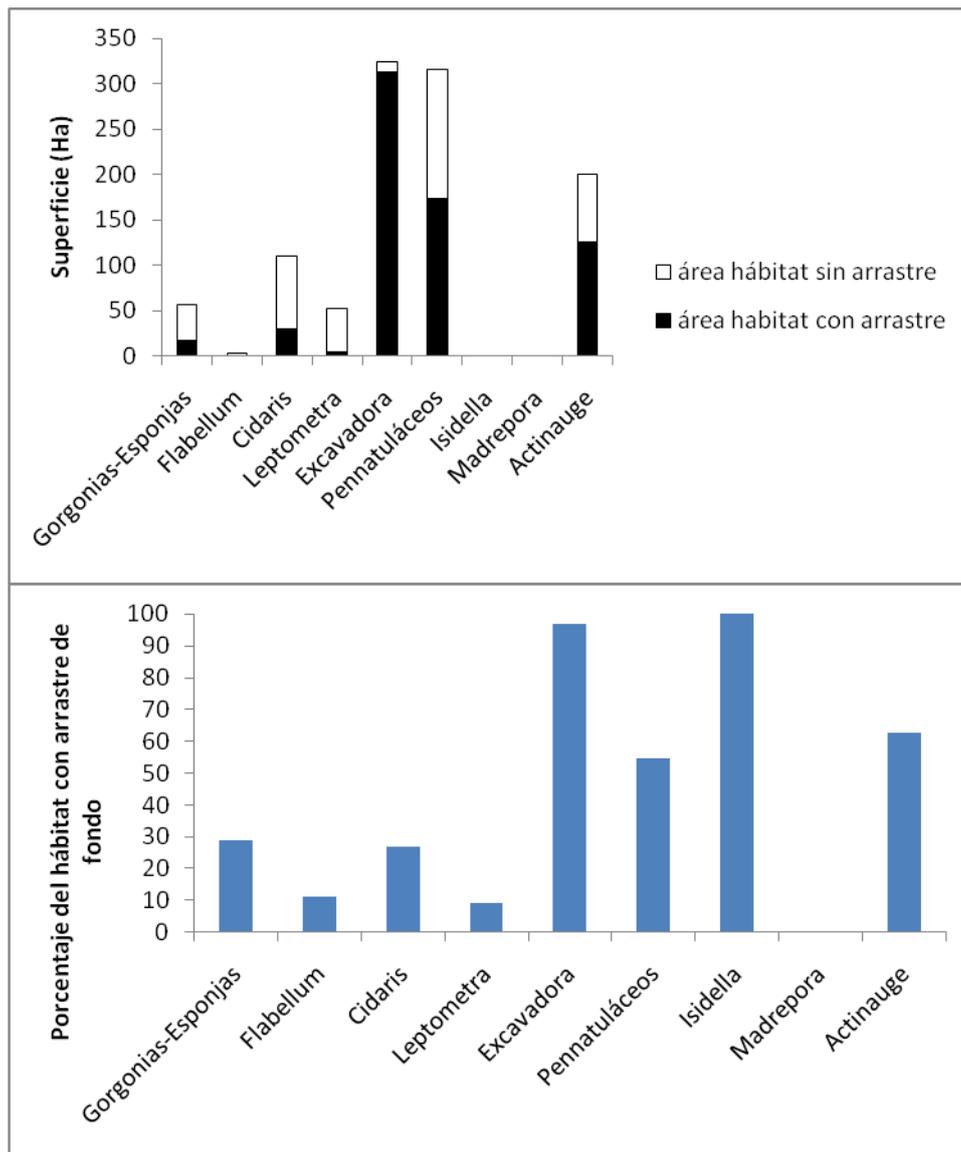


Figura 46. Superficie afectada por el arte de arrastre de fondo y porcentaje con respecto al total de la superficie de los principales hábitats del *Campo Somero*. Gorgonias-Esponjas: Sustrato duro batial con gorgonias y esponjas; Flabellum: Sedimentos mixtos batiales con *Flabellum chunii*; Cidaris: Fondos sedimentarios no fangosos con cidarioideos *Cidaris cidaris*; Leptometra: Fondos detríticos batiales con campos de *Leptometra phalangium*; Excavadora: Fangos y arenas fangosas batiales dominadas por fauna excavadora; Pennatuláceos: Fangos y arenas fangosas batiales con pennatuláceos; Isidella: Fangos batiales compactos con *Isidella elongata*; Madrepora: Arrecife de corales profundos (*Lophelia pertusa*, *Madrepora oculata*); Actinauge: Arena y arena fangosa batiales dominadas por Hormathiidae (*Actinauge richardi*).

En relación a la superficie afectada por el arrastre de fondo y la superficie de cada hábitat (Fig. 46), los hábitats con mayores superficies afectadas serían *Fangos y arenas fangosas batiales dominadas por fauna excavadora* (313,99 ha afectada por el arrastre de fondo, 96,85% de superficie afectada), *Fangos y arenas fangosas batiales con pennatuláceos* (173,23 ha, 54,81 %) y *Arena y arena fangosa batiales dominadas por hormathiidae (Actinauge richardi)* (125,14 ha, 62,61 %). Sin embargo los hábitats con menor superficie afectada serían *Sedimentos mixtos batiales con Flabellum chunii* (0,28 ha, 11,11 %), *Fondos detríticos batiales con campos de Leptometra phalangium* (4,81 ha, 9,20 %), *Arrecife de corales profundos (Lophelia pertusa, Madrepora oculata)* (<0,01 ha, <0,01%). Un caso digno de comentar en detalle es el de *Fangos batiales compactos con Isidella elongata*, en el que el 100% de su superficie en el *Campo Somero* está afectada por la pesca de arrastre de fondo, mientras que en el *Campo Profundo* el área afectada es del 0%, presentando un mejor estado ambiental. Esto, junto con la presencia de restos de colonias de *I. elongata* en el *Campo Somero*, nos indica que en un pasado este hábitat estaba mejor representado en este campo, pero que a día de hoy, ha quedado relegado al *Campo Profundo*.

En relación al solapamiento de los hábitats vulnerables y la actividad de pesca, se detectaron algunos restos de redes y marcas en diferentes sectores del *Campo Somero*, siempre en mayor número que en el *Campo Profundo* del LIC (Figs. 47 & 48).

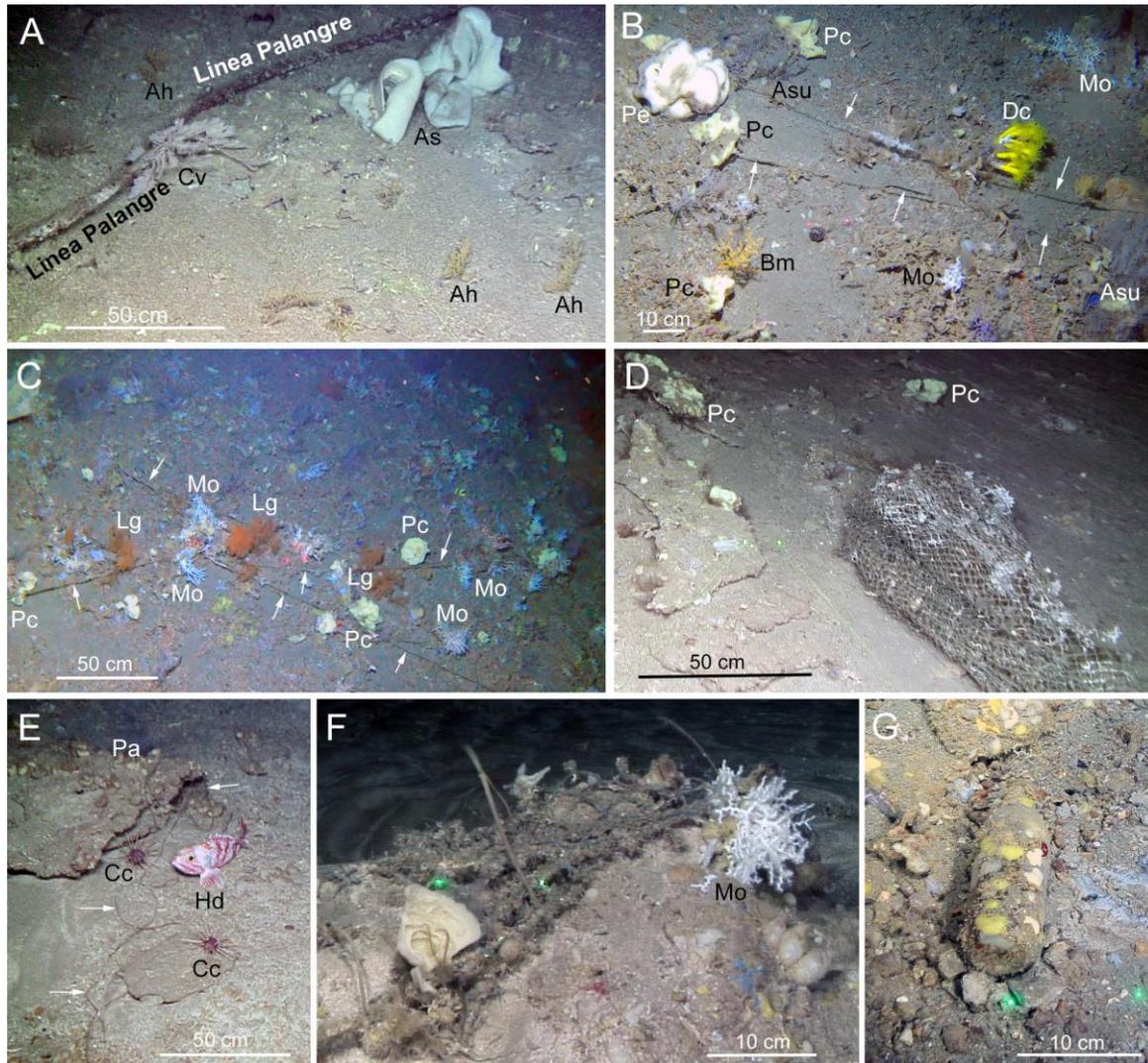


Figura 47. Restos de artes pesqueros, así como basura, encontradas en hábitats ligados al Hábitat 1170 en el volcán de fango Gazul. Ah: *Acanthogorgia hirsuta*; As: *Asconema setubalense*; Asu: *Antipathella subpinnata*; Bm: *Bebryce mollis*; Cc: *Cidaris cidaris*; Cv: *Callogorgia verticillata*; Dc: *Dendrophyllia cornigera*; Hd: *Helicolenus dactylopterus*; Lg: *Leioathes glaberrima*; Mo: *Madrepora oculata*; Pa: *Polycarpa* sp.; Pe: *Petrosia crassa*; Pc: *Pocillastra compressa*.

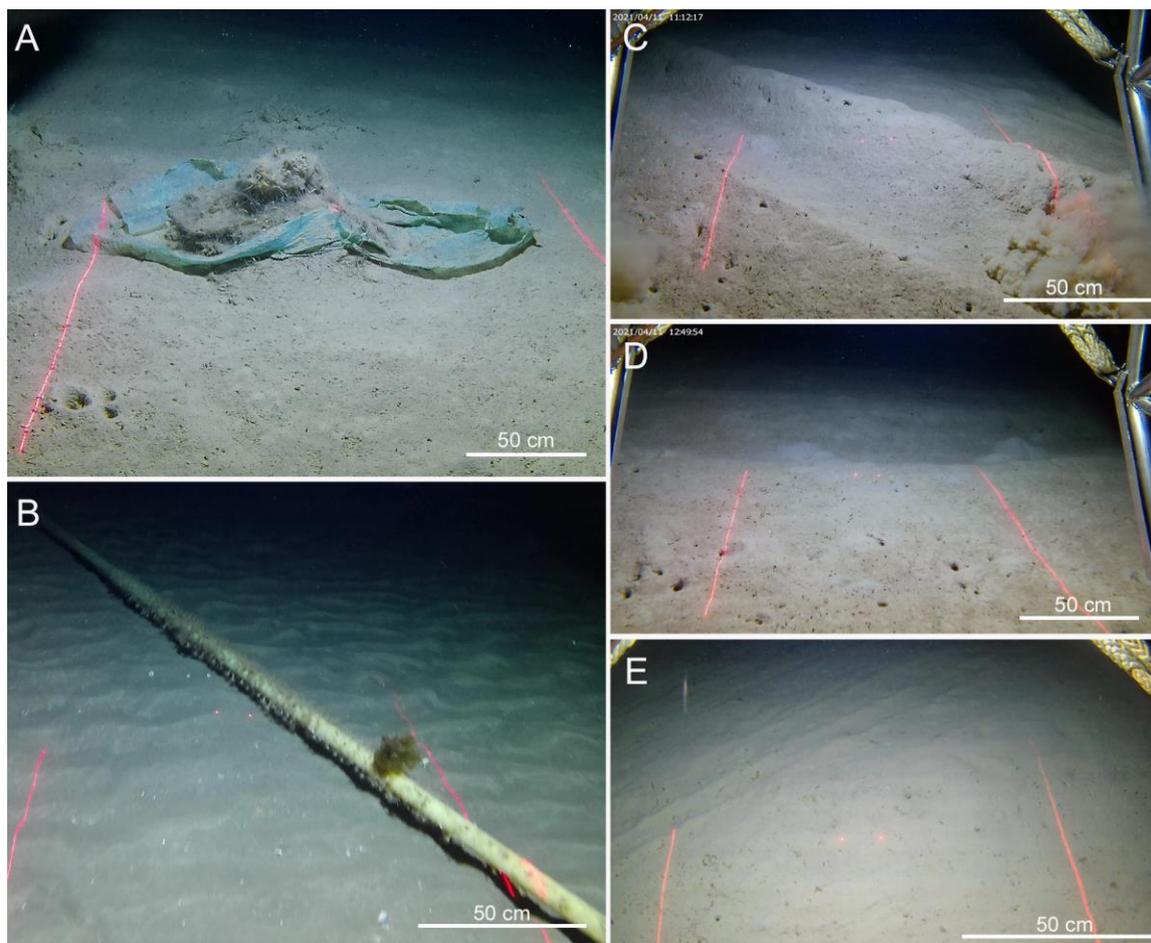


Figura 48. Restos de basuras (A), cables submarinos (B) y marcas de arrastreros (marcas de puertas en C y D y red en E) en fondos sedimentarios del LIC "Volcanes de fango del golfo de Cádiz".

4.2.2. Estimaciones de la actividad de arrastre basadas en imágenes submarinas

Este componente de estudio se realizó por separado para las imágenes submarinas procedentes de las campañas ISUNEPCA (2014-2019) e INTEMARES A4 CAD.

En los transectos de imágenes submarinas de ISUNEPCA se detectaron un total de 360 marcas de arrastre, de las cuales 202 correspondían a marcas de puertas y 158 a marcas de red. El número de marcas de arrastre promedio fue de $7,21 \pm 9,56$ marcas /100 m², y los valores fluctuaron entre 0 y 39 marcas / 100 m² en los diferentes transectos de imágenes. Al contrastar el número de marcas de las imágenes submarinas con el número de horas de arrastre se detectó una correlación significativa (Rho Spearman = 0,52, $p < 0,01$). También se detectó una correlación significativa,

aunque más baja entre el número de marcas de imágenes submarinas y la superficie arrastrada (Rho Spearman = 0,381, $p < 0,01$).

En los transectos de imágenes submarinas de INTEMARES A4 CAD se detectaron un total de 444 marcas de arrastre, de las cuales 286 eran marcas de arrastre de puertas y 158 eran de la red. Con relación a las marcas de arrastre de puertas, 167 eran marcas recientes (caracterizadas por ser más patentes y con restos de acúmulos de sedimentos a ambos lados) y 119 eran marcas antiguas (con surcos más suavizados y sin acúmulos de sedimento a los lados de la marca, posiblemente desmovilizado por las corrientes). El número de marcas de arrastre promedio fue de $16,44 \pm 4,87$ marcas /100 m², y los valores fluctuaron entre 0 y 103 marcas / 100 m² en los diferentes transectos de imágenes. Por otro lado, en los datos de VMS se detectaron un total de 7922,8 horas de arrastre de fondo en el total de las estaciones de muestreo prospectadas, con una media de $293,44 \pm 51,73$ horas / km² y un rango de horas entre 0 y 849 horas / km². Ambas estimaciones mostraron una relación significativa mediante la ecuación Horas de arrastre de VMS = $8,6043 * \text{Marcas de arrastre} + 151,94$ ($R^2 = 0,66$, $p < 0,05$) (Fig. 49).

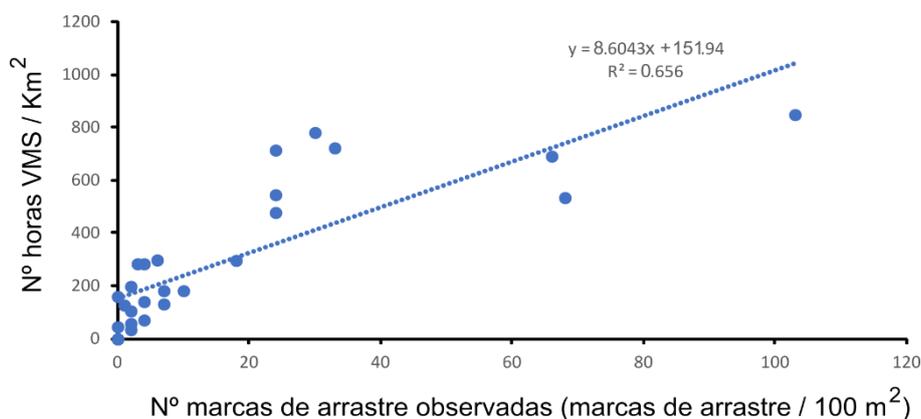


Figura 49. Relación entre las marcas de arrastre observadas en las imágenes submarinas y las horas de pesca de arrastre de los datos del Sistema de Seguimiento de Buques (VMS).

Cabe destacar que se exploraron las relaciones entre las marcas de arrastre y la profundidad y se observó que la mayoría de las marcas de arrastre se concentran en zonas de profundidad media, donde también se observaron altas densidades de especies comerciales como *P. longirostris* y *N. norvegicus*. Sin embargo, a mayor profundidad se detectó un descenso de las marcas de arrastre. Con relación al tipo de sedimento se observó una mayor abundancia de marcas de arrastre en fondos fangosos, frente a los de arena fina. En relación con la velocidad de corriente de fondo, se detectó una mayor concentración de marcas de arrastre en zonas con una velocidad de corriente próxima al fondo baja, respecto a las de media y alta corriente.

No obstante, el número de marcas de arrastre no varió con la temperatura ni la salinidad.

4.2.3. Estimaciones de la actividad de arrastre basadas en datos acústicos (multihaz)

Estas estimaciones se obtuvieron mediante el procesado de la reflectividad adquirida con la ecosonda multihaz y el contaje posterior de las marcas de arrastre presentes en los datos obtenidos. Es bien conocido que las actividades de pesca de arrastre de fondo tienen un gran impacto sobre los hábitat bentónicos, pero también pueden producir cambios a pequeña escala en el relieve submarino a modo de marcas, como se ha visto en la sección anterior. Los artes de pesca de arrastre generan una alteración de los depósitos sedimentarios y donde se producen marcas prominentes que pueden permanecer en el fondo marino durante unas pocas horas en zonas más costeras y que presentan una alta dinámica sedimentaria, hasta varios años en las zonas más profundas (Gilkinson et al., 2015).

Durante la campaña INTEMARES A₄ CAD se pudieron obtener datos de reflectividad con una resolución de 1 metro con la ecosonda multihaz (EM710), y donde se pudieron detectar marcas de arrastre a gran escala. Se han analizado en total 4 polígonos del LIC con un área de unos 20 km² y con diferente actividad de arrastre de fondo en base a datos de SSB-VMS (Fig. 50).

En el polígono 4 se han podido identificar al menos 15 marcas de arrastre, en el polígono 1 unas 11 marcas de arrastre, mientras que en el polígono 3 tan sólo 4 marcas de arrastre y en el polígono 2 no se han observado marcas (Fig. 50). Por tanto se detecta un patrón desigual de la actividad de arrastre basada en este método en los diferentes polígonos.

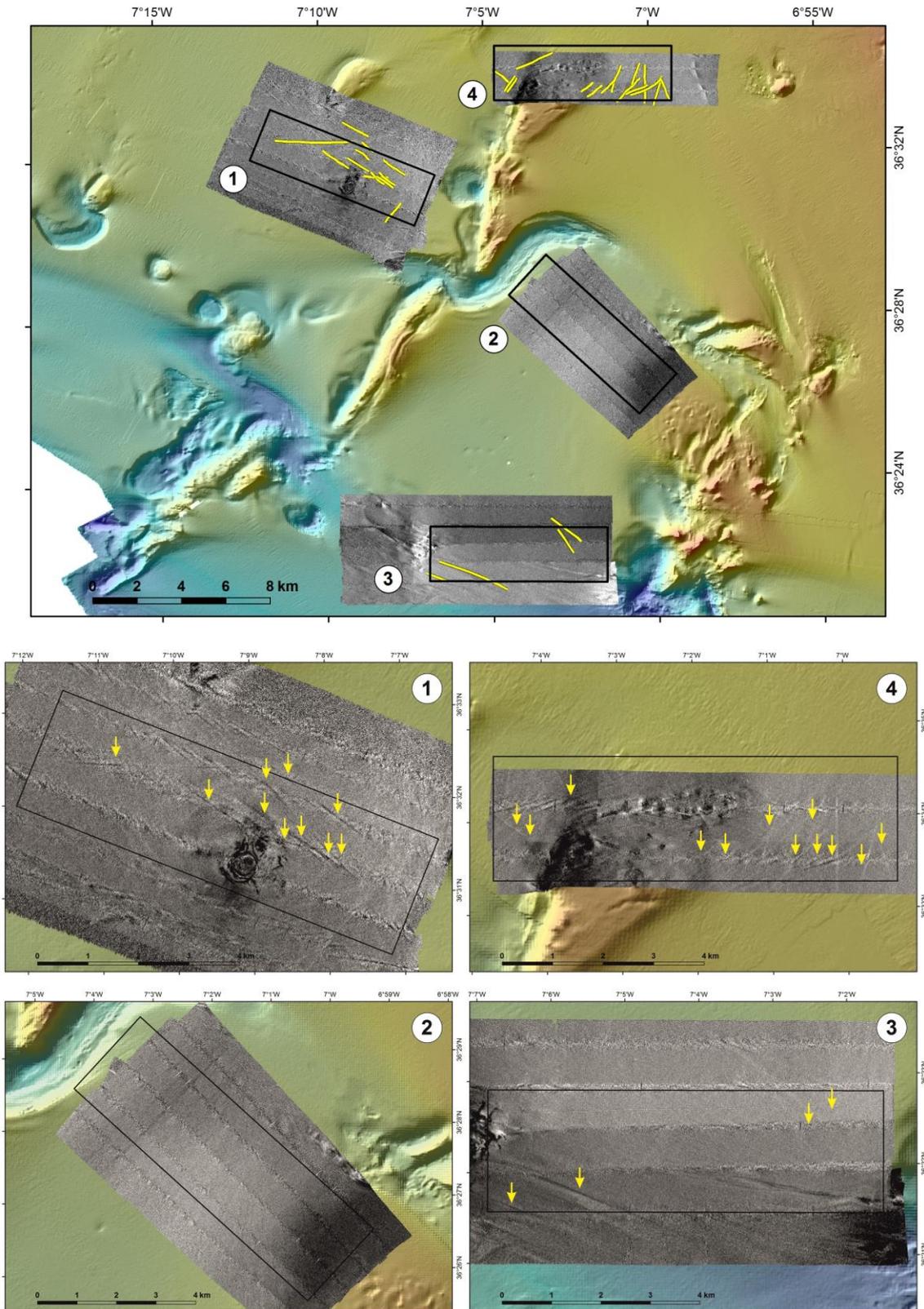


Figura 50. Polígonos en los que se han observado marcas de arrastre (cartografiadas con líneas amarillas arriba y marcas con flechas amarilla abajo) a partir de datos de reflectividad de la ecosonda multihaz (mosaicos en escala de gris) obtenidos durante la campaña INTEMARES A₄ CAD.

Las marcas tienen una longitud máxima de hasta 3,5 km y una anchura media de unos 50 metros. En la mayoría de los casos presentan unos valores de reflectividad más elevados (Fig. 51) que las zonas adyacentes, pero en ciertas zonas de los polígonos 3 y 4 presentan valores más bajos. Esto puede estar relacionado también con la naturaleza del sustrato sobre el que se encuentran las marcas, ya que en función de las condiciones ambientales como el hidrodinamismo y las corrientes de fondo, el material fino puede ser resuspendido y depositado en la zona dando lugar a valores bajos de reflectividad o ser transportado a otras zonas. Esto daría como resultado valores más altos también debido a una mayor compactación del sedimento (Gilkinson et al., 2015; Palanques et al., 2001).

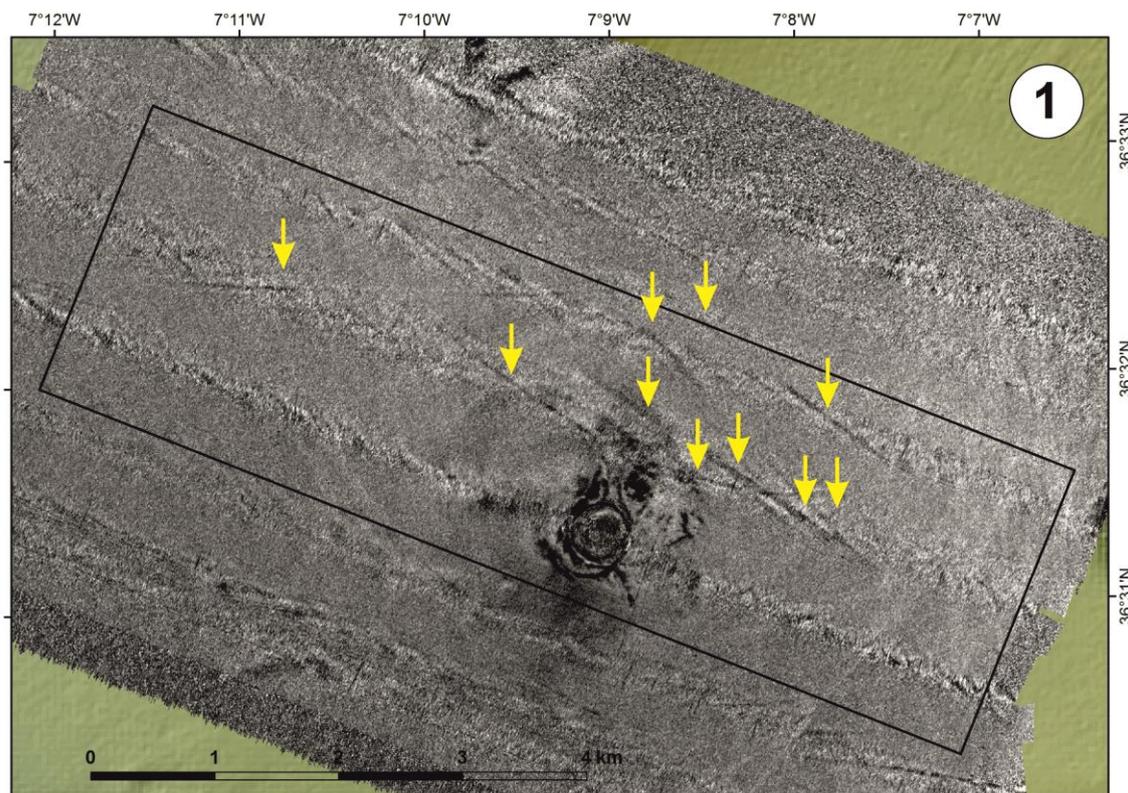


Figura 51. Detalle del polígono 1 (Volcán de fango Anastasya) donde se han identificado 11 marcas de arrastre a partir de los datos de reflectividad obtenidos con la ecosonda multihaz con valores de reflectividad mas elevados.

La persistencia en el tiempo de las marcas de arrastre presenta una estrecha relación con el tipo de sedimento (Krost et al., 1990; Kaiser et al., 1996). Así al comparar los datos de marcas de arrastre con datos de granulometría del sedimento de las muestras obtenidas en la campaña INTEMARES A4 CAD (Rueda et al., 2022b) y los datos previos del Instituto Español de Oceanografía recopilados en la zona (Fernández-Salas et al., 2021), se detectó que en zonas con sedimento más fino (tipo fango) las marcas son más duraderas que en zonas con sedimento mas arenoso, donde la resiliencia del sistema es mayor. En la zona de estudio se observa un mayor

número de marcas de arrastre en zonas que presentan un sedimento predominantemente fino (Polígono 1) en comparación con aquellas zonas con % de arena más elevado (polígonos 2 y 3) (Fig. 52). De hecho se obtuvieron correlaciones positivas entre el número de marcas de arrastre procedentes de la multihaz con el porcentaje de fango (Rho Spearman = 0,763, $p < 0,001$) y negativas con la velocidad de corriente (Rho Spearman = -0,404, $p < 0,05$) y los diferentes tipos de arena (En todos los casos Rho Spearman $> -0,606$, $p < 0,001$).

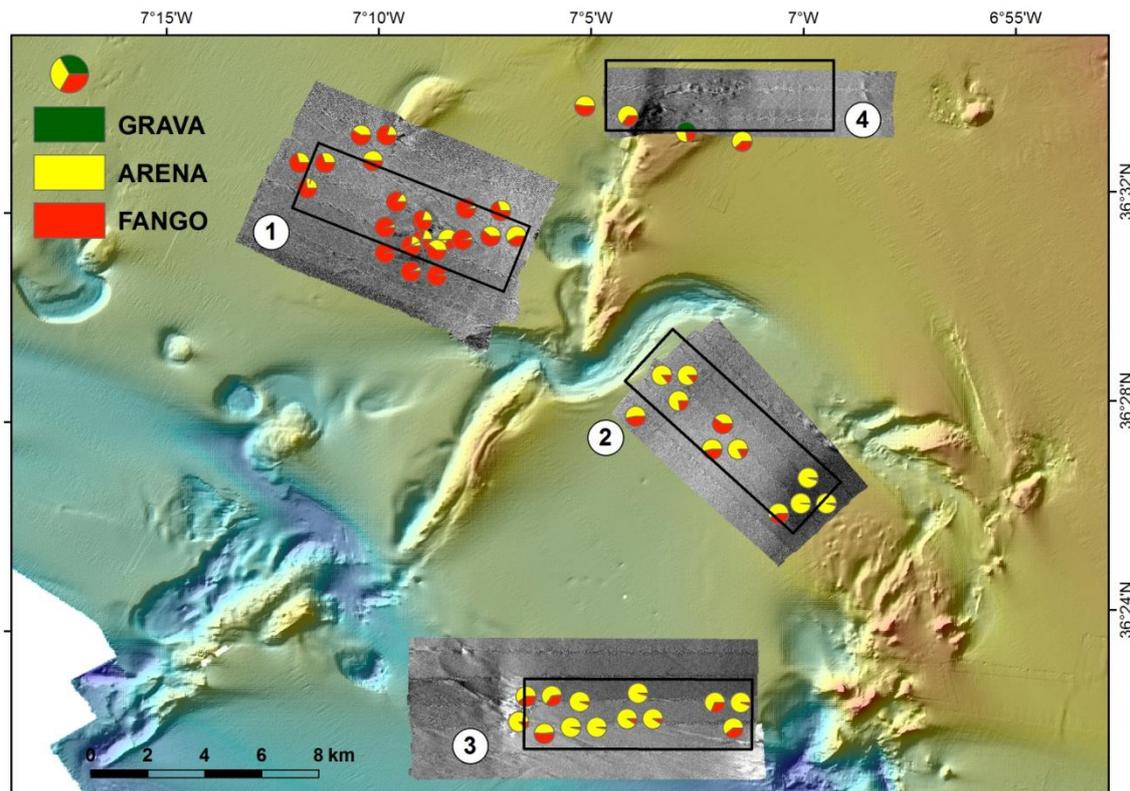


Figura 52. Resultados de los análisis granulométricos a partir de muestras recopiladas en las zonas de estudio donde se muestra el % de grava, arena y fango.

Al contrastar el número de marcas de arrastre detectadas con los datos de reflectividad con otras estimas de la actividad de arrastre se obtuvo que las marcas de arrastre de la reflectividad presentaban una correlación positiva con el número de horas de pesca de arrastre procedentes de los datos de SSB-VMS (Rho Spearman = 0,582, $p < 0,001$) y también con las marcas de arrastre detectadas en las imágenes submarinas (0,517, $p < 0,01$) (Fig. 53).

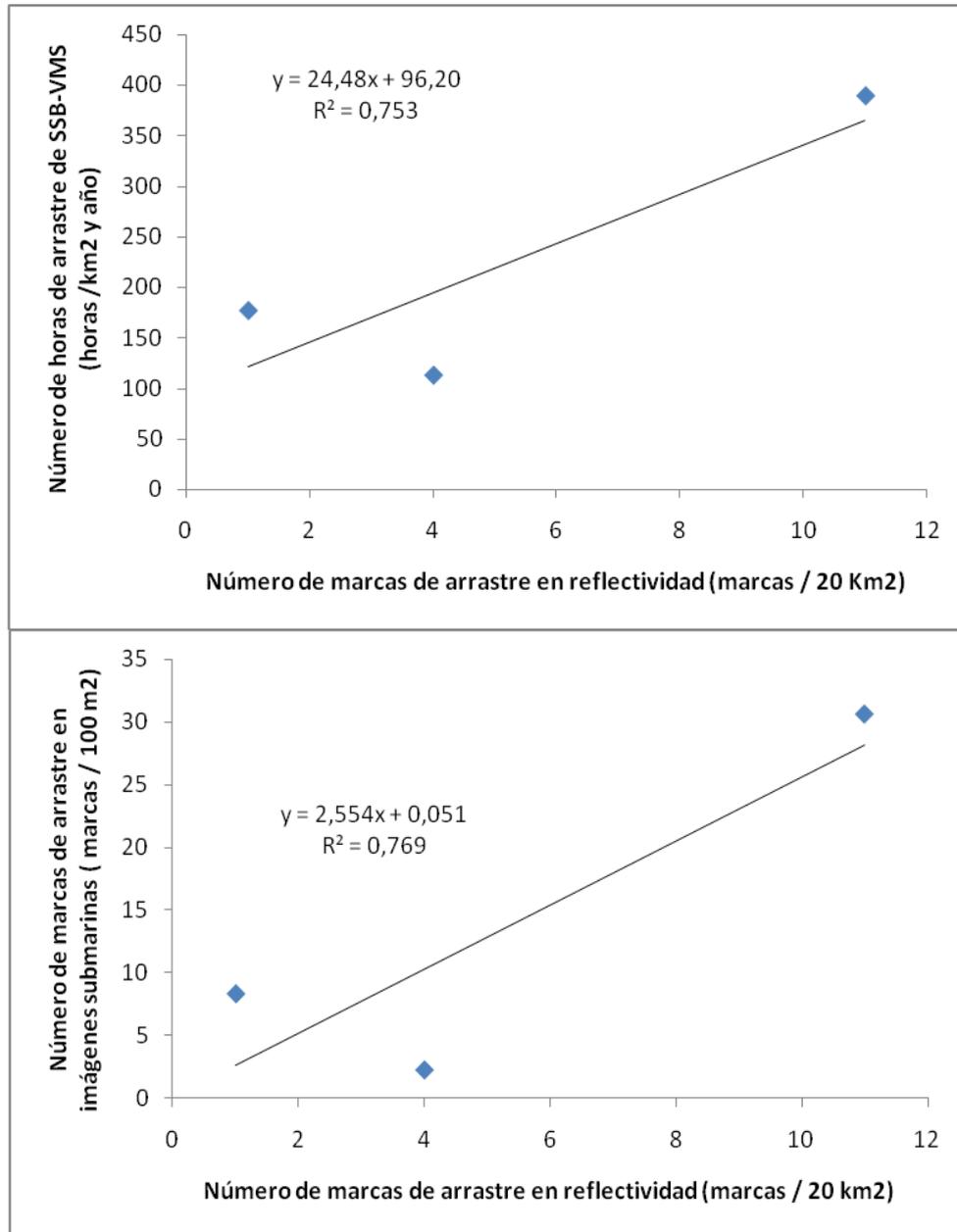


Figura 53. Relaciones del número de marcas de arrastre detectadas con los datos de reflectividad (marcas / 20 Km²) con el número de horas de pesca de arrastre procedentes de los datos de SSB-VMS (número horas / Km²) (arriba) y también con las marcas de arrastre detectadas en las imágenes submarinas (número de marcas / 100 m²) (abajo).

4.3. Principales comunidades y hábitats en caladeros de pesca de arrastre de fondo e Impacto asociado derivado de la pesca de arrastre de fondo

4.3.1. Megafauna de caladeros de pesca en relación a variables ambientales y actividad de arrastre de fondo (Campañas ISUNEPCA 2014-2019)

En los 50 transectos de imágenes submarinas analizadas y procedentes de las campañas ISUNEPCA durante el periodo 2014-2019 en los principales caladeros del *Campo Somero* del LIC (500-600 m de Prof.) se han detectado 9269 individuos/colonias pertenecientes a 60 OTUs diferentes (que incluyen algunos identificados a nivel de especie y otros a nivel morfológico), siendo los grupos más abundantes el de los cnidarios con 6389 individuos/colonias (69%) seguido de los equinodermos con 1939 (21%) (Fig. 54). En cuanto al número de OTUs, los grupos más diversos fueron los cnidarios con 15 OTUs (25%), seguido de los cordados con 14 (23%), artrópodos 12 (20%) y equinodermos con 9 (15%) OTUs (Fig. 54).

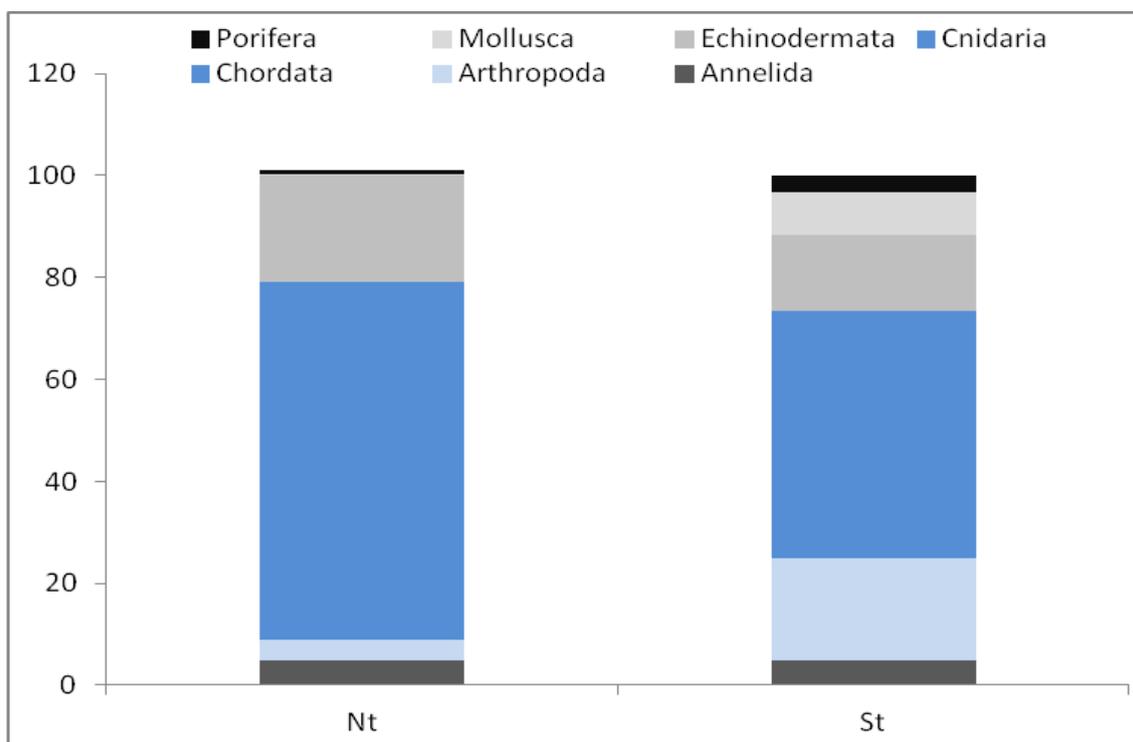


Figura 54: Abundancia de especies (Nt, %) y riqueza (St, %) de los transectos de imágenes submarinas de las campañas ISUNEPCA en los principales caladeros de pesca del *Campo Somero de Expulsión de Fluidos* del golfo de Cádiz (entre 500 y 600 metros de profundidad).

Según la abundancia, los 5 principales OTUs dominantes en los transectos de las imágenes submarinas fueron los pennatuláceos *Kophobelemnion stelliferum*, *Funiculina quadrangularis* y *Pennatula aculeata* (47, 16 y 3% respectivamente) presentes en fondos con un alto porcentaje de fango (zonas fangosas y fango arenosas), el crinoideo *Leptometra phalangium* (21%) observados principalmente sobre fondos principalmente arenosos o arenoso fangoso y con una velocidad de la corriente próxima al fondo media/alta y el OTU *Filograna-Salmacina* con un 5% de dominancia y localizados mayoritariamente en áreas de fondo arenoso.

Usando los datos de abundancia de los OTUs sin transformar y el índice de similitud de Bray-Curtis se obtuvieron cuatro grandes grupos de muestras (similitud > 30%) usando para ello un test de significación de los grupos (SIMPROF con una probabilidad de 0,05) (Fig. 55). El primer grupo contenía transectos de imágenes procedentes de áreas muy cercanas al canal Gusano y la Dorsal Diapírica de Cádiz (Grupo I); el Grupo II se correspondían con aquellos transectos que se localizaban en los fondos adyacentes a los volcanes de fango Anastasya y Tarsis y en áreas próximas al canal gusano; la tercera agrupación (Grupo III) incluyó los transectos localizadas a ambos lados del canal Gusano; y, por último, el Grupo IV contenía transectos del área más occidental del LIC. En la Tabla 11 se muestran los OTUs que se detectaron mediante los análisis SIMPER en base al factor creado en el SIMPROF con una probabilidad del 0,05 y que caracterizaron a los diferentes grupos detectados en el Cluster y MDS.

El grupo I (*Asociación de Leptometra-Actinauge*, Tabla 11) presenta una alta abundancia del crinoideo *L. phalangium* y el antozoo *Actinauge richardi*, así como otras especies como *Cidaris cidaris*, *Thenea muricata* y anélidos Sabellidae. Se localiza en áreas próximas al canal Gusano y a la dorsal diapírica de Cádiz, zona que se caracteriza por un alto hidrodinamismo y la presencia de sedimento compuesto mayoritariamente por arenas (Fig. 56). Además, la presencia de actividad de arrastre de fondo es baja. Este grupo correspondería a los hábitats *Fondos detríticos batiales con campos de Leptometra phalangium y Arena y arena fangosa batiales dominadas por hormathiidae* (*Actinauge richardi*) de Rueda et al. (2022b).

El grupo II (*Asociación de pennatuláceos de alta densidad*, Tabla 11) se caracteriza por la presencia de una alta abundancia de pennatuláceos (principalmente *K. stelliferum* seguido de *F. quadrangularis* y, en menor medida, *P. aculeata*). Se concentran en los fondos adyacentes de los volcanes de fango de Anastasya y Tarsis y áreas próximas al canal Gusano (Fig. 56). Esta zona se caracteriza por un hidrodinamismo medio/bajo y la presencia de sedimento fangoso y con una actividad de arrastre de fondo baja/media. Este grupo correspondería claramente al hábitat *Fangos y arenas fangosas batiales con pennatuláceos*.

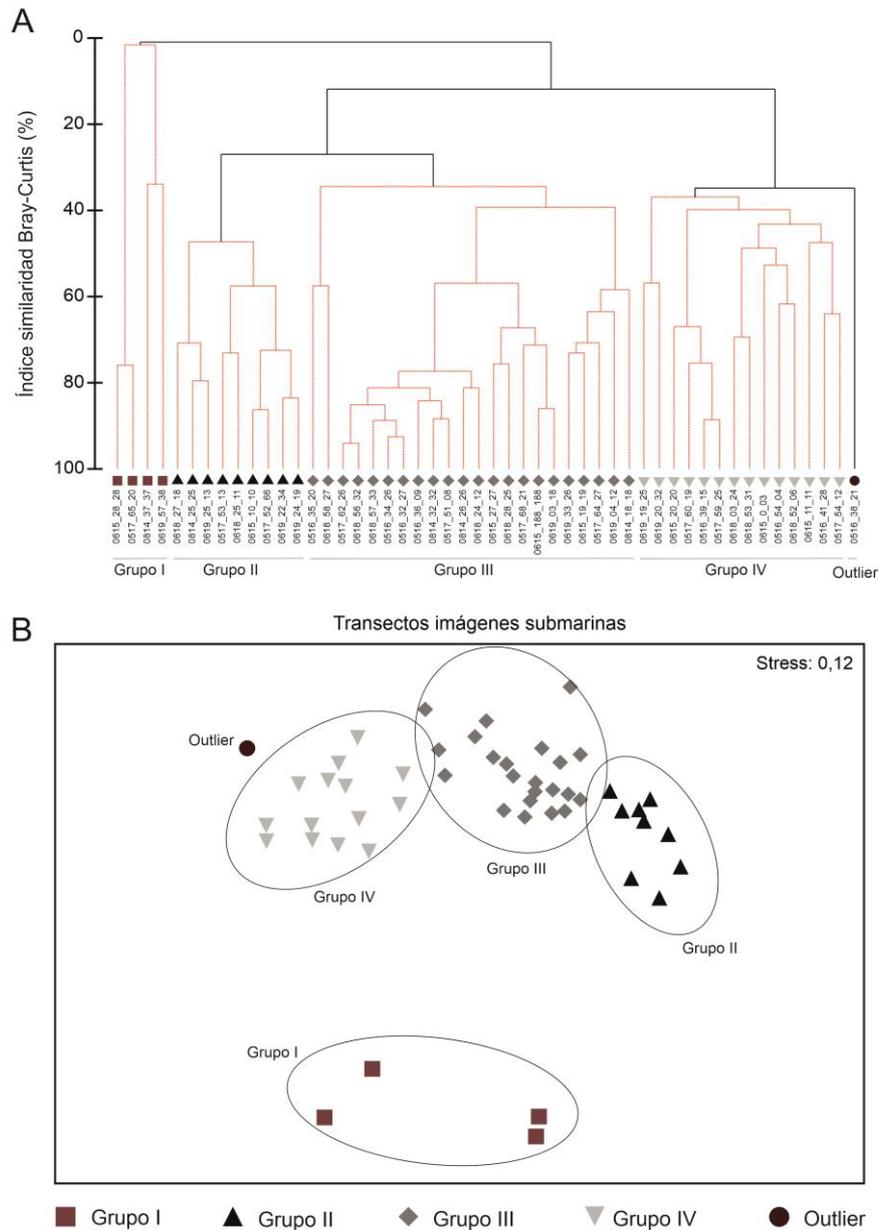


Figura 55. Cluster y nMDS usando datos de abundancia sin estandarizar y el índice de similitud de Bray-Curtis y mostrando los 4 grupos de transectos obtenidos (interpretados como diferentes asociaciones de megafauna) y un outlier (IV). Línea continua fina separa las agrupaciones que mostraron diferencias significativas en el SIMPROF ($p < 0,05$).

El grupo III (*Asociación de pennatuláceos de media densidad*, Tabla 11) se caracteriza por la presencia de una abundancia media de pennatuláceos así como de los crustáceos *Munida* spp. y *N. norvegicus*. Se concentran en las áreas a ambos lados del canal Gusano y en él se observa un hidrodinamismo bajo/medio así como que se aprecia ya una importante actividad de arrastre de fondo aunque menor que en otras

áreas (Fig. 56). Este grupo correspondería a una facies de media-baja densidad del hábitat *Fangos y arenas fangosas batiales con pennatuláceos*

Tabla 11. Contribuciones acumulativas a la similitud (%Acum) de las especies/OTUs (*Operational Taxonomic Units*) que caracterizan las diferentes asociaciones detectadas en el *Campo Somero de Expulsión de Fluidos* del margen español del golfo de Cádiz, basadas en los análisis SIMPER y multivariantes (CLUSTER) utilizando los datos de abundancia. (VF: Volcán de fango) (C: Crustáceo; CN: Cnidario; E: Equinodermo). Av. Abund: Abundancia media; %Contrib: Porcentaje de contribución; %Acum: Porcentaje acumulada.

Grupo I (<i>Canal Gusano y áreas próximas a la Dorsal Diapírica de Cádiz, asociación de Leptometra-Actinauge</i>)			
Media similitud: 19,48			
Especies	Av. Abund	%Contrib	%Acum
<i>Leptometra phalangium</i> (Müller, 1841) (E)	434,27	64,89	64,89
<i>Actinauge richardi</i> (Marion, 1882) (CN)	10,11	33,64	98,54
Grupo II (Fondos adyacentes de VF Anastasya y Tarsis y áreas próximas al canal Gusano, asociación de pennatuláceos alta densidad)			
Media similitud: 57,48			
Especies	Av. Abund	%Contrib	%Acum
<i>Kophobelemnon stelliferum</i> (Müller, 1776) (CN)	267,59	73,09	73,09
<i>Funiculina quadrangularis</i> (Pallas, 1766) (CN)	81,58	22,34	95,43
Grupo III (A ambos lados del canal Gusano, asociación de pennatuláceos a media densidad))			
Media similitud: 53,12			
Especies	Av. Abund	%Contrib	%Acum
<i>Kophobelemnon stelliferum</i> (Müller, 1776) (CN)	42,66	67,35	67,35
<i>Funiculina quadrangularis</i> (Pallas, 1766) (CN)	17,76	25,78	93,13
Grupo IV (Área más occidental del LIC, asociación de megafauna excavadora-pennatuláceos baja densidad))			
Media similitud: 35,91			
Especies	Av. Abund	%Contrib	%Acum
<i>Munida</i> spp. Leach, 1820 (C)	8,91	57,92	57,92
<i>Cerianthus</i> spp. Delle Chiaje, 1841 (CN)	3,57	20,61	78,53
<i>Funiculina quadrangularis</i> (Pallas, 1766) (CN)	1,84	5,53	84,06
<i>Kophobelemnon stelliferum</i> (Müller, 1776) (CN)	1,49	5,18	89,24
<i>Nephrops norvegicus</i> (Linnaeus, 1758) (C)	0,99	4,11	93,35
Outlier (1)			

El grupo IV (*Asociación de megafauna excavadora y pennatuláceos de baja densidad*, Tabla 11) se caracteriza por la presencia de una alta abundancia del decápodo *Munida* spp así como del OTUs *Cerianthus* sp. y una baja densidad de las diferentes especies de pennatuláceos. Se concentran en las áreas más próximas a

costa (área más occidental del LIC) y se caracteriza por un bajo hidrodinamismo (Fig. 56). Este grupo correspondería a *Fangos y arenas fangosas batiales dominadas por fauna excavadora*, *Fangos batiales con dominancia de ceriantarios* y en menor medida a una facies de baja densidad del hábitat *Fangos y arenas fangosas batiales con pennatuláceos*.

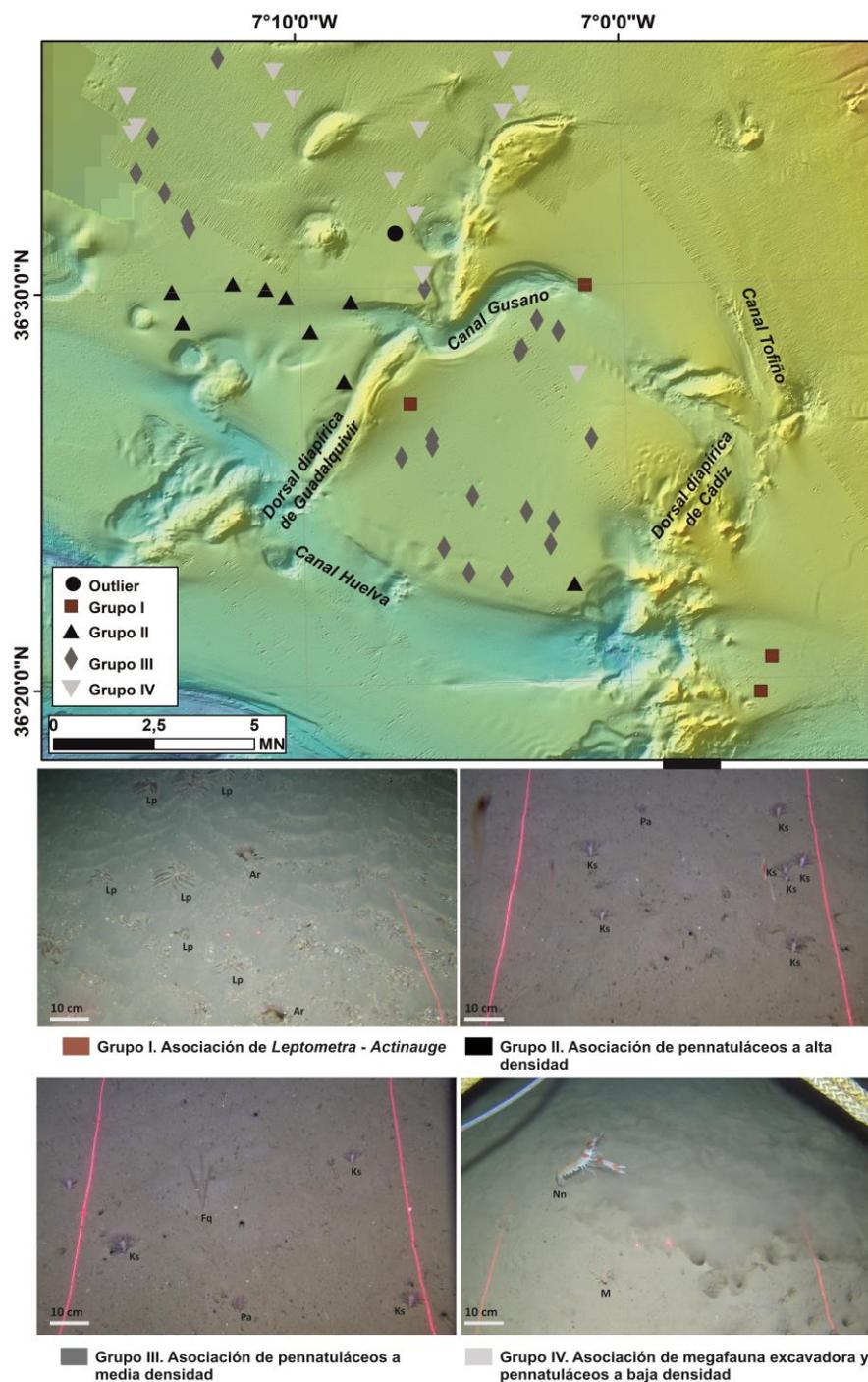


Figura 56. Distribución de los diferentes grupos de transectos de imágenes submarinas detectados en análisis multivariantes e interpretados como diferentes asociaciones de megafauna de los caladeros de pesca.

En los resultados del análisis SIMPER (Tabla 11), se detectó que las diferencias entre 1) el Grupo I y II (Disimilitud = 99,31%) se debieron principalmente a una mayor abundancia de *K. stelliferum* en el grupo II y *L. phalangium* en el grupo I; 2) entre el Grupo I y III (Disimilitud = 99,20%) se observó, al igual que en el caso anterior, que las mayores diferencias se debían a los mismos OTUs pero con una menor contribución; 3) entre el Grupo I y IV (Disimilitud = 98,36%) los principales OTUs que contribuyeron a esta disimilitud fueron *L. phalangium* (48,71%), *Munida* spp (13,56%), *A. richardi* (12,10%) y *Cerianthus* spp. (5,44%); 4) entre el Grupo II y III (Disimilitud = 72,93%) se observó la menor disimilitud correspondiéndose a una diferencia en la abundancia de *K. stelliferum*, *F. quadrangularis* y *Filograna-Salmacina*; 5) entre el Grupo II y IV (Disimilitud = 97,07%), al igual que en el caso anterior, dicha disimilitud fueron influenciadas por la abundancia de los mismos OTUs; 6) entre el Grupo III y IV (Disimilitud = 83,58%), al igual que en los casos anteriores, la contribución en esta diferencia se vió afectada por los pennatuláceos y por la megafauna excavadora (*Munida* spp. con un 11,21% y *N. norvegicus* con 1,92%), entre otros OTUs.

En relación a los índices ecológicos y de sensibilidad de las asociaciones de megafauna bentónica y demersal detectadas en los caladeros de pesca del *Campo Somero* (Fig. 57), la riqueza específica fue la única variable que no mostró diferencias significativas entre las asociaciones (Kruskal Wallis, $X^2 = 5,08$, $p > 0,05$). La abundancia mostró diferencias significativas con máximos en las asociaciones de *Leptometra-Actinauge* (grupo I) y de pennatuláceos a alta densidad (Grupo II) y mínimos en la asociación de megafauna excavadora y pennatuláceos a baja densidad (grupo IV) (Kruskal Wallis, $X^2 = 29,89$, $p < 0,001$) (Fig. 57). El índice de diversidad de Shannon-Wiener y la equirrepartición mostraron tendencias muy similares con diferencias significativas y máximos para la asociación de megafauna excavadora y pennatuláceos a baja densidad (grupo IV) (Kruskal Wallis, $X^2 = 18,45$, $p < 0,005$; $X^2 = 22,56$, $p < 0,001$, respectivamente). Finalmente, el índice BESITO mostró también diferencias significativas con máximos en las asociaciones de pennatuláceos a alta (grupo II) y media densidad (grupo III) y mínimos en las asociaciones de *Leptometra-Actinauge* (grupo I) y megafauna excavadora y pennatuláceos a baja densidad (grupo IV) (Kruskal Wallis, $X^2 = 42,01$, $p < 0,001$) (Fig. 57).

En relación a las variables ambientales y aquellas relacionadas con la actividad de arrastre de fondo, también se detectaron diferencias significativas en algunos índices ecológicos. En relación a la profundidad, se detectaron diferencias significativas para la abundancia (Kruskal Wallis, $X^2 = 9,69$, $p < 0,01$) y el índice BESITO (Kruskal Wallis, $X^2 = 24,75$, $p < 0,001$). En relación a la velocidad de la corriente próxima al fondo, sólo se detectaron diferencias significativas para la abundancia (Kruskal Wallis, $X^2 = 6,07$, $p < 0,05$). En relación a las horas de arrastre de fondo procedentes de datos SSB-VMS, se detectaron diferencias significativas para la

abundancia (Kruskal Wallis, $X^2 = 7,17$, $p < 0,05$) y el índice BESITO (Kruskal Wallis, $X^2 = 14,48$, $p < 0,005$). En relación a la superficie arrastrada, se detectaron diferencias significativas para la abundancia (Kruskal Wallis, $X^2 = 12,79$, $p < 0,005$), la equirrepartición (Kruskal Wallis, $X^2 = 6,22$, $p < 0,05$) y el índice BESITO (Kruskal Wallis, $X^2 = 13,34$, $p < 0,005$). Finalmente y en relación al número de marcas de arrastre detectadas en las imágenes submarinas, se detectaron diferencias para todos los índices estudiados (En todos los casos Kruskal Wallis, $X^2 > 6,05$, $p < 0,05$).

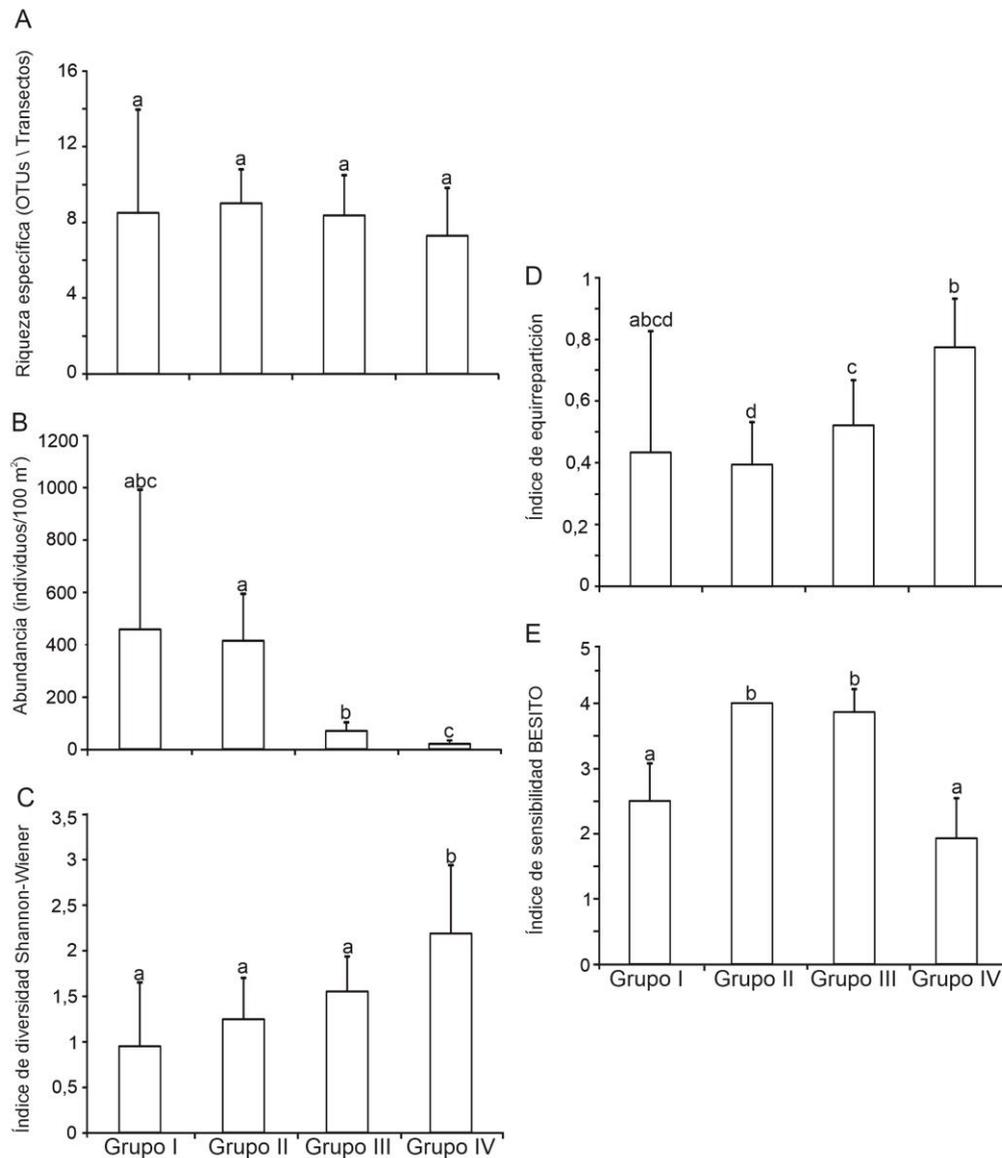


Figura 57. Índices ecológicos y de sensibilidad al arrastre de fondo en las 4 agrupaciones de transectos detectadas en los análisis multivariantes e interpretadas como diferentes asociaciones de megafauna bentónica y demersal. Letras diferentes muestran diferencias significativas de los índices entre asociaciones en la prueba de U-Mann Whitney ($p < 0,05$).

Finalmente se estudiaron las relaciones de las variables ambientales y de arrastre de fondo con las asociaciones de megafauna de los análisis multivariantes. En el

Análisis de Componentes Principales (ACP), los dos primeros componentes explicaron el 51,4% de la varianza total utilizando datos de abundancia de OTUs de imágenes submarinas. En el ACP, la variabilidad a lo largo del eje PC₁ se explicó principalmente por un aumento de la actividad de arrastre de fondo en relación al número de marcas de arrastre de las imágenes submarinas, número de horas de arrastre de SSB-VMS y superficie arrastrada, así como por una disminución de la profundidad, tipo de sedimento y temperatura del agua del fondo marino, mientras que en el eje PC₂ se explicó por un aumento de la velocidad de la corriente próxima al fondo y la salinidad (Fig. 58). La ordenación de las muestras de las diferentes asociaciones bentónico-demersales detectada en los análisis de cluster y MDS también fue consistente en el ACP.

Las muestras del grupo I (Asociación de *Actinauge-Leptometra*), quedarían expuestas a una mayor salinidad y velocidad de corriente próxima al fondo de moderada a alta, y se situaron en la parte positiva del eje PC₁ y del eje PC₂. Las muestras del grupo II (Comunidades de pennatuláceos a alta densidad), situadas en la parte negativa del PC₁ y la positiva del PC₂, estarían expuestas a una mayor profundidad y temperatura y sedimento más arenoso, así como a una menor actividad de arrastre de fondo en todas las estimaciones de este estudio. Las muestras del grupo III (Comunidad de pennatuláceos a media densidad), se localizan en la parte negativa tanto del PC₁ y del PC₂, y estarían expuestas a una baja velocidad de la corriente y salinidad y a una intermedia actividad de arrastre de fondo. Finalmente, las muestras del grupo IV (Asociación de megafauna excavadora y pennatuláceos a baja densidad), localizadas en la parte positiva del PC₁ y negativa del PC₂, quedarían expuestas a una alta actividad de arrastre de fondo, un sedimento menos arenoso y a una menor profundidad y velocidad de la corriente próxima al fondo.

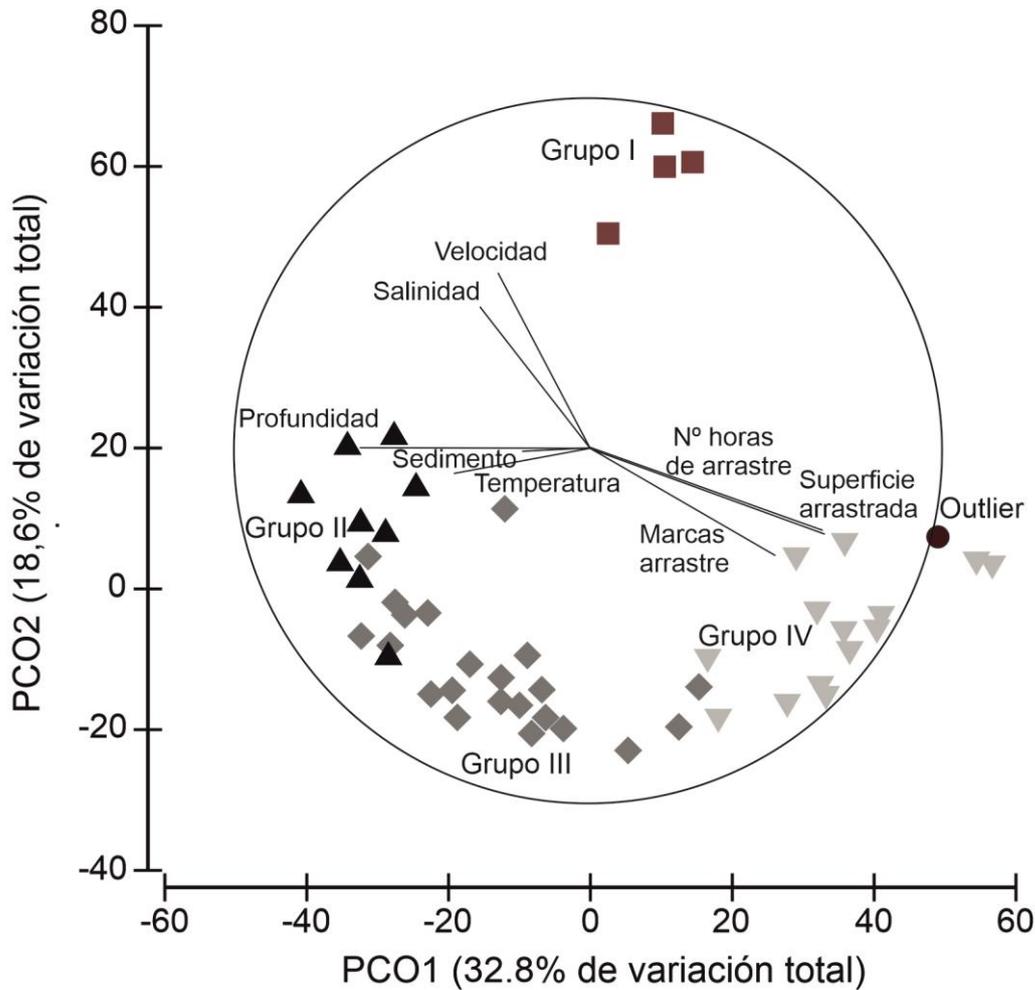


Figura 58. Análisis de Componentes Principales (ACP) de las variables ambientales y de la actividad de arrastre en relación a los datos de abundancia de OTUs de fauna bentónica y demersal de transectos de imágenes submarinas de las campañas ISUNEPCA. Las flechas representan variables ambientales y la longitud de la flecha indica el valor de correlación entre la variable ambiental y los datos de abundancia y biomasa. Se han incluido los símbolos del outlier y las diferentes asociaciones obtenidas en los análisis Cluster y MDS. Grupo I: Asociación de *Leptometra-Actinauge*; Grupo II: Asociación de pennatuláceos de alta densidad; Grupo III: Asociación de pennatuláceos a media densidad; Grupo IV: Asociación de megafauna excavadora-pennatuláceos baja densidad.

4.3.2. Impacto de la actividad de arrastre de fondo en los principales hábitats de caladeros de pesca del Campo Somero (Campaña INTEMARES A4 CAD)

4.3.2.1. Hábitat 1180 - Estructuras submarinas producidas por el escape de gases

El impacto sobre el hábitat 1180 se estimó mediante la combinación de transectos de imágenes submarinas y muestras de box-corer. Se realizaron 3 transectos de imágenes submarinas en la cima del volcán de fango Anastasya y 2 en el volcán de fango Tarsis. En Anastasya se detectó generalmente una abundancia significativamente mayor de indicios relacionados con la emisión (ej. mayor densidad de tapetes bacterianos, restos de especies quimiosintéticas, burbujeo, carbonatos autigénicos) que en Tarsis (Kruskal Wallis, $X^2 > 4,2$, $p < 0,05$ en la mayoría de comparaciones) (Figs. 59 & 60). Además, en Anastasya se detectó una alta densidad de pennatuláceos de gran tamaño y alta concentración de cefalópodos (*Eledone cirrhosa*) que acudirían a la zona para aprovechar la alta presencia de bivalvos ligados a las emisiones de fluidos (Fig. 59). Posiblemente esta abundancia mayor de tapetes y bivalvos en Anastasya se debe a mayor cantidad de emisiones de fluidos con respecto a Tarsis, y no a un posible efecto de la actividad de arrastre de fondo.

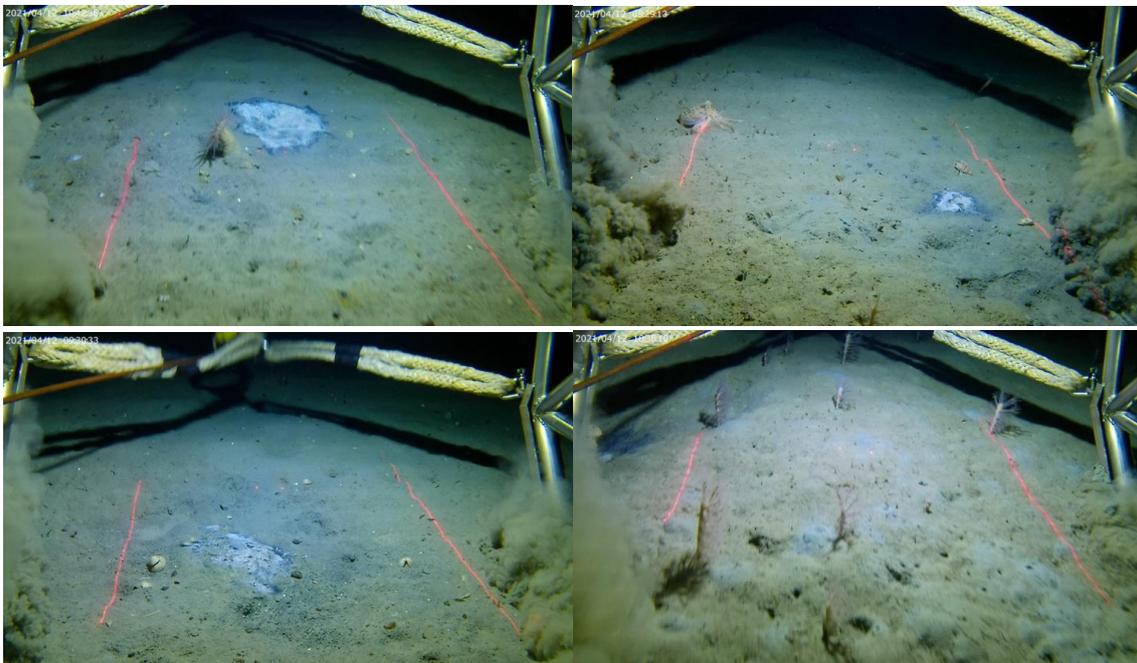


Figura 59. Algunos ejemplos de tapetes bacterianos y fauna presentes en la cima del volcán de fango Anastasya, incluyendo diferentes especies de pennatuláceos y ejemplares del cefalópodo *Eledone cirrhosa*.

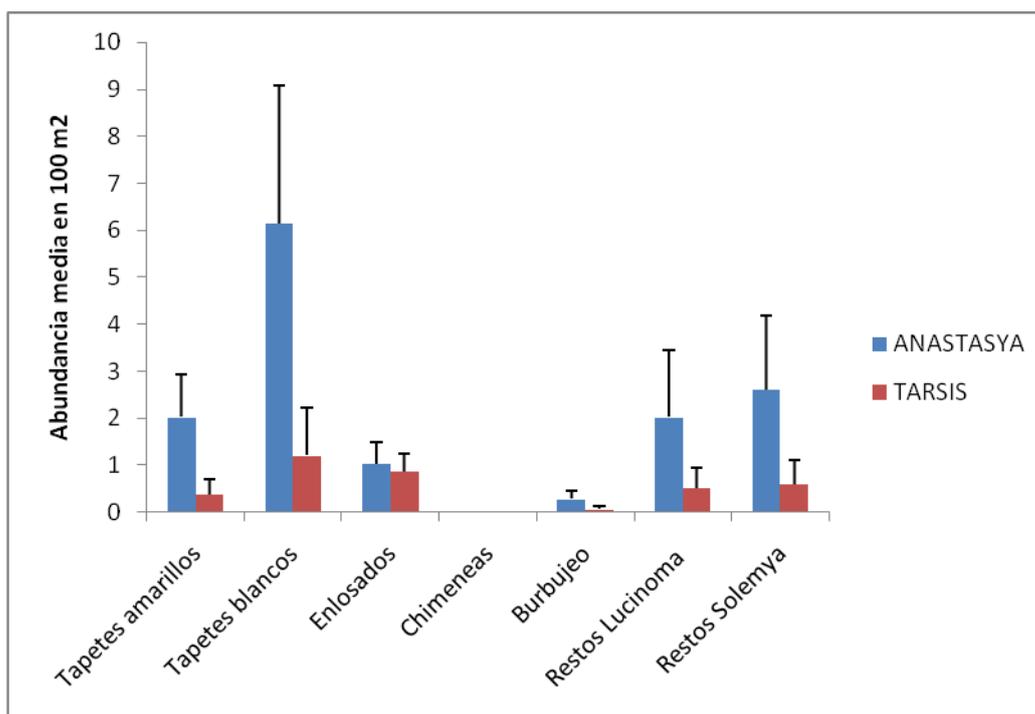


Figura 6o. Abundancia media (+ error estándar) de tapetes bacterianos, carbonatos autigénicos (chimeneas y enlosados), zonas con burbujeo y restos de *Lucinoma asapheus* y *Solemya elarraichensis* en las cimas de los volcanes de fango Anastasya (en zona de alta actividad de arrastre de fondo) y Tarsis (en zona de baja actividad de arrastre de fondo).

En el visionado de las imágenes de INTEMARES A4 CAD, realizada en el año 2021, se estimaron las tallas de tapetes bacterianos y se observó que mostraban tamaños similares o incluso mayores a los detectados hace casi 10 años en las imágenes submarinas obtenidas en la campaña INDEMARES-CHICA 0412. En el caso de los tapetes amarillos, la media del diámetro máximo es de $3,66 \pm 1,80$ cm (media \pm error estándar) y un rango entre 2 y 9 cm. En el caso de los tapetes blancos, la media del diámetro máximo es de $5,56 \pm 0,51$ cm (media \pm error estándar) y un rango entre 1 y 39 cm.

En las muestras de box-corer recolectadas se detectó una composición y abundancia similar e incluso mayor de especies quimiosimbióticas a lo encontrado en la campaña de INDEMARES-CHICA 0211 y 0412 (Rueda et al., 2012b) (Fig. 61). Para el bivalvo *Solemya elarraichensis* fue bastante claro, con hasta 66,7 individuos por metro cuadrado en 2011 (Rueda et al., 2012b) pero con hasta 154 individuos por metro cuadrado en 2021 (muestras de INTEMARES A4 CAD). Pero para el bivalvo *Lucinoma asapheus* tanto en el 2011 (Rueda et al., 2022b) como en el 2021 (muestras de INTEMARES A4 CAD) se detectó hasta 22,2 individuos por metro cuadrado en ambos casos.



Figura 61. Ejemplares de especies quimiosimbióticas recolectados en una única muestra de meso box-corer en la cima del volcán de fango Anastasya durante la campaña INTEMARES A₄ CAD en 2021, incluyendo diferentes ejemplares de los bivalvos *Solemya elarraichensis* y *Lucinoma asapheus*, así como del crustáceo decápodo *Calliax lobata*.

En relación a las marcas de arrastre detectadas en las imágenes submarinas, sólo se detectaron 2 marcas de arrastre en todos los transectos visionados, lo cual contrasta enormemente con el número de marcas de arrastre de los fondos adyacentes del caladero (Fig. 62). Se detectó un número significativamente menor de marcas de arrastre en las cimas de Anastasya y Tarsis con respecto a las estimaciones obtenidas de los fondos adyacentes de caladeros de pesca procedentes de las campañas ISUNEPCA e INTEMARES A₄ CAD (Kruskal Wallis, $p < 0,01$). La ausencia de marcas de arrastre en la cima de Anastasya también fue patente en los datos de reflectividad obtenidos en ese polígono, donde se aprecian varias marcas de arrastre en los fondos adyacentes al volcán que parecen evitar el solapamiento de las mismas con la ladera y con la cima (Fig. 63).

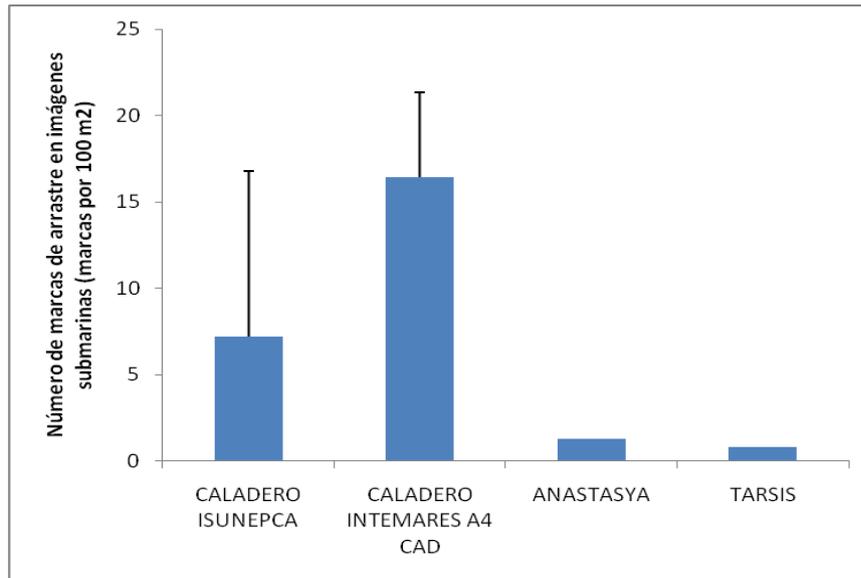


Figura 62. Abundancia media (+ error estándar) de marcas de arrastre en transectos de imágenes submarinas obtenidos en caladeros de pesca durante las campañas ISUNEPCA e INTEMARES A₄ CAD y en las cimas de los volcanes de fango Anastasya (en zona de alta actividad de arrastre de fondo) y Tarsis (en zona de baja actividad de arrastre de fondo).

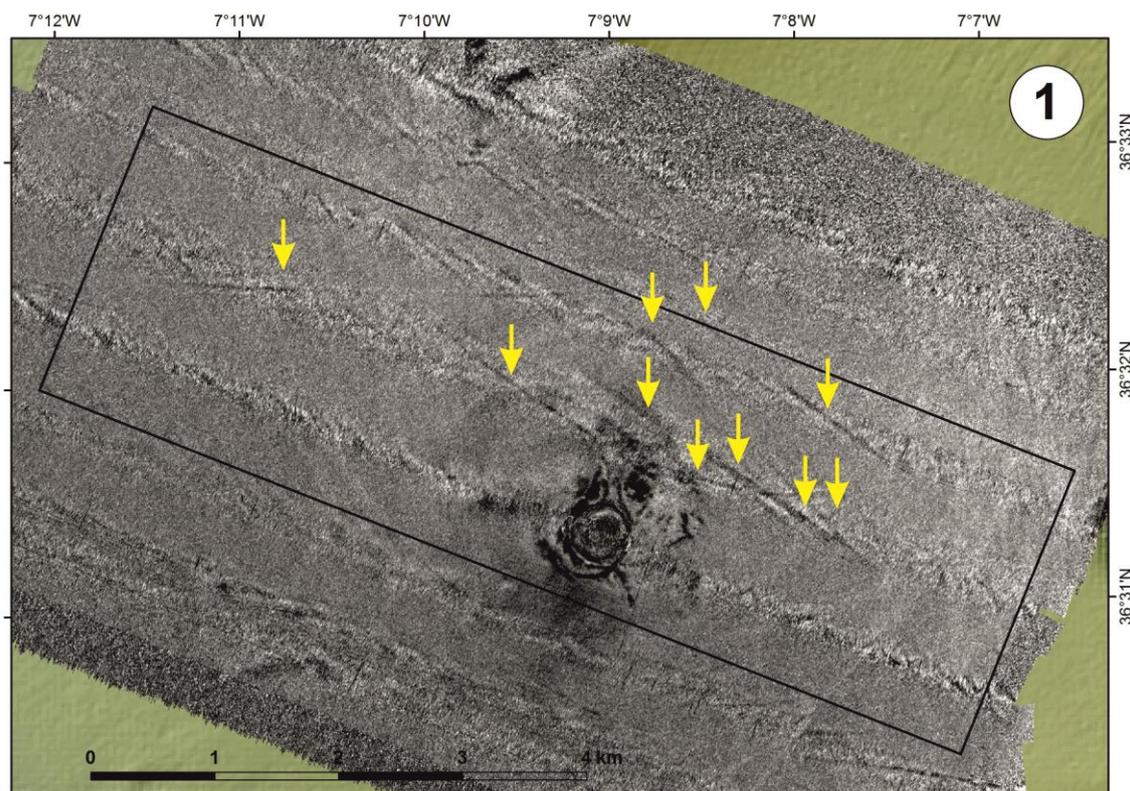


Figura 63. Detalle del polígono 1 obtenido con ecosonda multihaz y mostrando valores de reflectividad, donde se pueden detectar numerosas marcas de arrastre en las proximidades del volcán de fango Anastasya (alta reflectividad-color negro), pero que evitan los flancos y la cima de dicho volcán.

Además, se ha detectado que en algunos años la cima del volcán de fango Anastasya muestra actividad nula de arrastre, por lo que queda total o parcialmente la celda de 1 km² en blanco, es decir, que tras el procesado con los datos de SSB-VMS y su representación con el *software* GIS, se puede observar el fondo del relieve marino (años 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018) (Ver mapas de actividad de arrastre de fondo en ANEXO). En Tarsis se observó este mismo patrón de actividad de arrastre de fondo nula en la cima, concretamente para los años 2009, 2010, 2011, 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018. Esto coincidiría con el bajísimo número de marcas de arrastre detectado en las imágenes submarinas de las cimas de ambos volcanes.

Finalmente, se compararon las densidades de organismos epifaunales en las cimas de los volcanes de fango Anastasya y Tarsis con respecto a las densidades de estas mismas especies en fondos adyacentes de los caladeros. En casi todas las especies, se detectaron abundancias significativas mayores en las cimas de los volcanes frente a los fondos adyacentes de los caladeros, y en concreto generalmente la cima de Tarsis (localizado en una zona de baja actividad de arrastre) mostró los valores más altos de abundancia (Kruskal Wallis, $X^2 > 5,3$, $p < 0,05$ en todos los casos).

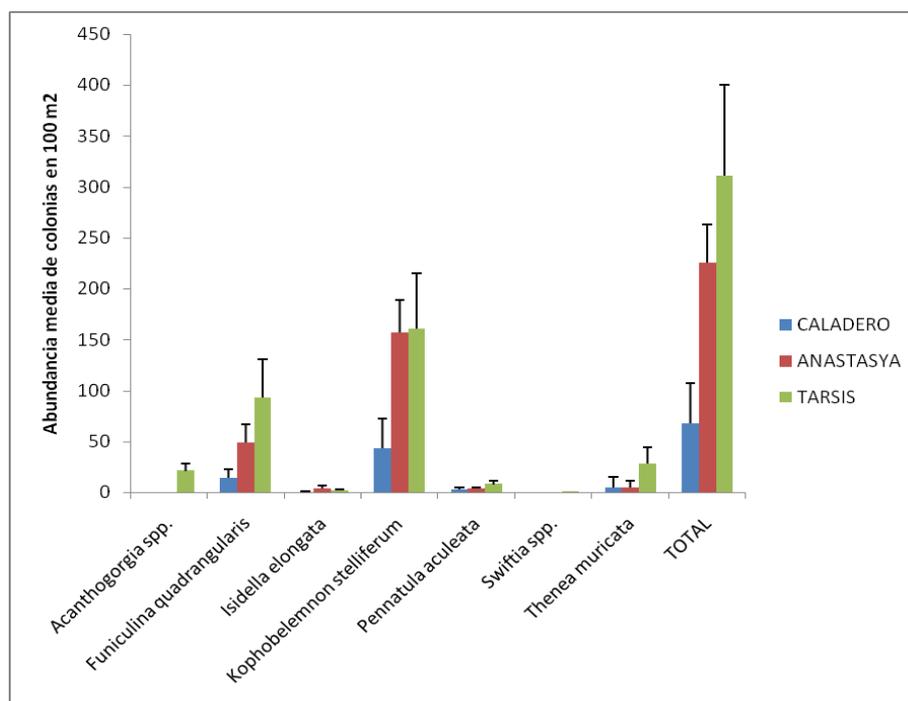


Figura 64. Abundancia media (+ error estándar) de organismos epifaunales formadores de hábitats sedimentarios en transectos de imágenes submarinas obtenidos en caladeros de pesca durante las campañas ISUNEPCA e INTEMARES A4 CAD y en las cimas de los volcanes de fango Anastasya (en zona de alta actividad de arrastre de fondo) y Tarsis (en zona de baja actividad de arrastre de fondo).

En base a todos los análisis realizados, se concluye que el impacto sobre el hábitat 1180 que alberga las comunidades quimiosintéticas dentro del LIC “*Volcanes de fango del golfo de Cádiz*” es prácticamente nulo pues (1) la comunidad bacteriana y quimiosintética muestra valores similares de su composición y estructura tras una década de estudio, (2) además, el número de marcas de arrastre detectadas en los transectos de imágenes submarinas es prácticamente nulo, y, en algunos años, en la representación de los mapas de actividad de arrastre de fondo basados en SSB-VMS muestran cero horas de pesca, y (3) la epifauna que coloniza el fondo marino de las cimas de estos volcanes presenta una abundancia mucho mayor que zonas del caladero con diferente grado de actividad de arrastre (desde alto a bajo). Posiblemente la flota de arrastre de fondo conoce bien la localización de los volcanes de fango y también establecen una forma de pesca de tipo precautoria frente a estas estructuras submarinas para así evitar enfangues indeseados en aquellos volcanes altamente fangosos (ej. Anastasya), o enganches del arte en aquellos que contienen carbonatos autígenicos (ej. Pipoca).

4.3.2.2. Hábitat 1170 - Arrecifes (Comunidades de pennatuláceos)

4.3.2.2.1. Composición y estructura general de las comunidades bentónicas y demersales

En relación con los transectos de imágenes submarinas de la campaña INTEMARES A4 CAD en un gradiente de pesca de arrastre de fondo, se han podido identificar 24 OTUs, principalmente cnidarios (9 OTUs), seguido de equinodermos (6 OTUs), crustáceos y cordados (4 OTUs cada uno), y 1 porífero (Fig. 65). Los filos más abundantes fueron cnidarios (4861 colonias/individuos), seguido de equinodermos (168), poríferos (64), seguido de artrópodos (36) y cordados (23) (Fig. 65). Los OTUs más abundantes fueron *Kophobelemnon stelliferum* (3889 colonias), seguido de *Funiculina quadrangularis* (871), *Cidaris cidaris* (160), *Thenaea muricata* (64) y *Arachnanthus* sp. (24). Los OTUs con menor abundancia fueron *Holothuria* sp., *Monodaeus couchii*, *Ophiura* sp. y *Peltaster placenta* con 1 individuo cada uno.

En las muestras de beam-trawl se detectaron 138 taxones, siendo los más diversos los artrópodos (41 taxones), seguido de moluscos (25), cordados y cnidarios (20 cada uno) y equinodermos (14) (Fig. 65). Los filos menos diversos fueron los anélidos con 10 taxa, poríferos con 6 taxa y braquiópodos y briozoos con 1 taxa cada uno (Fig. 65). Los filos más abundantes fueron cnidarios (1714 colonias/individuos), seguido de equinodermos (999), artrópodos (780), moluscos (104), cordados (97) y poríferos (55). Los filos menos dominantes fueron los anélidos (35 individuos), los braquiópodos (19 individuos) y los briozoos con 13 colonias (Fig. 65). Los taxones más abundantes fueron *K. stelliferum* (1131 colonias), *C. cidaris* (852), *F. quadrangularis* (437), *Processa*

canaliculata (134) y *Parapenaeus longirostris* (116). Los taxones menos abundantes fueron *Abralia veranyi*, *Ampulla priamus*, *Heteranomia squamula* y *Astarte sulcata* (1 individuo en todos los casos).

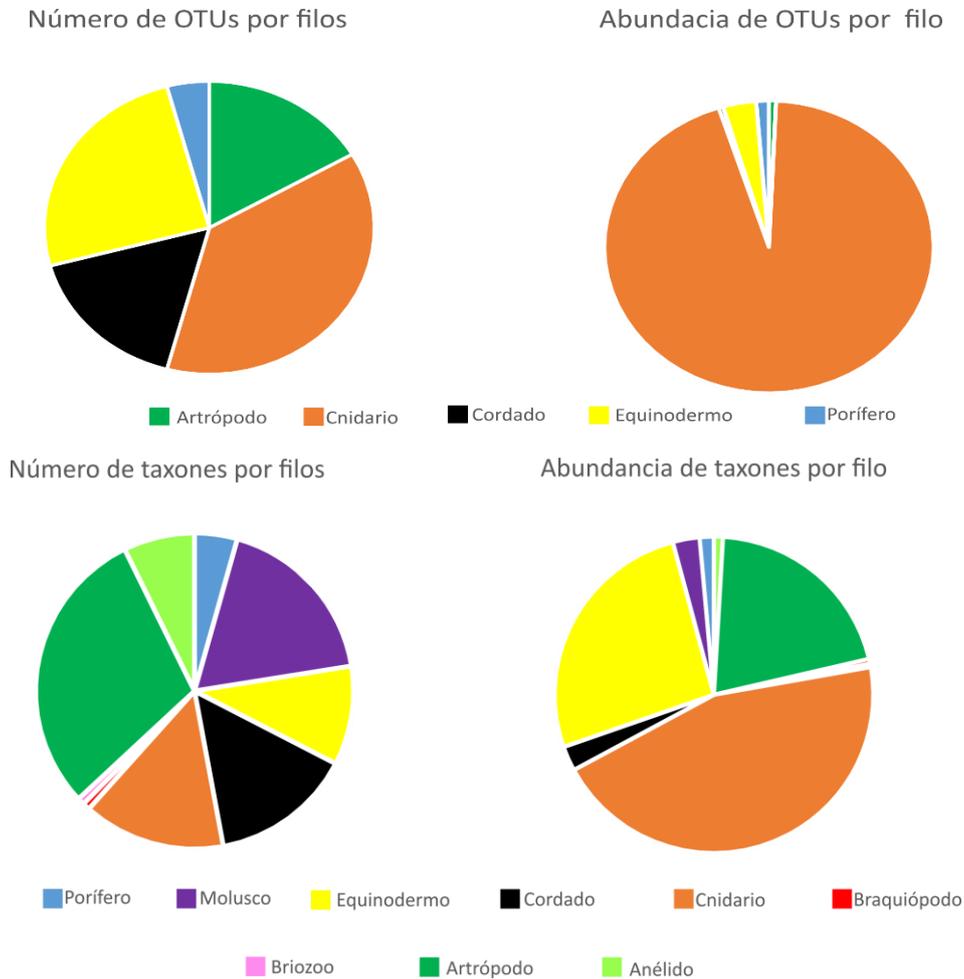


Figura 65. Distribución de número de OTUs y taxones (izquierda) y abundancia de éstos (derecha) en relación con los diferentes filos en transectos de imágenes submarinas (arriba) y beam-trawl (abajo) de la campaña INTEMARES A4 CAD.

4.3.2.2.2. Caracterización de las comunidades bentónicas y demersales

Se realizaron diferentes pruebas multivariantes (ej. cluster, SIMPROF, nMDS, ANOSIM, SIMPER) a partir de los datos de abundancia de las matrices de las comunidades bentónicas y demersales obtenidas a partir de imágenes submarinas y de muestras del beam-trawl y usando el índice de similitud de Bray-Curtis, con el objetivo de caracterizar las diferentes comunidades bentónicas y demersales y

estudiar su relación con diferentes factores ambientales y pesqueros. El cluster con los datos obtenidos de las imágenes submarinas mostró 2 grupos significativos (SIMPROF, $p < 0,05$), los cuales se agruparon respondiendo mayoritariamente a factores relacionados con la actividad de arrastre de fondo, tanto procedente del contaje de las marcas de arrastres en los transectos de imágenes submarinas (Factor: Marcas arrastre), como del número de horas de arrastre de los datos SSB-VMS (Factor: SSB-VMS) (Fig. 66 y 67). El nMDS mostró una ordenación de los transectos de imágenes submarinas de las estaciones de muestreo que también respondían mayoritariamente a los factores de actividad de arrastre de fondo (Fig. 66 y 67). De hecho, el ANOSIM mostró los mayores valores de R_{ANOSIM} para los factores relacionados con la actividad de arrastre (Tabla 12), como fueron “Marcas arrastre” (R_{ANOSIM} : 0,645, $p < 0,01$) y “SSB-VMS” (R_{ANOSIM} : 0,417, $p < 0,01$), también se detectaron diferencias significativas respecto a los factores “profundidad” (R_{ANOSIM} : 0,285, $p < 0,01$) y “sedimento” (R_{ANOSIM} : 0,338, $p < 0,01$) pero con menores valores de R_{ANOSIM} , y no se detectaron diferencias para “temperatura” (R_{ANOSIM} : 0,063, $p > 0,05$), “salinidad” (R_{ANOSIM} : 0,101, $p > 0,05$) y “velocidad de corriente” (R_{ANOSIM} : 0,136, $p > 0,05$).

Tabla 12. Resultados con el análisis de ANOSIM para los factores utilizados en el presente trabajo para los dos métodos de muestreo.

FACTORES	R_{ANOSIM} Imágenes submarina s	p	R_{ANOSIM} Beam-trawl	p
PROFUNDIDAD	0,285	0,007	0,416	0,001
SEDIMENTO	0,338	0,008	0,146	0,051
TEMPERATURA	0,063	0,274	-0,067	0,735
SALINIDAD	0,101	0,058	0,131	0,045
VELOCIDAD DE CORRIENTE	0,136	0,093	0,1	0,107
MARCAS DE ARRASTRE	0,645	0,001	0,312	0,002
SSB-VMS	0,417	0,002	0,177	0,046

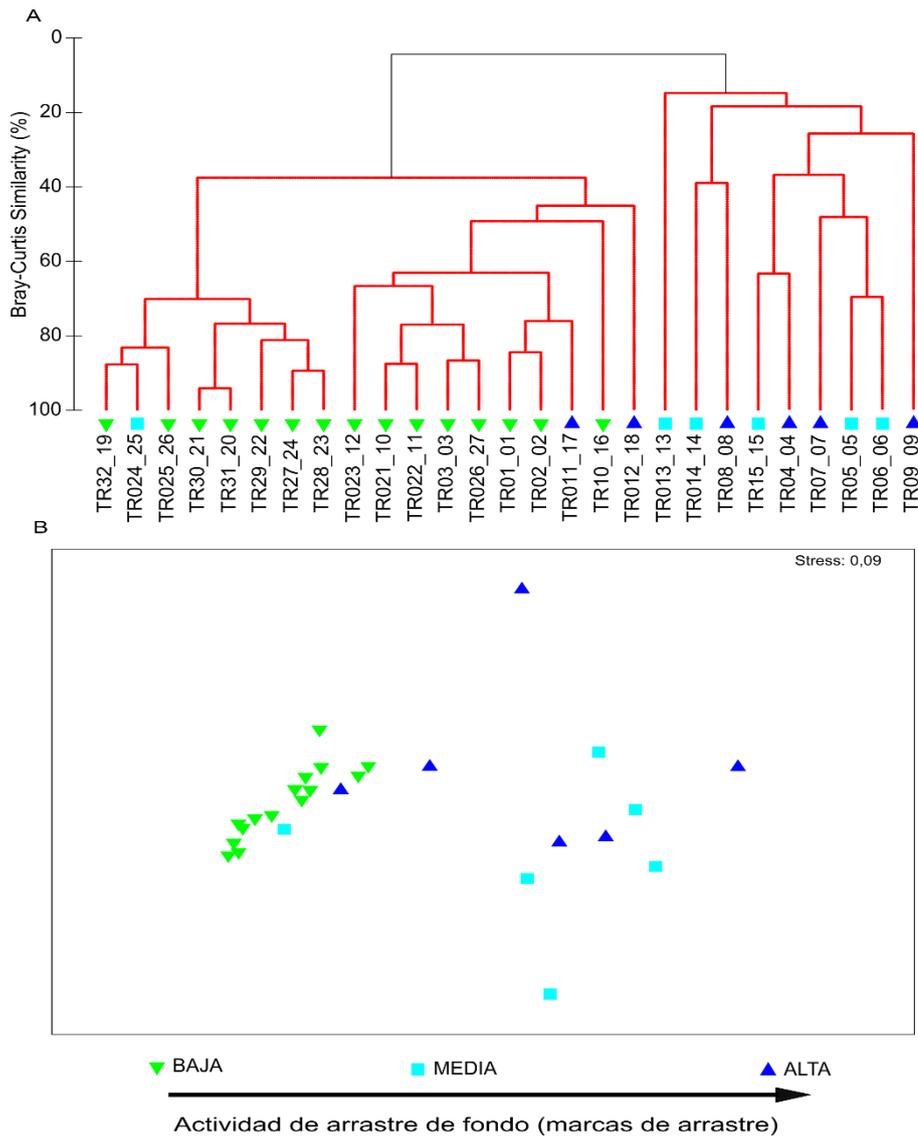


Figura 66. Cluster y nMDS basado en el índice de Bray-Curtis de los datos de abundancia (sin transformar) de las imágenes submarinas en relación al factor Marcas arrastre. Líneas rojas muestran agrupaciones significativas en base al test de SIMPROF ($p < 0,01$).

El SIMPER se realizó en relación a los factores que presentaba los mayores valores de R_{ANOSIM} , los cuales estaban ligados a la actividad de arrastre de fondo (Tabla 13). Al comparar los grupos en función al factor “Marcas arrastre” se observó que las diferencias entre los transectos de (1) bajo y medio número de marcas de arrastre (Disimilitud 86,64%) se debían a una mayor abundancia de *K. stelliferum*, *F. quadrangularis* y *C. cidaris* en el primer caso; (2) de medio y alto número de marcas de arrastre (Disimilitud 79,48%) por una mayor abundancia de *K. stelliferum* y *F. quadrangularis* en los transectos con medio número de marcas de arrastre y una mayor abundancia de *Cerianthus* spp. en los de alto número de marcas de arrastre; (3) bajo y alto número de marcas de arrastre (Disimilitud= 83,23%) por una mayor abundancia de *K. stelliferum*, *F. quadrangularis* y *C. cidaris* en el primero, y una mayor

abundancia de *Cerianthus* spp. en el grupo con alto número de marcas de arrastre. Un patrón muy similar se detectó al comparar los grupos en función al factor “SSB-VMS” (horas de arrastre), pues las diferencias entre los transectos de (1) pocas y medias horas de arrastre (Disimilitud 66,45%) se caracterizaban por una mayor abundancia de *K. stelliferum*, *F. quadrangularis*, *C. cidaris* y *T. muricata* en transectos con pocas horas de arrastre; (2) de media y muchas horas de pesca (Disimilitud 87,44%) por una mayor abundancia de *K. stelliferum*, *F. quadrangularis* y *T. muricata* en media y de *Cerianthus* spp y *Cerianthus violaceo* a mayores horas de pesca; (3) de pocas y muchas horas de arrastre (Disimilitud= 93,88%) por una mayor abundancia de *K. stelliferum*, *F. quadrangularis* y *C. cidaris* en estaciones con pocas horas de arrastre y de *Cerianthus* spp. y *Cerianthus violaceo* en estaciones con muchas horas de arrastre.

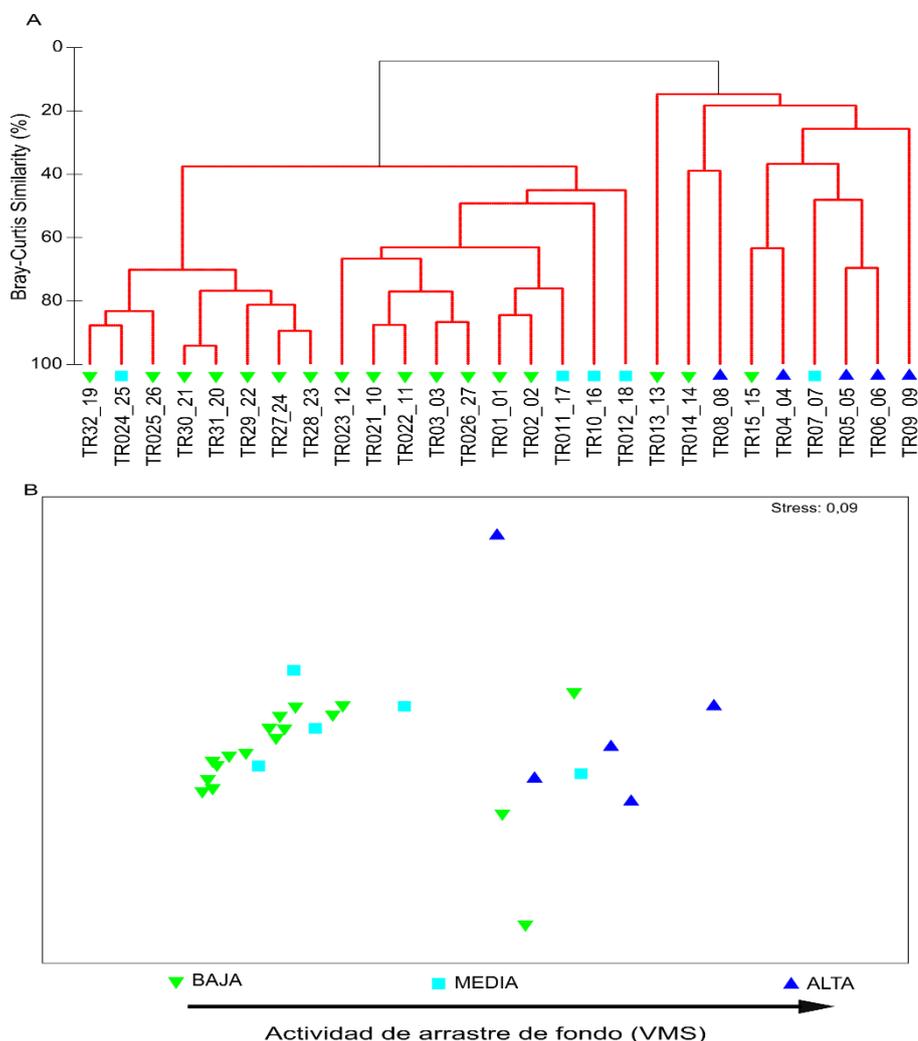


Figura 67. Cluster y nMDS basado en el índice de Bray-Curtis de los datos de abundancia (sin transformar) de las imágenes submarinas en relación al factor horas de pesca de arrastre. Líneas rojas muestran agrupaciones significativas en base al test de SIMPROF ($p < 0,01$).

Tabla 13. Resultados del análisis SIMPER para los datos de transectos de imágenes submarinas en relación a los factores que tuvieron mayores valores de R_{ANOSIM} en el análisis de ANOSIM, fundamentalmente aquellos relacionados con la actividad de arrastre de fondo Av. Abund: Abundancia media; Av. Sim: Similitud media; Sim/SD: Similitud/desviación estándar; Contrib%: Porcentaje de contribución a la similitud; Cum%: Porcentaje de contribución acumulado a la similitud.

MARCAS ARRASTRE

Grupo bajo número de marcas de arrastre (Similitud media: 52,51%)

OTUs	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Kophobelemnon stelliferum</i>	179,35	43,17	2,32	82,21	82,21
<i>Funiculina quadrangularis</i>	40,49	7,85	1,17	14,96	97,17

Grupo medio número de marcas de arrastre (Similitud media: 19,85%)

OTUs	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Cidaris cidaris</i>	1,20	4,61	0,66	23,22	23,22
<i>Cerianthus violaceo</i>	1,69	3,46	0,40	17,42	40,64
<i>Arachnanthus sp.</i>	1,13	3,01	0,51	15,15	55,79
<i>Cerianthus spp.</i>	1,29	2,78	0,47	14,02	69,81
<i>Kophobelemnon stelliferum</i>	37,44	2,24	0,55	11,28	81,09
<i>Galeus spp.</i>	0,73	2,00	0,51	10,07	91,16

Grupo alto número de marcas de arrastre (Similitud media: 17,58%)

OTUs	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Kophobelemnon stelliferum</i>	18,22	8,10	0,63	46,08	46,08
<i>Cerianthus spp.</i>	1,50	5,21	0,58	29,65	75,73
<i>Funiculina quadrangularis</i>	2,52	2,60	0,64	14,78	90,51

SSB-VMS

Grupo baja horas de arrastre (Similitud media: 38,75%)

OTUs	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Kophobelemnon stelliferum</i>	156,67	31,80	1,26	82,07	82,07
<i>Funiculina quadrangularis</i>	33,95	5,05	0,87	13,04	95,11

Grupo media horas de arrastre (Similitud media: 29,19%)

OTUs	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Kophobelemnon stelliferum</i>	71,22	22,60	1,43	77,43	77,43
<i>Funiculina quadrangularis</i>	15,88	5,36	0,87	18,36	95,79

Grupo alta horas de arrastre (Similitud media: 27,73%)

OTUs	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Cerianthus spp.</i>	1,82	12,83	1,14	46,28	46,28
<i>Cerianthus violaceo</i>	1,86	5,58	0,52	20,12	66,40
<i>Arachnanthus sp.</i>	1,32	5,12	0,62	18,47	84,87
<i>Funiculina quadrangularis</i>	0,66	2,74	0,60	9,90	94,77

En el análisis con datos de muestras de beam-trawl se detectaron patrones muy similares a los detectados con los datos de las imágenes submarinas. Se obtuvo un cluster con 4 grupos significativos (SIMPROF, $p < 0,01$), en los cuales las muestras parecían agruparse en función a la profundidad (Factor “Profundidad”) (Fig. 68), y de una manera más clara a la actividad de arrastre de fondo en base al conteo de las marcas de arrastre (Factor “Marcas arrastre”) y a las horas de pesca (Factor “SSB-VMS”) (Fig. 69 y 70.). En el nMDS también se observó una ordenación de las muestras de beam-trawl que se acoplaba mejor a los factores “Marcas arrastre” y “SSB-VMS” (Fig. 69 y 70).

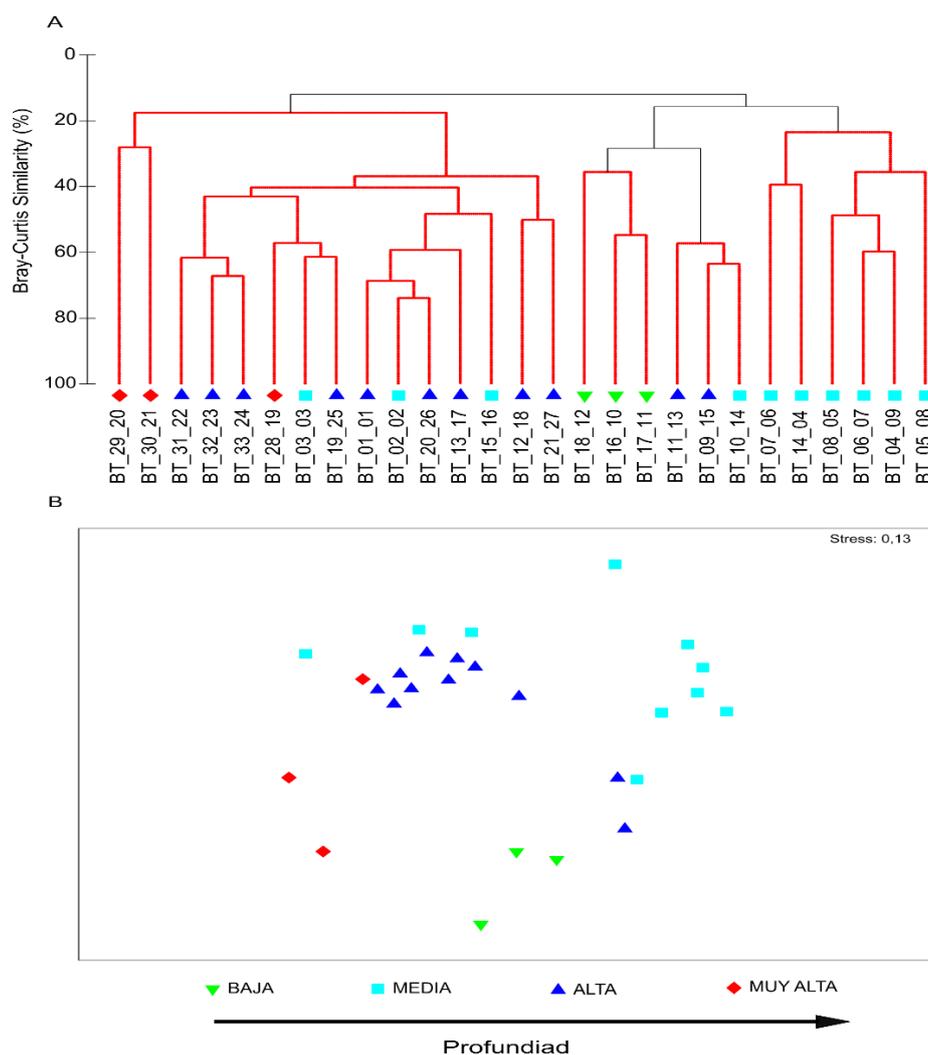


Figura 68. Cluster y nMDS basado en el índice de Bray-Curtis de los datos de abundancia (sin transformar) de las muestras de beam-trawl en relación al factor profundidad. Líneas rojas muestras agrupaciones significativas en base al test de SIMPROF ($p < 0,01$).

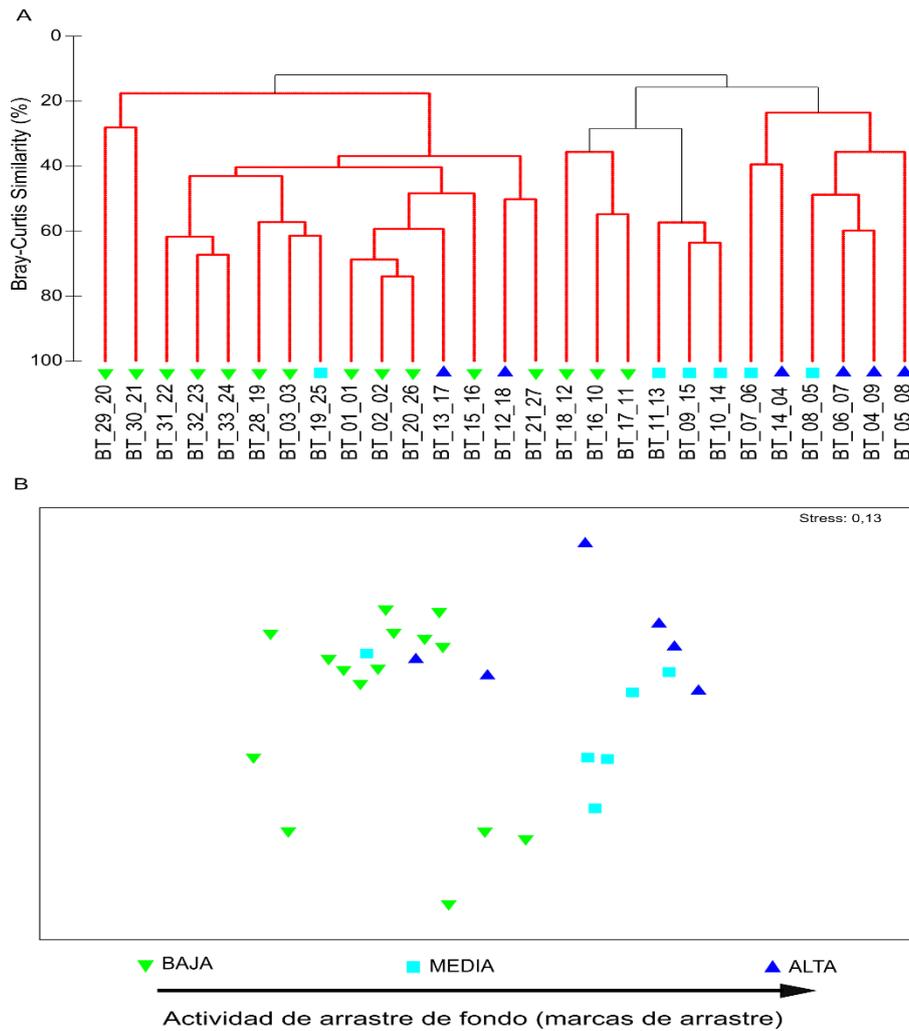


Figura 69. Cluster y nMDS basado en el índice de Bray-Curtis de los datos de abundancia (sin transformar) de las muestras de beam-trawl en relación al factor marcas de arrastre. Líneas rojas muestras agrupaciones significativas en base al test de SIMPROF ($p < 0,01$).

En el ANOSIM, las principales diferencias se obtuvieron con los factores “Profundidad” ($R_{ANOSIM}: 0,42, p < 0,01$), “Marcas arrastre” ($R_{ANOSIM}: 0,31, p < 0,01$), “SSB-VMS” ($R_{ANOSIM}: 0,18, p < 0,05$) y “Salinidad” ($R_{ANOSIM}: 0,131, p < 0,05$). No se detectaron diferencias significativas para los factores “Sedimento” ($R_{ANOSIM}: 0,146, p = 0,05$), “Temperatura” ($R_{ANOSIM}: -0,067, p > 0,05$) y “Velocidad de corriente” ($R_{ANOSIM}: 0,1, p > 0,05$) (Tabla 12). El SIMPER también se realizó en función de los factores que presentaron diferencias significativas y mayores valores de R_{ANOSIM} (Tablas 14, 15 & 16). Al comparar los grupos en función al factor “profundidad” se observó que las diferencias entre las muestras de beam-trawl de (1) baja y media profundidad (Disimilitud 90,11%) se debía principalmente a una mayor abundancia de *C. cidaris*, *Swiftia dubia*, *Eusergestes arcticus* en el primer caso; (2) entre baja y alta

(Disimilitud 86,7%) por una mayor abundancia de *K. stelliferum* y *F. quadrangularis* a mayor profundidad, al igual que entre baja y muy alta (Disimilitud 84,71%); (4) entre media y alta (Disimilitud 77,33%) se debían a una mayor abundancia de *K. stelliferum* y *F. quadrangularis* en las muestras de alta profundidad, al igual entre media y muy alta profundidad (Disimilitud 89,04%).

En relación al factor “Marcas arrastre”, las diferencias entre las muestras de beam-trawl de (1) bajo y medio número de marcas de arrastre (Disimilitud 83,3%) se debían a una mayor abundancia de *K. stelliferum*, *F. quadrangularis*, *C. cidaris* y *S. dubia* en el primer caso; (2) de medio y alto número de marcas de arrastre (Disimilitud 74,1%) por una mayor abundancia de *K. stelliferum*, *C. cidaris* y *N. norvegicus* en las muestras con medio número de marcas de arrastre y una mayor abundancias de *P. longirostris* en los de alto número de marcas de arrastre; (3) bajo y alto número de marcas de arrastre (Disimilitud= 83,39%) por una mayor abundancia de *K. stelliferum*, *F. quadrangularis*, *C. cidaris* y *T. muricata* en bajo número de marcas de arrastre, y una mayor abundancia de *P. longirostris*, *N. norvegicus* y *Processa nouveli* en los de alto número de marcas de arrastre.

Un patrón muy similar se detectó en relación a comparaciones de grupos en función al factor “SSB-VMS” (horas de pesca), pues las diferencias entre (1) pocas y medias horas de pesca (Disimilitud 74,44%) se caracterizaban por una mayor abundancia de *K. stelliferum*, *F. quadrangularis* y *C. cidaris* en muestras de pocas horas de pesca y una mayor abundancia de *P. longirostris*, *N. norvegicus* y *P. nouveli* en la categoría de media; (2) media y muchas horas de pesca (Disimilitud 78,97%) por una mayor abundancia de *K. stelliferum*, *F. quadrangularis* y *N. norvegicus* en media y de *P. longirostris* y *Brissopsis atlantica* a mayores horas de pesca; (3) pocas y muchas horas de pesca (Disimilitud= 87,76%) por una mayor abundancia de *K. stelliferum*, *F. quadrangularis* y *C. cidaris* en estaciones con pocas horas de pesca y de *P. longirostris* y *B. atlantica* en estaciones con muchas horas de pesca.

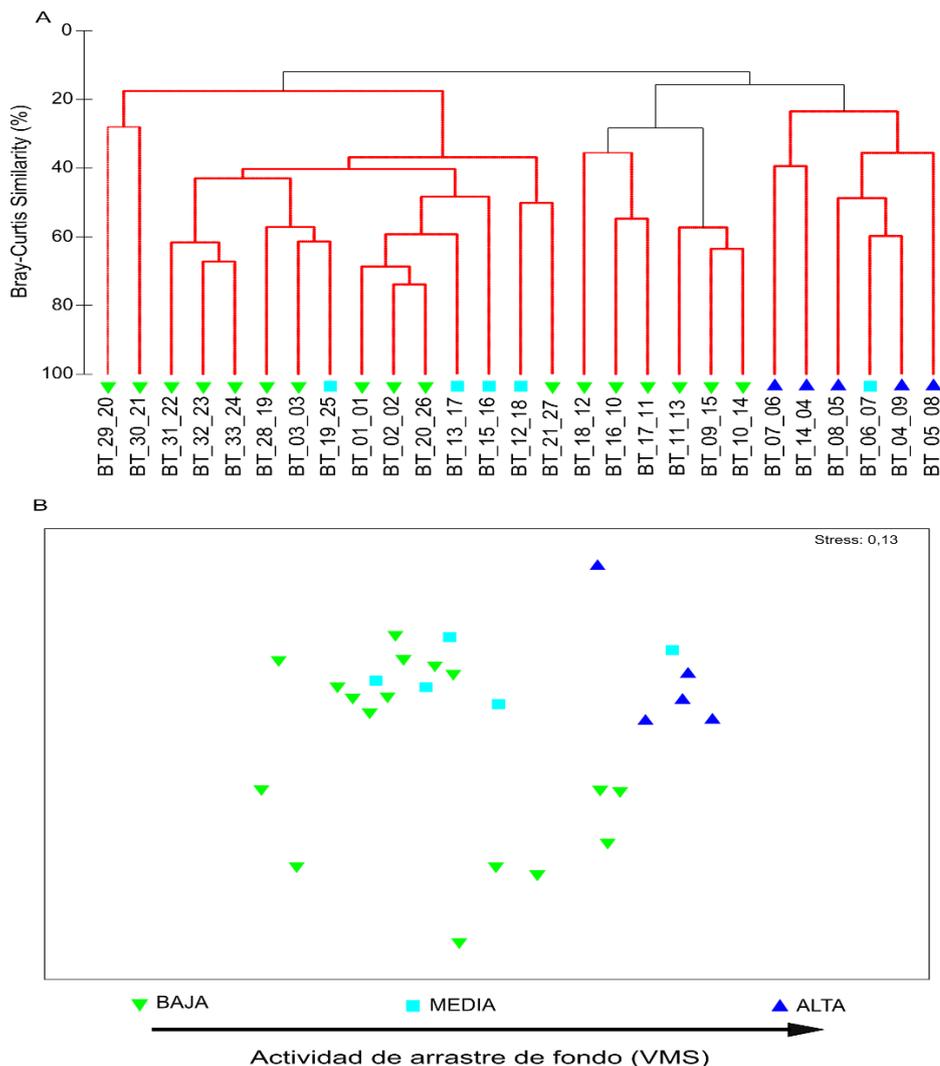


Figura 70. Cluster y nMDS basado en el índice de Bray-Curtis de los datos de abundancia (sin transformar) de las muestras de beam-trawl en relación al factor horas de pesca de arrastre. Líneas rojas muestras agrupaciones significativas en base al test de SIMPROF ($p < 0,01$).

Tabla 14. Resultados del análisis SIMPER para los datos de muestras de beam-trawl en relación con los factores que tuvieron mayores valores de R_{ANOSIM} en el análisis de ANOSIM, fundamentalmente la profundidad y actividad de arrastre de fondo. Av. Abund: Abundancia media; Av. Sim: Similitud media; Sim/SD: Similitud/desviación estándar; Contrib%: Porcentaje de contribución a la similitud; Cum%: Porcentaje de contribución acumulado a la similitud.

PROFUNDIDAD

Grupo baja profundidad (Similitud media: 41,97%)

Taxones	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Cidaris cidaris</i>	33,36	27,90	3,33	66,46	66,46
<i>Eusergestes arcticus</i>	2,79	3,56	2,85	8,49	74,95
<i>Swiftia dubia</i>	5,68	3,04	3,20	7,24	82,18
<i>Kophobelemnon stelliferum</i>	1,84	1,55	0,58	3,69	85,87
<i>Philocheras echinulatus</i>	1,37	1,22	2,04	2,90	88,77
<i>Parapenaeus longirostris</i>	1,05	1,04	1,91	2,48	91,25

Grupo media profundidad (Similitud media: 22,24%)

Taxones	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Parapenaeus longirostris</i>	2,61	6,07	0,70	27,28	27,28
<i>Brissopsis atlantica</i>	1,51	3,39	1,09	15,25	42,53
<i>Kophobelemnon stelliferum</i>	14,36	2,56	0,33	11,53	54,06
<i>Nephrops norvegicus</i>	1,48	1,84	0,87	8,25	62,31
<i>Solenocera membranacea</i>	0,45	1,27	0,80	5,71	68,02
<i>Funiculina quadrangularis</i>	2,92	1,06	0,42	4,75	72,78
<i>Goneplax rhomboides</i>	0,49	1,04	0,62	4,69	77,47
<i>Pasiphaea sivado</i>	0,44	0,41	0,38	1,82	87,86
<i>Galeus melastomus</i>	0,21	0,33	0,34	1,51	89,36
<i>Monodaeus couchii</i>	0,30	0,25	0,26	1,12	90,48

Grupo alta profundidad (Similitud media: 36,09%)

Taxones	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Kophobelemnon stelliferum</i>	20,32	12,06	0,99	33,43	33,43
<i>Funiculina quadrangularis</i>	17,79	7,10	0,79	19,68	53,11
<i>Parapenaeus longirostris</i>	3,80	3,71	2,59	10,28	63,39
<i>Processa canaliculata</i>	5,11	2,62	1,17	7,26	70,65
<i>Nephrops norvegicus</i>	3,07	2,54	0,95	7,05	77,69
<i>Solenocera membranacea</i>	1,51	1,30	1,42	3,60	81,29
<i>Processa nouveli</i>	2,53	1,14	0,82	3,15	84,45
<i>Philocheras echinulatus</i>	2,06	0,93	0,78	2,57	87,02
<i>Monodaeus couchii</i>	1,19	0,78	0,55	2,16	89,17
<i>Pennatula phosphorea</i>	1,35	0,67	0,71	1,86	91,03

Grupo muy alta profundidad (Similitud media: 27,08%)

Taxones	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Kophobelemnon stelliferum</i>	102,34	11,47	1,90	42,36	42,36
<i>Cidaris cidaris</i>	122,61	5,13	0,79	18,95	61,31
<i>Funiculina quadrangularis</i>	14,61	3,24	0,70	11,97	73,27
<i>Processa canaliculata</i>	7,13	1,51	7,74	5,57	78,84
<i>Plesionika martia</i>	4,52	1,49	3,50	5,52	84,36
<i>Gracilechinus elegans</i>	9,19	0,58	0,95	2,16	86,52
<i>Ergasticus clouei</i>	7,11	0,54	0,58	1,99	88,51
<i>Philocheras echinulatus</i>	1,78	0,35	1,26	1,30	89,80
<i>Solenocera membranacea</i>	0,98	0,29	1,66	1,05	90,86

Tabla 15. Resultados del análisis SIMPER para los datos de muestras de beam-trawl en relación con los factores que tuvieron mayores valores de R_{ANOSIM} en el análisis de ANOSIM, fundamentalmente la profundidad y actividad de arrastre de fondo. Av. Abund: Abundancia media; Av. Sim: Similitud media; Sim/SD: Similitud/desviación estándar; Contrib%: Porcentaje de contribución a la similitud; Cum%: Porcentaje de contribución acumulado a la similitud.

MARCAS ARRASTRE

Grupo baja marcas de arrastre (Similitud media: 27,73%)

Taxones	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Kophoblemnon stelliferum</i>	38,47	13,60	1,03	49,04	49,04
<i>Funiculina quadrangularis</i>	16,45	5,81	0,71	20,94	69,99
<i>Cidaris cidaris</i>	31,35	1,93	0,33	6,96	76,95
<i>Parapenaeus longirostris</i>	2,02	1,06	0,81	3,83	80,77
<i>Processa canaliculata</i>	4,18	1,01	0,63	3,63	84,40
<i>Pennatula phosphorea</i>	1,18	0,59	0,85	2,12	86,52
<i>Philocheras echinulatus</i>	1,45	0,51	0,62	1,84	88,36
<i>Nephrops norvegicus</i>	0,95	0,49	0,45	1,77	90,13

Grupo media marcas de arrastre (Similitud media: 31,21%)

Taxones	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Parapenaeus longirostris</i>	3,35	6,71	2,01	21,50	21,50
<i>Cidaris cidaris</i>	5,51	5,58	0,48	17,88	39,38
<i>Nephrops norvegicus</i>	3,91	4,92	1,15	15,78	55,15
<i>Monodaeus couchii</i>	1,67	1,81	0,74	5,81	68,76
<i>Brissopsis atlantica</i>	1,10	1,30	0,67	4,16	72,92
<i>Solenocera membranacea</i>	0,74	1,16	1,02	3,73	76,65
<i>Philocheras echinulatus</i>	1,61	0,99	0,66	3,16	83,03
<i>Galeodea rugosa</i>	0,51	0,97	0,75	3,10	86,13
<i>Etmopterus spinax</i>	0,41	0,78	0,78	2,48	88,62
<i>Processa nouveli</i>	1,41	0,75	0,66	2,40	91,02

Grupo alta marcas de arrastre (Similitud media: 23,90%)

Taxones	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Parapenaeus longirostris</i>	3,56	8,06	0,73	33,74	33,74
<i>Brissopsis embranáe</i>	1,70	2,93	1,55	12,26	46,00
<i>Solenocera embranáe</i>	1,19	1,74	1,11	7,30	53,29
<i>Kophoblemnon stelliferum</i>	6,34	1,71	0,66	7,15	60,44
<i>Goneplax rhomboides</i>	1,21	1,47	0,68	6,13	66,58
<i>Nephrops norvegicus</i>	1,90	1,26	0,64	5,26	71,83
<i>Funiculina quadrangularis</i>	2,23	0,92	0,42	3,83	79,58
<i>Pasiphaea sivado</i>	0,61	0,74	0,48	3,12	82,70
<i>Processa canaliculata</i>	1,69	0,62	0,37	2,60	85,30
<i>Processa nouveli</i>	1,77	0,61	0,48	2,53	87,83
<i>Monodaeus couchii</i>	0,50	0,34	0,40	1,44	90,90

Tabla 16. Resultados del análisis SIMPER para los datos de muestras de beam-trawl en relación con los factores que tuvieron mayores valores de R_{ANOSIM} en el análisis de ANOSIM, fundamentalmente la profundidad y actividad de arrastre de fondo. Av. Abund: Abundancia media; Av. Sim: Similitud media; Sim/SD: Similitud/desviación estándar; Contrib%: Porcentaje de contribución a la similitud; Cum%: Porcentaje de contribución acumulado a la similitud.

SSB-VMS

Grupo baja horas de arrastre (Similitud media: 24,28%)

Taxones	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Kophobelemnon stelliferum</i>	33,15	8,76	0,69	36,09	36,09
<i>Funiculina quadrangularis</i>	14,31	4,14	0,55	17,04	53,13
<i>Cidaris cidaris</i>	29,61	3,98	0,48	16,41	69,54
<i>Parapenaeus longirostris</i>	2,25	1,69	0,82	6,98	76,52
<i>Nephrops norvegicus</i>	1,63	0,96	0,43	3,97	80,48
<i>Processa canaliculata</i>	3,72	0,85	0,59	3,51	83,99
<i>Philocheras echinulatus</i>	1,35	0,52	0,61	2,15	86,14
<i>Solenocera membranacea</i>	0,84	0,50	0,84	2,04	88,19
<i>Pennatula phosphorea</i>	1,00	0,37	0,60	1,53	89,72
<i>Monodaeus couchii</i>	0,80	0,32	0,31	1,31	91,03

Grupo media horas de arrastre (Similitud media: 32,04%)

Taxones	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Kophobelemnon stelliferum</i>	22,99	10,51	1,11	32,80	32,80
<i>Parapenaeus longirostris</i>	3,78	3,65	1,36	11,39	44,19
<i>Nephrops norvegicus</i>	3,65	3,32	1,12	10,35	54,54
<i>Funiculina quadrangularis</i>	4,48	3,07	0,85	9,57	64,11
<i>Processa canaliculata</i>	3,24	1,97	0,79	6,14	70,26
<i>Solenocera membranacea</i>	1,58	1,44	1,08	4,48	74,74
<i>Brissopsis atlantica</i>	1,20	1,28	0,89	3,98	78,73
<i>Processa nouveli</i>	3,08	1,19	0,58	3,71	82,44
<i>Goneplax rhomboides</i>	1,51	0,89	1,00	2,79	85,22
<i>Chlorotocus crassicornis</i>	1,02	0,83	0,91	2,58	87,80
<i>Philocheras echinulatus</i>	1,93	0,69	0,96	2,15	89,95
<i>Munida intermedia</i>	0,61	0,68	0,95	2,12	92,06

Grupo alta horas de arrastre (Similitud media: 30,76%)

Taxones	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
<i>Parapenaeus longirostris</i>	2,90	9,02	1,02	29,33	29,33
<i>Brissopsis atlantica</i>	1,93	5,21	1,06	16,95	46,28
<i>Nephrops norvegicus</i>	0,61	2,19	1,15	7,13	69,65
<i>Solenocera membranacea</i>	0,48	2,19	1,15	7,13	76,78
<i>Goneplax rhomboides</i>	0,61	1,50	0,59	4,86	81,64
<i>Processa nouveli</i>	0,48	1,08	0,62	3,53	85,17
<i>Solenogastros</i>	0,59	1,06	0,62	3,45	88,62
<i>Monodaeus couchii</i>	0,36	0,41	0,32	1,34	89,96
<i>Cerianthus sp.</i>	0,24	0,41	0,32	1,34	91,29

4.3.2.2.3. Índices ecológicos en relación con la actividad de arrastre de fondo

En los transectos de imágenes submarinas, la riqueza específica media disminuyó al aumentar el número de marcas de arrastre observadas y las horas de pesca de arrastre de fondo, pero no se observaron diferencias significativas en ningún caso (Kruskal Wallis, $H > 2,819$, $p > 0,05$ en ambos casos) (Fig. 71). La abundancia media disminuyó significativamente al incrementarse el número de marcas (Kruskal Wallis, $H = 15,02$, $p < 0,01$) y número de horas de arrastre (Kruskal Wallis, $H = 9,356$, $p < 0,01$) (Fig. 72). El índice de diversidad de Shannon-Wiener mostró un patrón diferente en base al número de marcas y de horas de arrastre de fondo, con diferencias significativas respecto al primero (Kruskal Wallis, $H = 6,943$, $p < 0,05$) pero no respecto al segundo (Kruskal Wallis, $H = 0,777$, $p > 0,05$) (Fig. 72). Finalmente, la equirrepartición mostró un patrón muy similar al del índice de diversidad, con diferencias significativas respecto al número de marcas de arrastre (Kruskal Wallis, $H = 8,437$, $p < 0,05$), pero no al número de horas de arrastre (Kruskal Wallis, $H = 4,782$, $p > 0,05$) (Fig. 72). Con el índice BESITO se detectó un patrón fluctuante a medida que aumentan las marcas de arrastre, con diferencias significativas para este factor (Kruskal Wallis, $H = 9,049$, $p < 0,05$), pero no para horas de arrastre (Kruskal Wallis, $H = 3,414$, $p > 0,05$) (Fig. 72).

En relación con las muestras de beam-trawl, la riqueza específica disminuyó al aumentar el número de marcas y horas de arrastre, pero no se observaron diferencias significativas (Kruskal Wallis, $H < 3,959$, $p > 0,05$ en ambos casos) (Fig. 73). La abundancia disminuyó significativamente al incrementarse el número de marcas de arrastre (Kruskal Wallis, $H = 10,071$, $p < 0,05$) y número de horas de arrastre (Kruskal Wallis, $H = 10,686$, $p < 0,05$) (Fig. 73). El índice de diversidad de Shannon-Wiener mostró un patrón diferente en base al número de marcas y de horas de arrastre de fondo, sin diferencias significativas en ambos casos (Kruskal Wallis, $H < 5,676$, $p > 0,05$ en ambos casos) (Fig. 73). La equirrepartición mostró un patrón muy similar al del índice de diversidad, pero con diferencias significativas respecto al factor de marcas de arrastre (Kruskal Wallis, $H = 14,618$, $p < 0,01$), y horas de pesca de arrastre de fondo (Kruskal Wallis, $H = 13,039$, $p < 0,01$) (Fig. 73). Por último, con el índice BESITO mostró diferencias significativas respecto a las marcas de arrastre (Kruskal Wallis, $H = 7,674$, $p < 0,05$), pero no para las horas de arrastre de fondo (Kruskal Wallis, $H = 3,869$, $p > 0,05$) (Fig. 73).

Trineo fotogramétrico

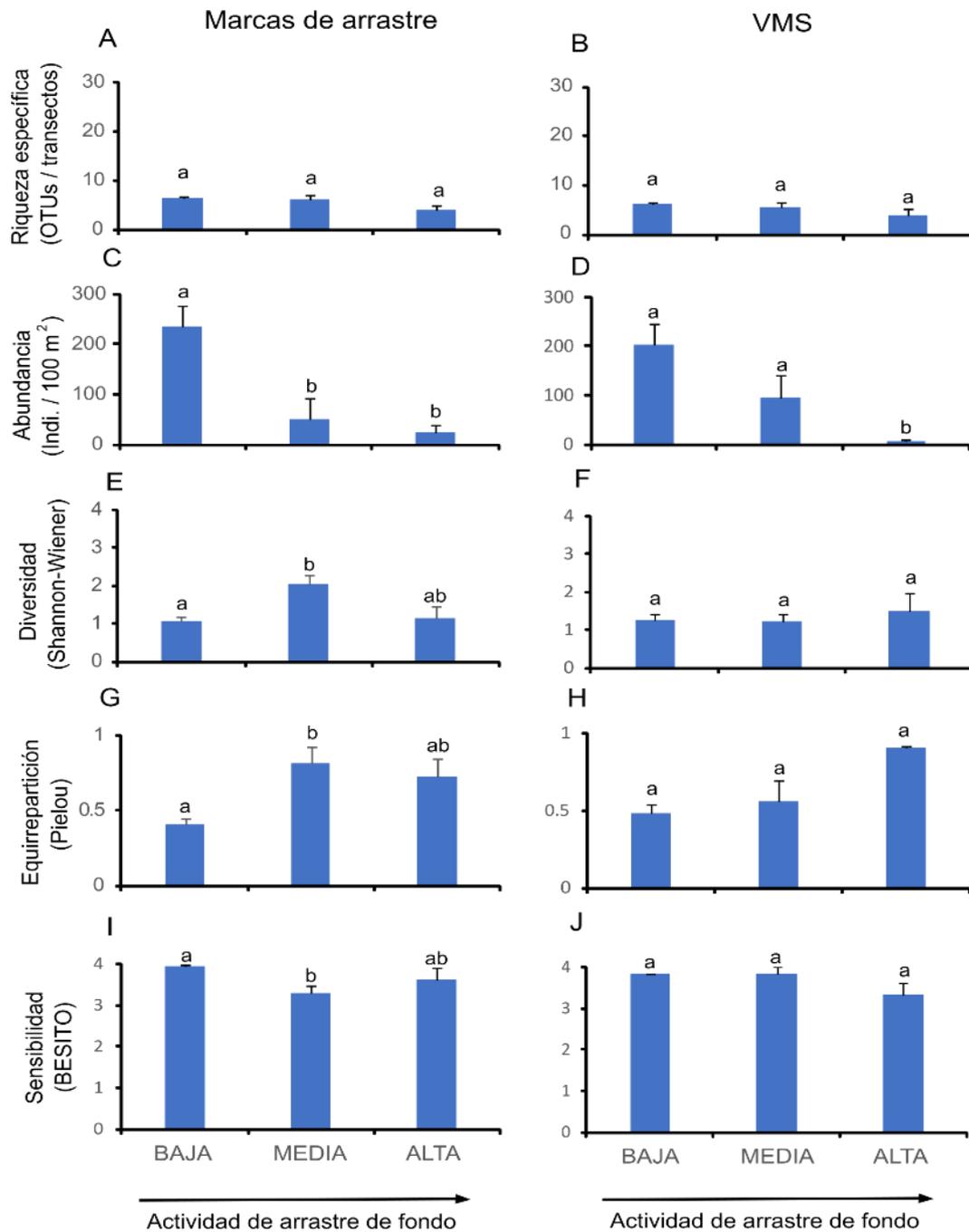


Figura 72. Media + error estándar de índices ecológicos y de sensibilidad obtenidos en las imágenes submarinas frente a los factores marcas de arrastre (izquierda), y frente al factor horas de pesca de arrastre (derecha). Diferentes letras muestran diferencias significativas en la prueba de U-Mann Whitney ($p < 0,05$).

Beam Trawl

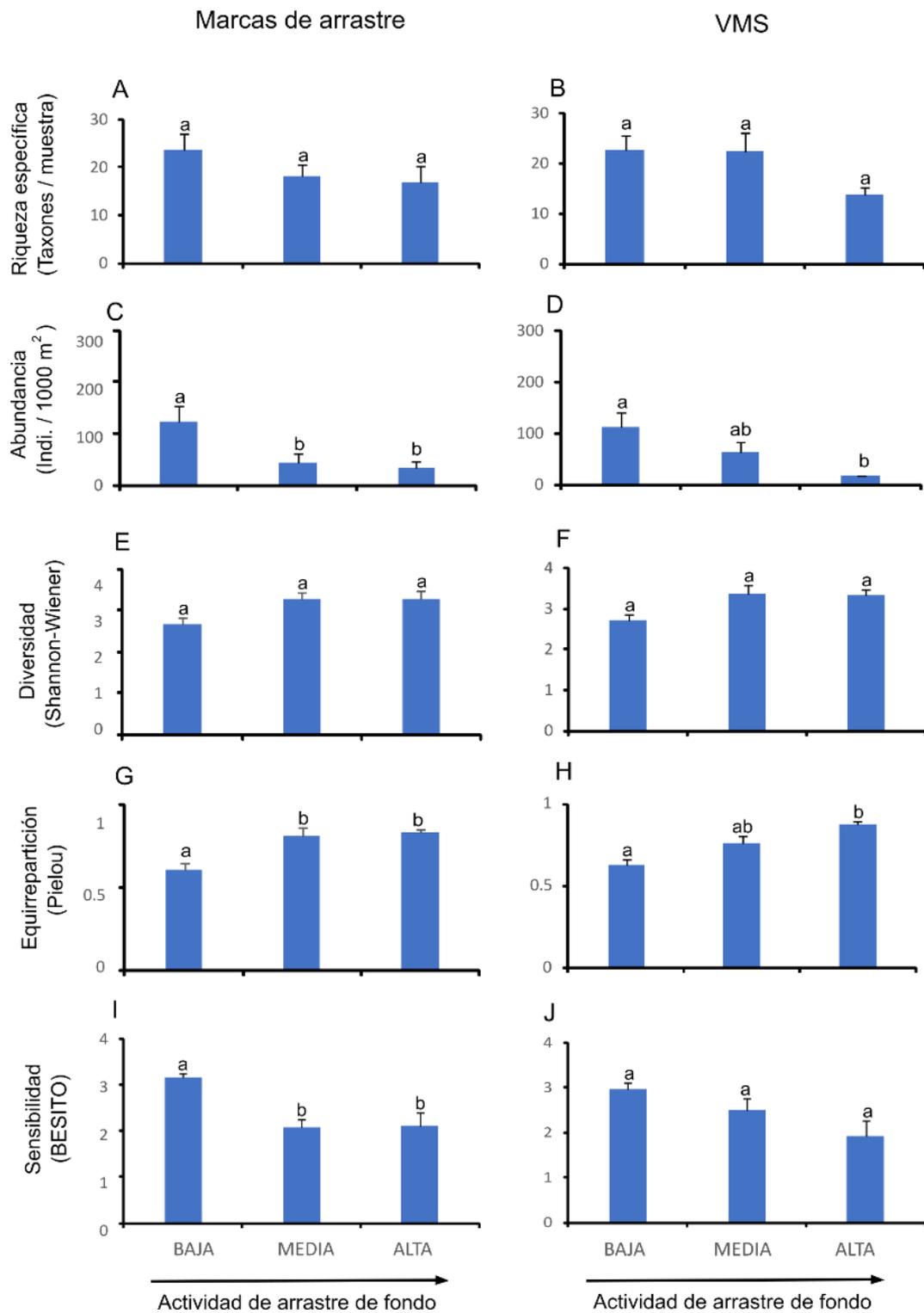


Figura 73. Media + error estándar de índices ecológicos y de sensibilidad obtenidos en las muestras de beam-trawl frente a los factores marcas de arrastre (izquierda), y frente al factor

horas de pesca de arrastre (derecha). Diferentes letras muestran diferencias significativas en la prueba de U-Mann Whitney ($p < 0,05$).

4.3.2.2.4. Abundancia y tallas de las principales especies estructurantes de hábitats.

En los transectos de imágenes submarinas y muestras de beam-trawl, las principales especies estructurantes de hábitats fueron los pennatuláceos *K. stelliferum* y *F. quadrangularis*, y el equinoideo *C. cidaris* los cuales además mostraron una importante contribución en la formación de grupos de cluster (Tablas 14, 15 y 16).

En relación con las imágenes submarinas y la abundancia de *K. stelliferum*, se detectaron tendencias muy similares para los factores “Marcas Arrastre” y “SSB-VMS”, con una disminución significativa de su abundancia al incrementarse el número de marcas (Kruskal Wallis, $H = 14,161$, $p < 0,01$) y de horas de arrastre (Kruskal Wallis, $H = 11,440$, $p < 0,01$). En muestras de beam-trawl se detectó un patrón similar, con una disminución significativa de la abundancia al incrementarse el número de marcas (Kruskal Wallis, $H = 8,405$, $p < 0,05$) y de horas de arrastre (Kruskal Wallis, $H = 7,137$, $p < 0,05$) (Fig. 74).

Kophobelemnion stelliferum

Trineo fotogramétrico

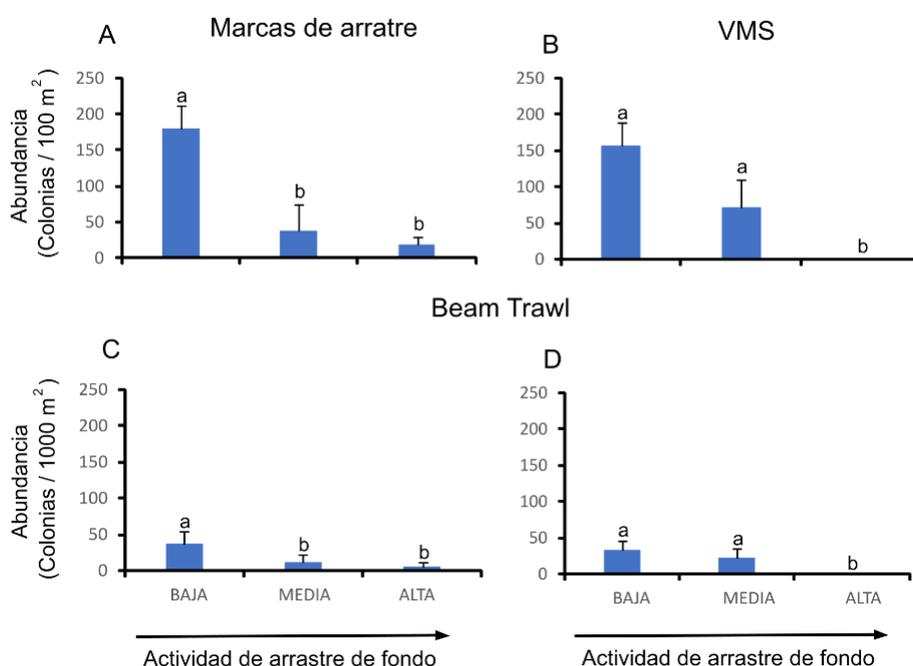


Figura 74. Abundancia media y error estándar del pennatuláceo *Kophobelemnion stelliferum* en transectos de imágenes submarinas (izquierda) y muestras de beam-trawl (derecha) con relación a los factores (A) de marcas de arrastre y (B) y horas de arrastre (SSB -VMS).

En relación con las imágenes submarinas y la abundancia de *F. quadrangularis*, también se detectaron tendencias muy similares para los factores “Marcas

arrastre” y “SSB-VMS” , con una disminución significativa de su abundancia al incrementarse el número de marcas (Kruskal Wallis, $H= 13,083$, $p < 0,01$) y de horas de arrastre (Kruskal Wallis, $H= 8,228$, $p < 0,01$) (Fig. 17). En relación con las muestras de beam-trawl se detectó un patrón similar, con una disminución significativa de la abundancia al incrementarse el número de marcas de arrastre (Kruskal Wallis, $H= 7,479$, $p < 0,05$) pero no en el número de horas de arrastre (Kruskal Wallis, $H= 3,894$, $p > 0,05$) (Fig. 75).

Funiculina quadrangularis

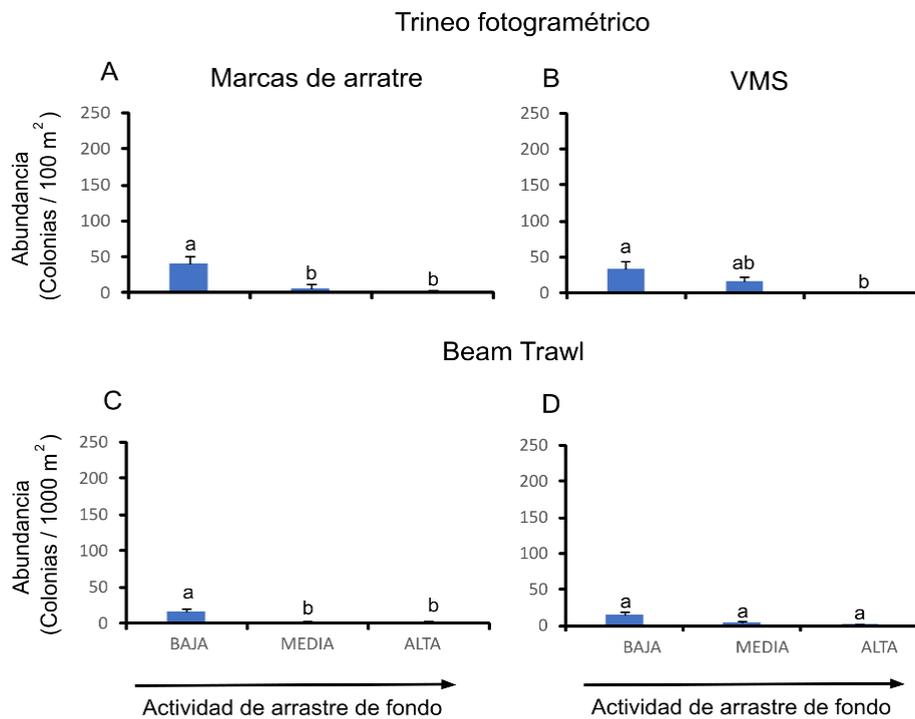


Figura 75. Abundancia media y error estándar del pennatuláceo *Funiculina quadrangularis* en transectos de imágenes submarinas (izquierda) y muestras de beam-trawl (derecha) en relación a los factores (A) de marcas de arrastre y (B) y horas de arrastre (SSB-VMS).

En relación a las imágenes submarinas y la abundancia de *C. cidaris*, se detectó una disminución significativa de su abundancia al incrementarse el número de horas de arrastre (Kruskal Wallis, $H= 6,666$, $p < 0,05$), pero no respecto al número de marcas de arrastre (Kruskal Wallis, $H=3,439$, $p > 0,05$). En muestras de beam-trawl se detectó un patrón similar, con una disminución significativa de la abundancia al incrementarse el número de horas de arrastre (Kruskal Wallis, $H= 8,064$, $p < 0,05$), pero no respecto al número de marcas de arrastre (Kruskal Wallis, $H=3,090$, $p > 0,05$) (Fig. 76).

Cidaris cidaris

Trineo fotogramétrico

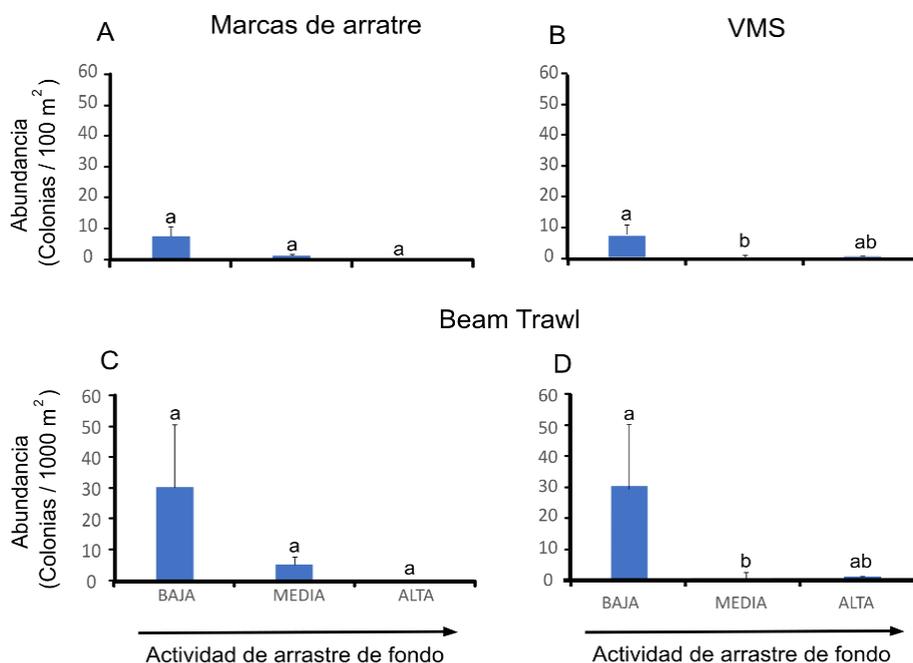


Figura 76. Abundancia media y error estándar del equinoideo *Cidaris cidaris* en transectos de imágenes submarinas (gráficas de la izquierda) y muestras de beam-trawl (gráficas de la derecha) en relación con los factores (A) de marcas de arrastre y (B) y horas de arrastre (SSB-VMS).

Con relación a la distribución de tallas de *K. stelliferum* y *F. quadrangularis* en muestras de beam-trawl, se detectó un patrón de distribución general para ambas especies (Fig. 77). *K. stelliferum* presenta una distribución normal de tallas, con valores máximos de abundancia para las tallas comprendidas entre 50.1-60 mm. Mientras que *F. quadrangularis* presenta una distribución bimodal con abundancias máximas para las tallas de 0-50 mm y 100.1-150 mm.

No obstante, *K. stelliferum* mostró una disminución tanto de la abundancia, como se ha mostrado anteriormente, como de la distribución de tallas (Z de Kolgomorov-Smirnov < 2,525; $p < 0,01$ en casi todas las comparaciones) y la talla media (U de Mann-Whitney > -2,505; $p < 0,01$ en casi todas las comparaciones) en relación a incrementos de la actividad arrastre derivadas de número de marcas y de horas de arrastre (Fig. 78). Para la especie *F. quadrangularis* se observó un patrón decreciente muy similar o incluso más drástico que en el caso anterior, tanto para la distribución de tallas (Z de Kolgomorov-Smirnov < 1,953; $p < 0,01$ en casi todas las comparaciones) como de la talla media (U de Mann-Whitney > -2,336; $p < 0,01$ en casi todas las comparaciones) en relación a incrementos de la actividad arrastre derivadas de número de marcas y de horas de arrastre (Fig. 79).

Abundancia total

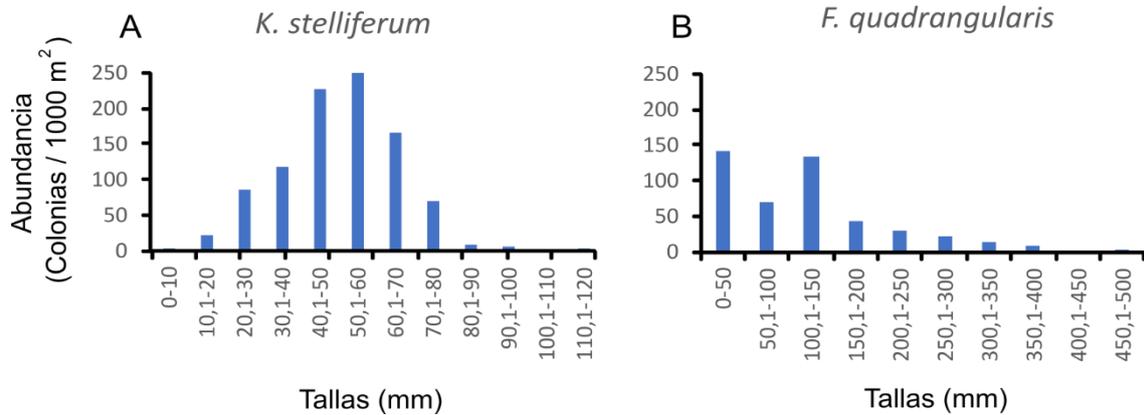
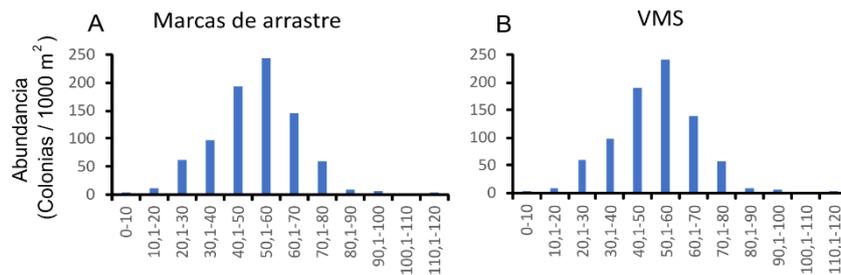


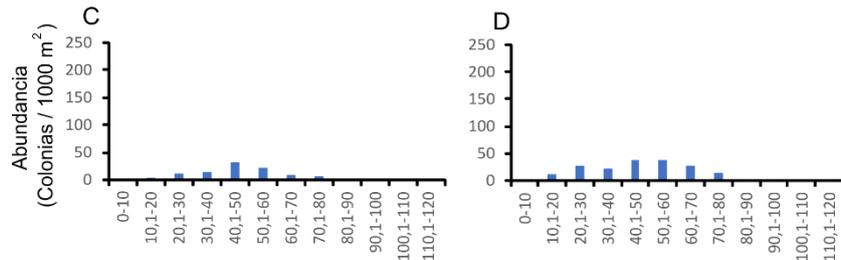
Figura 77. Distribución de la abundancia de *Kophobelemnon stelliferum* y *Funiculina quadrangularis* por tallas en muestras de beam-trawl.

Kophobelemnon stelliferum

Actividad baja



Actividad media



Actividad alta

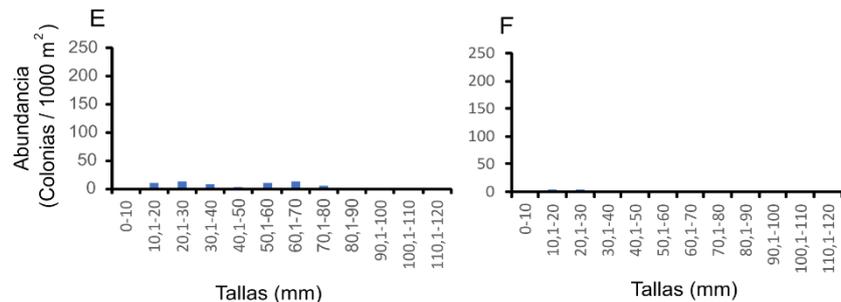


Figura 78. Distribución de la abundancia de colonias de *Kophobelemnon stelliferum* de muestras de beam-trawl en relación a su talla (longitud máxima) y al número de marcas de arrastre (izquierda) y número de horas de arrastre (derecha).

Funiculina quadrangularis

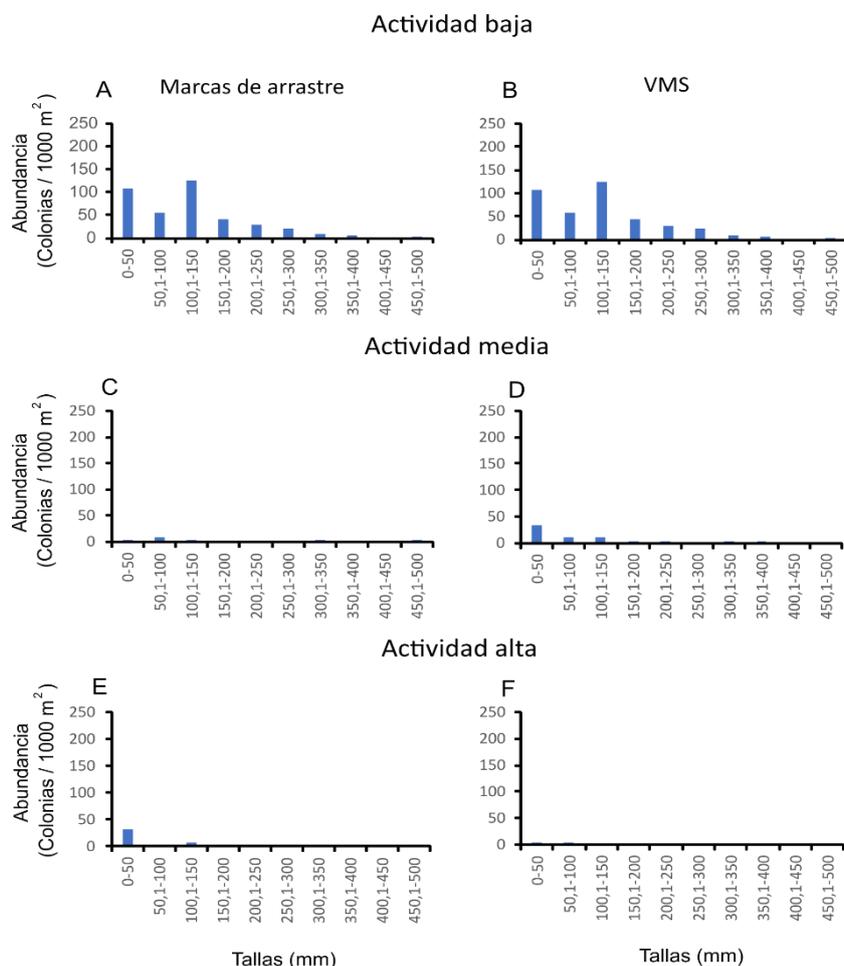


Figura 79. Distribución de la abundancia de colonias de *Funiculina quadrangularis* de muestras de beam-trawl en relación a su talla (longitud máxima) y al número de marcas de arrastre (izquierda) y número de horas de arrastre (derecha).

4.3.3. Análisis de la perturbación debida a la pesca de arrastre de fondo

En el *Campo Somero* del LIC se registró algún grado de perturbación por la pesca de arrastre de fondo en el 61,77 % del área de estudio, que correspondía a 6 niveles de perturbación. En relación a los diferentes niveles de perturbación, se detectó que el 20,08 % del área estaba afectada por un nivel de perturbación inferior a 4 (1 a 3 de perturbación), mientras que el 40,69% estaba afectado por niveles superiores de perturbación (4 a 7 de perturbación).

La distribución de las zonas de menor y mayor perturbación siguieron un patrón similar al de la actividad de arrastre de fondo, situándose las menores perturbaciones alrededor del volcán de fango Gazul y la Dorsal Diapírica de Cádiz, así como en la parte más profunda y las mayores perturbaciones en la zona más cercana a la plataforma y también en el área noroccidental del LIC, donde se encuentra el diapiro

Cristóbal Colón y la zona del caladero conocido como “El Laberinto” (Volcanes de fango Anastasya, Tarsis y Pipoca) (Figs. 81 & 82).

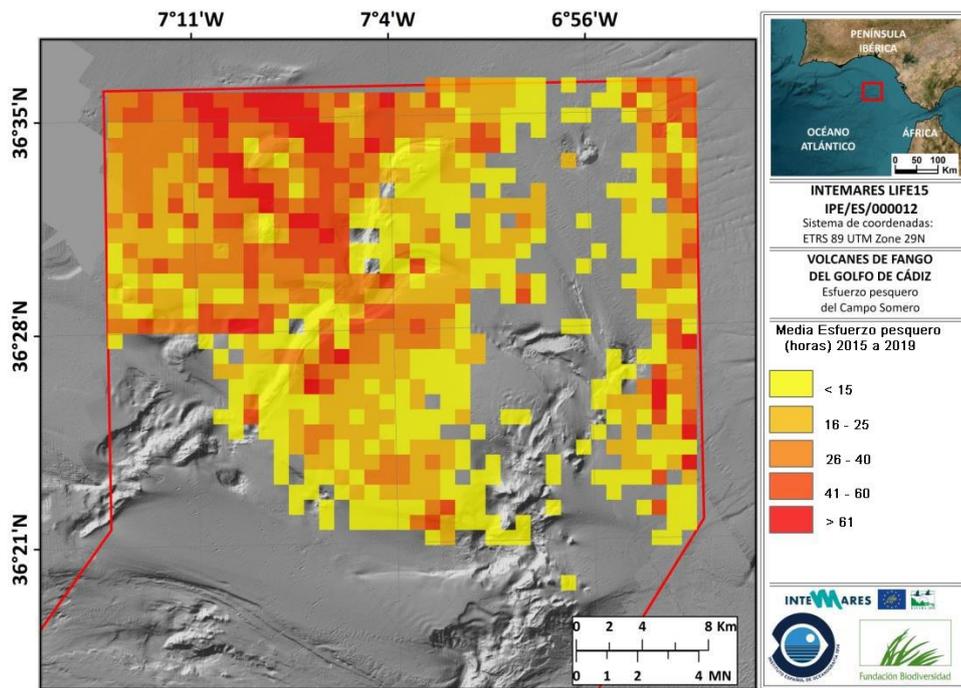


Figura 81. Distribución del esfuerzo medio de arrastre de fondo (en horas de arrastre) para el periodo 2015-2019 en el Campo Somero del LIC “Volcanes de fango del golfo de Cádiz”.

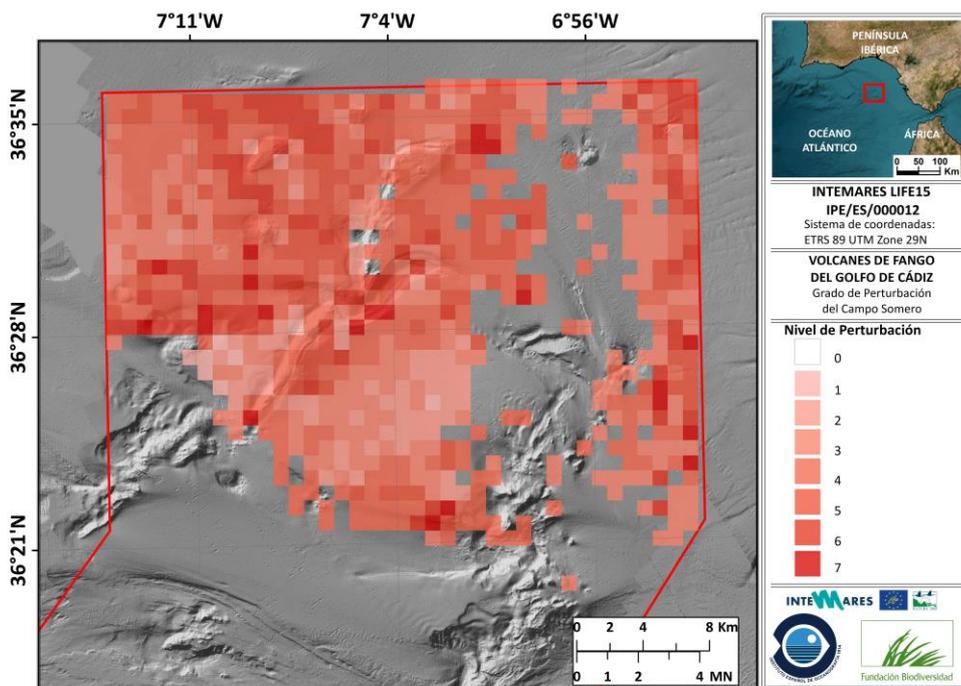


Figura 82. Mapa de distribución de las perturbaciones de la pesca de arrastre de fondo en el Campo Somero del LIC “Volcanes de fango del golfo de Cádiz”.

Muchos de los hábitats del *Campo Somero* presentaron parte de su superficie con algún nivel de perturbación, presentándose los niveles más altos de perturbación en los hábitats sedimentarios con componente biogénico sésil (Fig. 83). Este fue el caso del hábitat *Fangos batiales compactos con Isidella elongata*, en el que el 50% de su superficie está afectada con un nivel alto de perturbación en el *Campo Somero*, y posiblemente ello podría explicar su desaparición en el pasado, quedando una buena representación del hábitat en el *Campo Profundo*, en el cual la actividad de arrastre de fondo es nula y, por tanto, la perturbación es muchísimo menor. Otros hábitats que mostraron grandes superficies con niveles altos de perturbación fueron *Fangos y arenas fangosas batiales dominadas por fauna excavadora*, *Fangos y arenas fangosas batiales con pennatuláceos*, *Arena y arena fangosa batiales dominadas por hormathiidae* (*Actinauge richardi*) y *Coral muerto compacto (dead coral framework)*. Por el contrario, los hábitats con menores niveles de perturbación fueron *Arrecife de corales profundos* (*Lophelia pertusa*, *Madrepora oculata*), *Roca batial dominada por ascidias*, *Sedimentos mixtos batiales con Flabellum chunii* y *Sustrato duro batial con gorgonias y esponjas*.

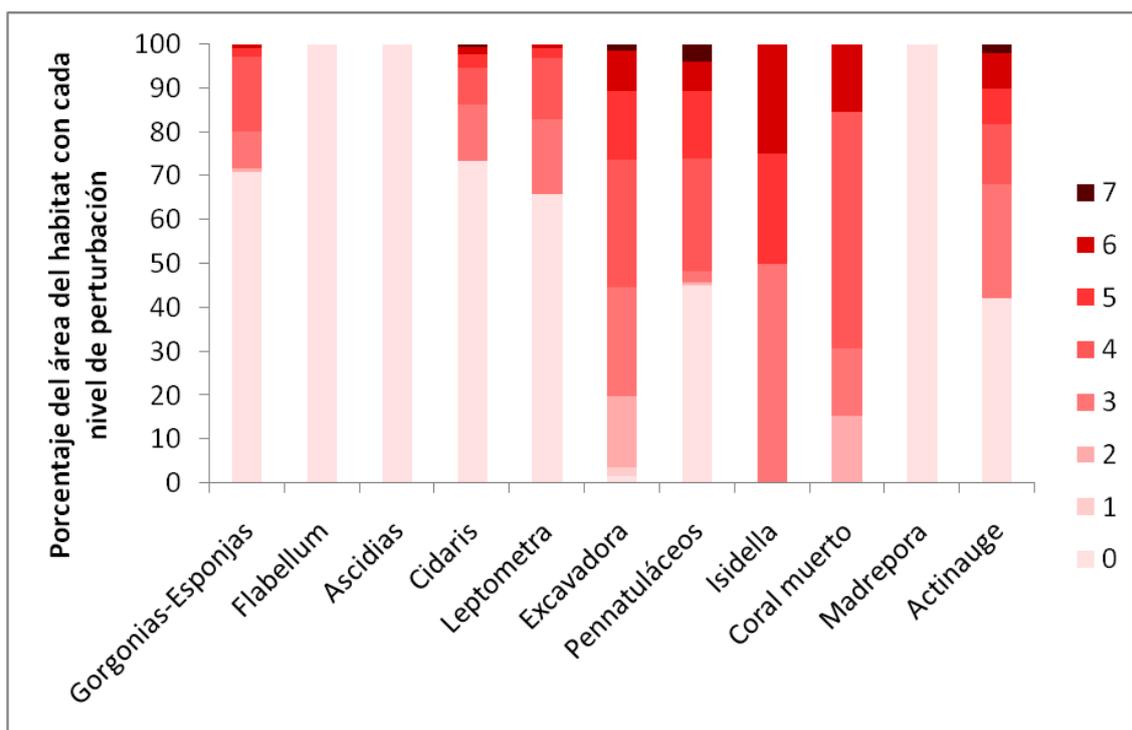


Figura 83. Porcentaje de la superficie de hábitats del *Campo Somero* del LIC en relación a diferentes niveles de perturbación. Gorgonias-Esponjas: Sustrato duro batial con gorgonias y esponjas; Flabellum: Sedimentos mixtos batiales con *Flabellum chunii*; Ascidias: Roca batial dominada por ascidias; Cidaris: Fondos sedimentarios no fangosos con cidarioideos *Cidaris cidaris*; Leptometra: Fondos detríticos batiales con campos de *Leptometra phalangium*; Excavadora: Fangos y arenas fangosas batiales dominadas por fauna excavadora; Pennatuláceos: Fangos y arenas fangosas batiales con pennatuláceos; Isidella: Fangos batiales compactos con *Isidella elongata*; Madrepora: Arrecife de



INTEMARES



corales profundos (*Lophelia pertusa*, *Madrepora oculata*); Actinauge: Arena y arena fangosa batiales dominadas por Hormathiidae (*Actinauge richardi*).

5. Propuestas para controlar, eliminar o mitigar los efectos de la actividad pesquera sobre hábitats Red Natura 2000

El presente informe ha podido obtener información con un detalle mayor que la ofrecida por Díaz del Río et al. (2014 a,b) sobre las principales presiones que se dan en el *Campo Somero de Expulsión de Fluidos* del LIC “*Volcanes de fango del golfo de Cádiz*”, siendo la de mayor importancia la actividad pesquera de arrastre de fondo, sobre la cual se centraran las propuestas de este apartado. El estudio detallado de dicha actividad de arrastre de fondo sobre los recursos de tipo pesquero (ej. capturas, ingresos asociados a las capturas) y sobre los hábitats (ej. solapamiento, perturbación e impacto ocasionado) ha podido obtener conclusiones y propuestas en relación a: (1) la distribución y evolución de la actividad de arrastre de fondo y de las capturas e ingresos económicos asociados; (2) el solapamiento y la perturbación de los hábitats con la actividad de arrastre, y; (3) el impacto en los hábitats.

5.1. Conclusiones y propuestas sobre la distribución y evolución de la actividad de arrastre de fondo y de las capturas e ingresos económicos asociados

El estudio de la combinación de los datos procedentes del Sistema de Seguimiento de Buques (SSB-VMS) y de los cuadernos de pesca, mediante el uso de diferentes herramientas, ha permitido conocer con alto grado de detalle la distribución y evolución temporal de la flota de arrastre de fondo en el LIC. A modo general, y extrapolable a otras Áreas Marinas Protegidas (AMPs), se hace indispensable invertir los recursos necesarios para realizar mejoras que impliquen que (1) la mayoría de las embarcaciones de pesca profesional tengan dichos dispositivos operativos, intentando que los barcos de menor eslora los vayan incorporando, y que constantemente se realicen revisiones para comprobar que funcionan correctamente; (2) se puedan realizar labores de seguimiento espacial y temporal de los buques pesqueros de la manera mas fina posible, así como el procesado de los datos de SSB-VMS por diferentes instituciones involucradas en la gestión y seguimiento de las AMPs para así poder tener diferentes estimas; (3) se rellenen y revisen adecuadamente los cuadernos de pesca, intentando afinar en lo posible la identificación del recurso y su captura; (4) involucrar a los propios pescadores en todo este proceso mediante cursos de formación e incentivos que puedan compensar lo relativo a la regulación de su actividad, y; (5) se pueda desarrollar un marco tecnológico y científico que permita mejorar el conocimiento sobre las interacciones

de la pesca de arrastre de fondo con los recursos pesqueros y los hábitats vulnerables, con el objetivo de maximizar el rendimiento y minimizar el esfuerzo y la perturbación en el fondo marino.

En el *Campo Somero* del LIC se han detectado zonas con altos niveles de actividad de arrastre de fondo, alto tonelaje de capturas y alto valor económico a dichas capturas. Estas zonas generalmente son bastante similares, a lo largo de los años, y se centran fundamentalmente en las zonas sedimentarias planas alrededor de la dorsal diapírica del Guadalquivir, afectando principalmente a los sectores de Anastasya y Cristóbal Colón (situado cerca de Anastasya) y, en menor grado, al sector de Tarsis y Pipoca. En general, la actividad de arrastre de fondo en el LIC, así como las capturas y valor económico asociado, es mucho menor que la que se detecta en la plataforma y, por lo general, la mayor actividad se da en estas zonas aplaceradas, con sedimentos finos y con bajo hidrodinamismo (González-García et al., 2020a, 2022). En muchas de estas zonas se concentran los caladeros más importantes de cigala, y por ello es importante que se pueda obtener una información de mayor detalle en el futuro para así conocer el estado de las poblaciones y la actividad de arrastre asociada a dicha especie, y la posibilidad de realizar estudios para extraer dicho recurso con métodos menos invasivos en aquellas zonas donde se han detectado hábitats sensibles y vinculados a diferentes directivas y convenios. En estas zonas con alta actividad de arrastre de fondo se da de manera extensiva en el hábitat *Fangos y arenas fangosas batiales dominadas por fauna excavadora*, el cual representa la zona predilecta para la cigala y en el que el componente biogénico es bajo y, por tanto, compatible con la actividad de arrastre de fondo. Por el contrario, entre las zonas cercanas o inmersas en zonas con alta actividad de arrastre de fondo destacan: (1) las cimas de diferentes volcanes de fango (VF), fundamentalmente Anastasya, Tarsis y Pipoca por albergar comunidades quimiosintéticas vinculadas al Hábitat 1180 de la Directiva Hábitats (DH); (2) las laderas y fondos adyacentes de los volcanes Tarsis y Pipoca por albergar diferentes tipos de hábitats vinculados al Hábitat 1170 de la DH, con especial atención a los conformados por pennatuláceos (*Fangos y arenas fangosas batiales con pennatuláceos*) y en algunos casos con las pocas poblaciones de coral bambú (*Isidella elongata*) de todo el *Campo Somero* y (3) la Dorsal Diapírica del Guadalquivir con agregaciones de gorgonias y esponjas sobre los fondos rocosos de dicha dorsal. Por ello es importante establecer medidas de regulación del arrastre de fondo en estas zonas concretas para así poder preservar hábitats incluidos en Directivas y Convenios. Dicha regulación del arrastre de fondo en esas zonas posiblemente tendrá repercusiones económicas para la flota de arrastre de fondo, y para ello se deberán de establecer mesas de diálogo e incentivos con el fin de poder encontrar un equilibrio entre la conservación de los hábitats y la extracción de recursos de la manera más sostenible posible.

Durante la serie histórica estudiada, los puertos pesqueros con mayores cantidades de capturas desembarcadas obtenidas en el LIC se localizan en la provincia de Huelva, siendo los puertos de Isla Cristina, Ayamonte y Punta Umbría (algunos años con hasta un 91,2% de todas las capturas del LIC). Considerando el conjunto de las zonas comentadas anteriormente y que deberían tener una regulación del arrastre de fondo, estos puertos podrían ser los más afectados frente a una posible regulación de su actividad con lo cual, habría que incrementar en dichos puertos, las acciones que puedan contrarrestar una posible disminución de su actividad y, por tanto, de sus ingresos económicos brutos.

Afortunadamente, en el *Campo Somero* del LIC se han detectado otras zonas con bajos niveles de actividad de arrastre de fondo así como de capturas y que se dan en torno al VF Gazul (a profundidades entre 400-500 m), en la Dorsal Diapírica de Cádiz, en el complejo diapiro-volcán de fango (DVF) Chica y en el VF de Pipoca (ambas en la zona del Canal de Huelva). Además, la actividad de arrastre es, por lo general, prácticamente nula por debajo de los 700 m de profundidad, lo cual corresponde al comienzo del *Campo Profundo de Expulsión de Fluidos* del LIC. Estas zonas con menor actividad de arrastre de fondo son zonas abruptas y con desniveles acusados (tanto elevaciones como canales), con substratos compuestos de arenas gruesas, gravas y rocas y con un alto hidrodinamismo (González-García et al., 2020a, 2022). En muchas de estas zonas se han detectado hábitats de alto interés vinculados al Hábitat 1170 de la DH (González-García et al., 2022; Rueda et al., 2022b, este informe). Afortunadamente, estas zonas se caracterizan por no presentar especies de alto valor económico ni altas capturas, por lo que la regulación de la pesca de arrastre de fondo en dichas zonas no debería representar un alto impacto socioeconómico para la flota de arrastre de fondo que faena en el LIC.

En relación a estas zonas con baja actividad de arrastre de fondo, se ha detectado la presencia muy ocasional y en determinados años de buques que realizan pesca de palangre de fondo, no pudiéndose cuantificar su actividad, su captura e ingresos económicos asociados en este informe, así como el posible impacto que pueda tener en estas zonas. Debido al impacto negativo que suele presentar esta modalidad de pesca sobre especies formadoras de hábitats vinculados al Hábitat 1170 de la DH, sería interesante realizar un estudio más detallado de dicha modalidad de pesca, para conocer la procedencia de sus buques, las especies objetivo y los ingresos asociados.

En relación con las estimaciones de actividad de arrastre de fondo, se han detectado buenas correlaciones entre las obtenidas con el Sistema de Seguimiento de Buques (SSB-VMS) en relación a horas de arrastre frente a las obtenidas mediante el conteo de marcas de arrastre en imágenes submarinas y en mapas de reflectividad a muy alta resolución. Estos dos últimos métodos deberían de usarse mas asiduamente en el estudio de la actividad de arrastre de fondo, sobretudo el de imágenes

submarinas, ya que ofrece una resolución mayor en hábitats con baja superficie y que ocurre en zonas concretas (ej. Comunidades quimiosintéticas en cimas de volcanes de fango). En todas las estimaciones de actividad de arrastre de fondo se ha detectado un efecto positivo en fondos fangosos y negativos en relación a la velocidad de corriente del fondo marino y la profundidad, factores que implican una mayor peligrosidad de las maniobras por parte de la flota de arrastre.

5.2. Conclusiones y propuestas sobre el solapamiento y la perturbación de los hábitats con la actividad de arrastre de fondo

Los hábitats que mostraron un mayor esfuerzo de arrastre de fondo (en número de horas) y una mayor superficie afectada por dicha actividad fueron *Fangos y arenas fangosas batiales dominadas por fauna excavadora*, *Fangos y arenas fangosas batiales con pennatuláceos* y *Arena y arena fangosa batiales dominadas por Hormathiidae* (*Actinauge richardi*). En el otro extremo los hábitats sometidos a una menor actividad de arrastre de fondo fueron los *Fondos detríticos batiales con campos de Leptometra phalangium*, *Fangos batiales compactos con Isidella elongata*, *Sedimentos mixtos batiales con Flabellum chunii* y *Arrecife de corales profundos* (*Lophelia pertusa*, *Madrepora oculata*). Un patrón similar se detectó con la perturbación, siendo los hábitats que tenían los niveles más altos de perturbación *Fangos y arenas fangosas batiales dominadas por fauna excavadora*, *Fangos y arenas fangosas batiales con pennatuláceos*, *Arena y arena fangosa batiales dominadas por hormathiidae* (*Actinauge richardi*) y *Coral muerto compacto (dead coral framework)*. El estudio combinado de la actividad de arrastre de fondo, el índice de sensibilidad BESITO y el cálculo de la perturbación se recomiendan como herramientas de gran utilidad para el estudio de las interacciones entre la actividad de arrastre de fondo y los hábitats.

En relación a los hábitats *Fangos y arenas fangosas batiales dominadas por fauna excavadora* y *Arena y arena fangosa batiales dominadas por Hormathiidae* es importante tener en cuenta que el componente biogénico es muy bajo, con valores de sensibilidad bajos, por lo que la actividad de arrastre de fondo y perturbación asociada seguramente no tiene un impacto de gran calado como el que podría causar en hábitats con alto componente biogénico y especies de lento crecimiento y alta fragilidad (ej. *Fangos batiales compactos con Isidella elongata*). Además en el caso del hábitat *Fangos y arenas fangosas batiales dominadas por fauna excavadora*, se ha detectado un alto solapamiento de dicho hábitat con las capturas de cigala, por lo que dichas zonas podrían destinarse a la extracción de este recurso pesquero.

Por el contrario, el hábitat *Fangos y arenas fangosas batiales con pennatuláceos*, contemplado por el convenio OSPAR y como un subtipo sedimentario del Hábitat 1170 de la DH, puede presentar un componente biogénico que en algunos casos puede

ser de alta densidad (zona entre los VF de Tarsis y Pipoca) y estar acompañado del coral bambú *Isidella elongata*, especie altamente vulnerable por su fragilidad y lento crecimiento y que ha sido catalogada como vulnerable en diferentes documentos científicos. En el LIC este tipo de hábitat es extensivo y se hace necesario, al menos, establecer medidas de regulación de la pesca de arrastre de fondo en aquellas zonas que contengan las mayores densidades, biomásas y tallas de las especies que conforman dicho hábitat en el LIC, como son *Funiculina quadrangularis*, *Kophobelemnion stelliferum* y *Pennatulula aculeata*. Además en estas zonas con alta abundancia de pennatuláceos, como es la zona de los VF de Tarsis y Pipoca, se dan pequeños reductos del hábitat Fangos batiales compactos con *Isidella elongata* (posiblemente con una mayor extensión en el pasado en el *Campo Somero*), por lo que un pequeño aumento del nivel de actividad de arrastre podría conllevar a la desaparición de dicho hábitat del *Campo Somero*, como se cree que ha sido el caso en otros sectores del *Campo Somero*.

El cartografiado de la perturbación mostró un patrón muy similar al obtenido para la actividad de arrastre de fondo, las capturas y el valor económico asociado, lo cual debe de tratarse con cautela pues seguramente muchas de estas zonas son adecuadas para la extracción de los recursos pesqueros y no presenten hábitats de interés para la conservación e incluidos en Directivas y Convenios. Es importante que se establezcan programas de seguimiento del estado del fondo marino en estas zonas para poder por un lado evaluar el estado del recurso comercial, pero también del hábitat y con ello saber si se mantiene el estado de estos hábitats frente a altos niveles de presión pesquera.

En relación al hábitat 1180, se detectó un alto porcentaje del área del hábitat *Estructuras producidas por escape de gases con comunidades quimiosintéticas* con actividad de arrastre de fondo, pero en un estudio más detallado usando imágenes submarinas no se detectó la presencia de marcas de arrastre sobre dicho hábitat en las cimas de los VF Anastasya y Tarsis. Este contraste de resultados podría deberse a un efecto del tamaño del grid utilizado para el estudio de la actividad de arrastre, pues estos hábitats tienen superficies relativamente pequeñas y centradas en las cimas de VF de un tamaño similar a la celda del grid usado ($< 1 \text{ km}^2$), y el valor de la actividad de arrastre de fondo puede deberse a lo que ocurre en fondos adyacentes que, frecuentemente, presentan indicios de actividad de arrastre. No obstante el análisis detallado por categorías de actividad de arrastre indicó que generalmente tenía categoría 1 y 2 de arrastre de fondo, lo cual correspondería a una muy baja o baja actividad (Categorías establecidas del 1 al 5).

5.3. Conclusiones y propuestas sobre el impacto en los hábitats

En el presente estudio sólo se ha podido estudiar el impacto en algunos tipos de hábitats del *Campo Somero*, fundamentalmente aquellos de tipo sedimentario y que pueden presentar una interacción con la pesca de arrastre de fondo. Por ello se deberían de hacer estudios en el futuro con otros tipos de hábitats no contemplados y que podrían tener un impacto tanto directo como indirecto de la pesca de arrastre, como son los presentes en sustratos mixtos y duros y colonizados por organismos suspensívoros. Además sería recomendable la realización de experimentos de tipo BACI (*Before After Control Impact*) así como aquellos destinados a mejorar el conocimiento sobre la supervivencia y resiliencia de las especies a las actividades de la pesca de arrastre de fondo.

Tal y como se ha hipotetizado en diferentes estudios realizados en el LIC, la pesca de arrastre de fondo puede ser la responsable de la distribución de hábitats sedimentarios presentes en la zona donde faena la flota de arrastre, detectándose fuertes relaciones de la actividad de arrastre de fondo hacia tipos de hábitats que presentan un menor componente biogénico. El efecto de abrasión y daño de la actividad de arrastre sobre el fondo marino es bien conocido para diferentes zonas del mundo y, lamentablemente, los fondos marinos del LIC no representan una excepción, resultando en un descenso de la cobertura epifaunal junto a un aumento de las especies carnívoras-carroñeras y que pueden enterrarse en el sedimento. Ello se traduce en un descenso de la abundancia de organismos sensibles y por tanto del índice BESITO y la calidad del fondo marino.

Curiosamente se detectaron patrones de los índices abundancia y sensibilidad que parecen responder en forma e intensidad al aumento de la actividad de arrastre, pero no fue el caso para el índice de diversidad de Shannon-Wiener y la equirrepartición los cuales mostraron aumentos. Este patrón podría deberse a un aumento de la equirrepartición en una comunidad degradada donde la especie dominante y constructora del hábitat (ej. pennatuláceos) ha regresionado drásticamente y ha influido en los valores detectados. Es bien conocida la interrelación del índice de Diversidad de Shannon-Wiener con la equirrepartición y la riqueza específica y, en este caso, parece responder más a la equirrepartición, por lo que los resultados de dicho índice deben ser tratados con cautela en estudios de impacto.

En relación al Hábitat 1180, este estudio no ha podido detectar un impacto significativo del arrastre de fondo en el hábitat *Estructuras producidas por escape de gases con comunidades quimiosintéticas* en dos volcanes situados en sectores con actividad de arrastre de fondo diferente y usando una combinación metodológica de análisis de imágenes submarinas (destinadas al contaje y caracterización de los

tapetes bacterianos y epifauna asociada) y muestras de meso box-corer (destinadas a la caracterización de las especies quimiosimbióticas endofaunales). Las diferencias entre los volcanes mostraron una mayor relación con la actividad de emisión que con la actividad de arrastre, pues el volcán de fango situado en el sector de mayor actividad de arrastre (Anastasya) mostró las mayores densidades de tapetes bacterianos y especies quimiosimbióticas.

No obstante, este estudio sí ha podido documentar que posiblemente la actividad de arrastre en la cima de estos volcanes de fango, donde se encuentra el hábitat *Estructuras producidas por escape de gases con comunidades quimiosintéticas*, es muy baja debido a (1) la bajísima o nula abundancia de marcas de arrastre en imágenes submarinas y datos acústicos tomadas en la cima de los volcanes con relación a las zonas adyacentes a los volcanes de fango; (2) el nulo o bajísimo número de horas de arrastre detectados en el análisis de los SSB-VMS para los diferentes años de la serie estudiada; (3) la ausencia de los cambios en la composición o estructura de la comunidad endofaunal de especies quimiosimbióticas en la última década; y (4) la mayor densidad significativa de organismos epifaunales y constructores de hábitats en la cima de los volcanes con respecto a los fondos adyacentes.

En base al punto anterior, posiblemente la flota de arrastre conoce bien la localización de los volcanes de fango y también establecen una forma de pesca de tipo precautoria frente a estas estructuras submarinas para así evitar enfangues indeseados en aquellos volcanes altamente fangosos (ej. Anastasya) o enganches del arte en aquellos que contienen carbonatos autigénicos (ej. Pipoca). No obstante se recomienda la regulación de la pesca de arrastre de fondo en los volcanes de fango y complejos diapiro-volcán y sus fondos adyacentes (zona buffer) para poder tener un doble efecto precautorio sobre los hábitats vulnerables presentes, pero también sobre los propios pescadores para que eviten enfangues o roturas de sus aparejos.

En relación al Hábitat 1170 de tipo sedimentario con presencia extensiva en caladeros de pesca como es *Fangos y arenas fangosas batiales con pennatuláceos*, el presente estudio ha podido documentar con detalle el impacto que ejerce el arrastre de fondo combinando muestreos con beam-trawl e imágenes submarinas frente a dos estimas diferentes de la actividad de arrastre de las zonas estudiadas (mediante datos de SSB-VMS y de conteo de marcas submarinas en imágenes submarinas), obteniéndose generalmente resultados similares para ambos métodos y estimaciones y suavizando las peculiares desventajas que presentan cada método. No obstante, los transectos de imágenes submarinas pudieron aportar estimas de densidad mucho mejores para las especies formadoras de hábitats y las muestras de beam-trawl estimaron mejor la diversidad de especies y los resultados del índice de sensibilidad BESITO porque pueden muestrear diferentes componentes del hábitat tanto las especies constructoras como especies no visibles en las imágenes submarinas.

Se ha detectado que las zonas que presentan una alta actividad de arrastre de fondo presentan cambios significativos en su composición y estructura, con una menor abundancia de especies sensibles y constructoras de hábitats que en zonas con baja actividad de arrastre, posiblemente por la retirada y el daño ocasionado a dichas especies por la fricción de las puertas y red con cadenas de este arte, entre otros. Aunque los cambios detectados en el hábitat de *Fangos y arenas fangosas batiales con pennatuláceos* se han debido fundamentalmente a la actividad de arrastre, este estudio ha mostrado que la profundidad, tipo de sedimento y velocidad de corriente guardan cierta relación con las comunidades estudiadas en menor medida.

El estudio de impacto de la actividad de arrastre ha demostrado una disminución significativa de la abundancia y de la distribución de tallas de dos especies dominantes y formadoras del hábitat *Fangos y arenas fangosas batiales con pennatuláceos* como son *Kophobelemnion stelliferum* y *Funiculina quadrangularis*, lo cual está seguramente causando efectos irreversibles en los hábitats que conforman, resultando en facies de dichos hábitats con menores densidades y tallas. El efecto negativo de la actividad de arrastre parece ser más severo en *F. quadrangularis*, posiblemente debido a su mayor tamaño y fragilidad, por lo que se deberían de establecer medidas de gestión que minimicen dichos efectos en la futura ZEC.

En relación al establecimiento de zonas de regulación de la pesca de arrastre de fondo es importante que estas futuras zonas tengan en cuenta la singularidad y tamaño del hábitat (importante para el caso de *Estructuras producidas por escape de gases con comunidades quimiosintéticas*), así como la posibilidad de que al menos se puedan regular aquellos núcleos de mayor complejidad estructural (ej. densidad de especie formadora del hábitat) de los hábitats que sean muy extensivos y solapen enormemente con la actividad de arrastre (ej. *Fangos y arenas fangosas batiales con pennatuláceos*). Así como realizar un análisis del grado de presión que permita el buen estado ambiental del hábitat y la extracción de los recursos.

6. Referencias bibliográficas (Con asterisco se marcan las realizadas en el marco del proyecto INTEMARES IP PAF para el LIC “*Volcanes de fango del golfo de Cádiz*”)

- Alverson, D. L. (1999). Some observations on the science of bycatch. Marine Technology Society. Marine Technology Society Journal, 33(2), 6.
- Baldó, F., García-Isarch, E., Jiménez, M.P., Romero, Z., Sánchez-Lamadrid, A., Catalán, I.A., 2006. Spatial and temporal distribution of the early life stages of three commercial fish species in the northeastern shelf of the Gulf of Cádiz. Deep-Sea Res. Part II: Top. Stud. Oceanogr., 53 (11-13), 1391-1401.

- Bastardie, F., Nielsen, J.R., Ulrich, C., Egekvist, J., Degel, H., 2010a. Detailed mapping of fishing effort and landings by coupling fishing logbooks with satellite-recorded vessel geo-location. *Fish. Res.*, 106 (1), 41-53.
- Bianchi, G., Gislason, H., Graham, K., Hill, L., Jin, X., Koranteng, K., Manickchand-Heileman, S., Payá, I., Sainsbury, K., Sánchez, F. & Zwanenburg, K. (2000). Impact of fishing on size composition and diversity of demersal fish communities. *ICES Journal of Marine Science*, 57(3), 558-571.
- Bray J.R., Curtis J.T., 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.* 27 (4), 325-349.
- Bueno-Pardo, J., Ramalho, S.P., García-Alegre, A., Morgado, M., Vieira, R.P., Cunha, M.R., Queiroga, H., 2017. Deep-sea crustacean trawling fisheries in Portugal: quantification of effort and assessment of landings per unit effort using a Vessel Monitoring System (VMS). *Sci. Rep.*, 7 (1), 1-10.
- Caesar, K.H., Kyle, J.R., Lyons, T.W., Tripathi, A., Loyd, S.J., 2019. Carbonate formation in salt dome cap rocks by microbial anaerobic oxidation of methane. *Nat. Commun.* 808 (10), 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-08687-z>.
- Clarke, K. R., & Green, R. H. (1988). Statistical design and analysis for a 'biological effects' study. *Marine Ecology Progress Series*, 213-226.
- Clarke, K. R., & Warwick, R. M. (1998). Quantifying structural redundancy in ecological communities. *Oecologia*, 113(2), 278-289.
- Collie, J. S., Hall, S. J., Kaiser, M. J., & Poiner, I. R. (2000). A quantitative analysis of fishing impacts on shelf-sea benthos. *Journal of Animal Ecology*, 69(5), 785-798.
- Cunha, M.R., Rodrigues, C.F., Génio, L., Hilário, A., Ravara, A., Pfannkuche, O., 2013. Macrofaunal assemblages from mud volcanoes in the Gulf of Cádiz: abundance, biodiversity and diversity partitioning across spatial scales. *Biogeosciences*. 10 (4), 2553-2568.
- Dayton, P. K., Thrush, S. F., Agardy, M. T., & Hofman, R. J. (1995). Environmental effects of marine fishing. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 5(3), 205-232.
- de la Torre, A., Verísimo, P., Punzón, A., González Irusta, J.M., Sainz Barriain M. & Serrano, A. (2022). Diagnóstico del impacto de las actividades humanas y del cambio climático sobre la RN 2000 marina y propuestas para controlar, eliminar o mitigar sus efectos: Pesca Profesional "LIC Sur Almería-Seco de los Olivos", LIFE IP INTEMARES, 77 pp

- De Madron, X. D., Ferré, B., Le Corre, G., Grenz, C., Conan, P., Pujo-Pay, M., Buscaill, R. & Bodirot, O. (2005). Trawling-induced resuspension and dispersal of muddy sediments and dissolved elements in the Gulf of Lion (NW Mediterranean). *Continental Shelf Research*, 25(19-20), 2387-2409.
- DeAlteris, J., Skrobe, L., & Lipsky, C. (1999). The significance of seabed disturbance by mobile fishing gear relative to natural processes: a case study in Narragansett Bay, Rhode Island. In *American Fisheries Society Symposium* (Vol. 22, pp. 224-237).
- Delgado, M., Rueda, J.L., Gil, J., Burgos, C., Sobrino, I., 2013. Spatial characterization of megabenthic epifauna of soft bottoms around mud volcanoes in the Gulf of Cádiz. *J. Nat. Hist.*, 47 (25-28), 1803-1831.
- Dellapenna, T. M., Allison, M. A., Gill, G. A., Lehman, R. D., & Warnken, K. W. (2006). The impact of shrimp trawling and associated sediment resuspension in mud dominated, shallow estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 69(3-4), 519-530.
- Díaz-del-Río, V., Somoza, L., Martínez-Frias, J., Mata, M.P., Delgado, A., Hernández-Molina, F.J., Lunar, R., Martín-Rubí, J.A., Maestro, A., Fernández-Puga, M.C., León, R., Llave, E., Medialdea, T., Vázquez, J.T., 2003. Vast fields of hydrocarbon-derived carbonate chimneys related to the accretionary wedge/olistostrome of the Gulf of Cádiz. *Mar. Geol.* 195 (1-4), 177-200. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(02\)00687-4](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(02)00687-4)
- Díaz-del-Río-Español, V., Rueda, J.L., Fernández-Salas, L.M., Bruque-Carmona, G., González-García, E., López-González, N., López-Rodríguez, F.J., Palomino, D., Rittierott, C., Sánchez-Leal, R.F., Vázquez, J.T., Farias, C., Fernández Zambrano, A., Oporto, T., Marina-Ureña, P., Sánchez-Guillamón, O., García-Muñoz, M., Urra, J., Jiménez, M.P., Luque, V., Alfaro, B., 2014a. Caracterización ecológica del área marina de "Volcanes de fango del golfo de Cádiz". Informe Final área LIFE + INDEMARES (LIFE07/NAT/E/000732). Instituto Español de Oceanografía. Coordinación: Fundación Biodiversidad, Madrid, 967 pp.
- Díaz del Río V., Bruque G., Fernández-Salas L.M., Rueda, J.L., González, E., López, N., Palomino, D., López, F.J., Farias, C., Sánchez, R., Vázquez, J.T., Rittierott, C.C., Fernández, A., Marina, P., Luque, V., Oporto, T., Sánchez, O., García, M., Urra, J., Bárcenas, P., Jiménez, M.P., Sagarminaga, R., Arcos, J.M., 2014b. *Volcanes de fango del golfo de Cádiz*. In: Fundación Biodiversidad del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, (Ed.), Proyecto LIFE + INDEMARES, Madrid, 128 pp.
- Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:31992L0043>

- Elliott, S.A.M., Guérin, L., Pesch, R., Schmitt, P., Meakins, B., Vina-Herbon, C., González Irusta, J.M., De la Torriente, A., Serrano, A., 2018. Integrating benthic habitat indicators: Working towards an ecosystem approach. *Marine Policy*, 90: 88-94. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.01.003>.
- Faugères, J.C., Stow, D.A.V., Imbert, P., Viana, A., 1999. Seismic features diagnostic of contourite drifts. *Mar. Geol.* 162, 1–38. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(99\)00068-7](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(99)00068-7)
- Fernández-Puga, M.C., Vázquez, J.T., Somoza, L., Díaz del Río, V., Medialdea, T., Mata, M.P., León, R., 2007. Gas-related morphologies and diapirism in the Gulf of Cádiz. *Geo-Mar. Lett.* 27, 213-221. <https://doi.org/10.1007/s00367-007-0076-0>
- *Fernández-Salas, L.M., Palomino, D., Villar Menéndez, I., García García, M., Sánchez-Guillamón, O., 2021. Life IP INTEMARES. Informe sobre la distribución espacial de las características geomorfológicas y sedimentarias del LIC-ESZZ12002-Volcanes de fango del Golfo de Cádiz (Demarcación Sudatlántica). SubAcción A.2.1: Mejora del conocimiento en zonas ya declaradas. Proyecto Life IP INTEMARES. Instituto Español de Oceanografía. Informe técnico. 49 pp.
- García-Gómez J.C., Sempere-Valverde J., Roi A., Martínez-Chacón M., Oloya-Ponzzone L., Sánchez-Moyano E., Ostalé-Valriberas E., Megina C. 2020. From exotic to invasive in record time: The extreme impact of *Rugulopteryx okamuræ* (Dictyotales, Ochrophyta) in the strait of Gibraltar. *Science of the Total Environment* 704: 135408. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135408
- *García Raso J., García-Muñoz J., Mateo-Ramírez A., et al. 2018. Decapod crustaceans Eucalliidae in chemoautotrophic bathyal bottoms of the Gulf of Cadiz (Atlantic Ocean), environmental characteristics and associated communities. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 99 (2), 437-444. <https://doi.org/10.1017/S0025315418000280>
- *González-García, E., Mateo-Ramírez, A., Urra, J., Farias, C., García, T., Gil, J., García Raso, E., López-González, N., Rueda, J.L., 2020a. Bottom trawling activity, main fishery resources and associated benthic and demersal fauna in a mud volcano field of the Gulf of Cádiz (southwestern Iberian Peninsula). *Reg. Stud. Mar. Sci.* 33, 100985. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2019.100985>
- *González-García, E., Mateo-Ramírez, Á., Urra, J., Farias, C., Marina, P., Lozano, P., López-González, P. J., Megina, C., García Raso, J.E., Gofas, S., López, E., Moreira, J., López-González, N., Sánchez-Leal, R.F., Fernández-Salas, L.M. & Rueda, J.L. 2020b. Composition, structure and distribution of epibenthic communities within a mud volcano field of the northern Gulf of Cádiz in relation to environmental variables and trawling activity. *Journal of Sea Research*, 160, 101892. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2020.101892>

- *González-García, E., Mateo-Ramírez, Á., Castaño, M. M., Bruque, G., Farias, C., López-González, N., Punzón, A., Rueda, J.L. (2022). Spatio-temporal trends of the bottom trawling activity in a mud volcano field of the north-eastern Gulf of Cádiz (south-western Iberian Peninsula). *Fisheries Research*, 254, 106420.
- *González-Fernández, J.M., 2020. Crustáceos del Lugar de Importancia Comunitaria "Volcanes de fango del golfo de Cádiz". Trabajo Final de Master, Master de Diversidad Biológica y Medio Ambiente, Universidad de Málaga 56 pp.
- González-Irusta, J.M., De la Torriente, A., Punzón, A., Blanco, M., Serrano, A., 2018. Determining and mapping species sensitivity to trawling impacts: The Benthos Sensitivity Index to Trawling Operations (BESITO). *ICES Journal of Marine Science* 75(5). <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy030>
- Gray, J. S., Dayton, P., Thrush, S., & Kaiser, M. J. (2006). On effects of trawling, benthos and sampling design. *Marine Pollution Bulletin*, 52(8), 840-843.
- Grinyó, J., Francescangeli, M., Santín, A., Ercilla, G., Estrada, F., Mecho, A., Fanelli E., Costa, C., Danovaro, R., Batista Company, J., Sobrino, I., Valencia, J., Aguzzi, J., 2022. Megafaunal assemblages in deep-sea ecosystems of the Gulf of Cadiz, northeast Atlantic ocean. *Deep Sea Res. I Oceanogr. Res. Pap.* 183, 103738. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2022.103738>
- Hareide, N. R., & Garnes, G. (2001). The distribution and catch rates of deep water fish along the Mid-Atlantic Ridge from 43 to 61 N. *Fisheries Research*, 51(2-3), 297-310.
- Hernández-Molina, F.J., Llave, E., Somoza, L., Fernández-Puga, M.C., Maestro, A., León, R., Medialdea, M., Barnolas, A., García, M., Díaz del Río, V., Fernández-Salas, L.M., Vázquez, J.T., Lobo, F., Alveirinho Dias, J., Rodero, J., Gardner, J. (2003) Looking for clues to paleoceanographic imprints: a diagnosis of the Gulf of Cadiz Contourite Depositional Systems. *Geology*, 31: 19-22.
- Hintzen, N.T., Piet, G.J., Brunel, T., 2010. Improved estimation of trawling tracks using cubic Hermite spline interpolation of position registration data. *Fish. Res.*, 101 (1-2), 108-115.
- Hintzen, N.T., Bastardie, F., Beare, D., Piet, G.J., Ulrich, C., Deporte, N., Egekwist, J., Degel, H., 2012. VMStools: Open-source software for the processing, analysis and visualisation of fisheries logbook and VMS data. *Fish. Res.*, 115, 31-43.
- Howell, K.L., Davies, J.S., Allcock, A.L., Braga-Henriques, A., Buhl-Mortensen, P., Carreiro-Silva, M., Dominguez-Carrió, C., Durden, J.M., Foster, N.L., Game, C.A., Hitchin, B., Horton, T., Hosking, B., Jones, D.O.B., Mah, C., Marchais, C.L., Menot, L., Morato, T., Pearman, T.R.R., Piechaud, N., Ross, R.E., Ruhl, H.A., Saedi, H.,

- Stefanoudis, P.V., Taranto, G.H., Michael, B.T., Taylor, J.R., Tyler, P., Vad, J., Victorero, L., Vieira, R.P., Woodall, L.C., Xavier, J.R., Wagner, D., 2019. A framework for the development of a global standardised marine taxon reference image database (SMarTaR-ID) to support image-based analyses. *PLoS ONE* 14 (12), e0218904. <https://doi.org/10.1101/670786>
- Humborstad, O. B., Nøttestad, L., Løkkeborg, S., & Rapp, H. T. (2004). RoxAnn bottom classification system, sidescan sonar and video-sledge: spatial resolution and their use in assessing trawling impacts. *ICES Journal of Marine Science*, 61(1), 53-63.
- Jennings, S., and Kaiser, M. J. 1998. The effects of fishing on marine ecosystems. *Advances in Marine Biology*, 34: 201–352
- Jiménez, M.P., Sobrino, I., Ramos, F., 1998. Distribution pattern, reproductive biology, and fishery of the wedge sole *Dicologlossa cuneata* in the Gulf of Cádiz, south-west Spain. *Mar. Biol.*, 131 (1), 173-187.
- Jiménez, M.P., Sobrino, I., Ramos, F., 2004. Objective methods for defining mixed-species trawl fisheries in Spanish waters of the Gulf of Cádiz. *Fish. Res.*, 67 (2), 195-206.
- Junta de Andalucía (Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible), 2020. La flota pesquera andaluza: Situación a 31 de Diciembre de 2019. https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/estudios_informes/19/12/Datos%20del%20sector%20agrario%20y%20pesquero_2020.pdf.
- Krebs, C.J., 1989. *Ecological Methodology*. Harper and Row Publishers, New York, 620 pp.
- Kruskal, W.H., Wallis, W.A., 1952. Use of ranks in one-criterion variance analysis. *J. Am. Stat. Assoc.* 47 (260), 583-621.
- Kruskal, J.B., Wish, M., 1978. *Multidimensional scaling*, 11. Sage University Paper.
- Lacharité, M., Metaxas, A., 2017. Hard substrate in the deep ocean: How sediment features influence epibenthic megafauna on the eastern Canadian margin. *Deep-Sea Res. Part I* 126, 50-61. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dsr.2017.05.013>
- Lee, J., South, A. B., Jennings, S., 2010. Developing reliable, repeatable, and accessible methods to provide high-resolution estimates of fishing-effort distributions from vessel monitoring system (VMS) data. *ICES J. Mar. Sci.*, 67 (6), 1260-1271.

- León, R., Somoza, L., Medialdea, T., González, F.J., Díaz-del-Río, V., Fernández-Puga, M.C., Maestro, A., Mata, M.P., 2007. Sea-floor features related to hydrocarbon seeps in deepwater carbonate-mud mounds of the Gulf of Cádiz: from mud flows to carbonate precipitates. *Geo-Mar. Lett.* 27, 237-247. <https://doi.org/10.1007/s00367-007-0074-2>
- León, R., Somoza, L., Medialdea, T., Vázquez, J.T., González, F.J., López-González, N., Casas, D., Mata, M.P., Fernández-Puga, M.C., Giménez-Moreno, C.J., Díaz-del-Río, V., 2012. New discoveries of mud volcanoes on the Moroccan Atlantic continental margin (Gulf of Cádiz): morpho-structural characterization. *Geo-Mar. Lett.* 32, 473-488. <https://doi.org/10.1007/s00367-012-0275-1>
- Llave, E., Hernández-Molina, F.J., Somoza, L., Díaz-del-Río, V., Stow, D.A.V., Maestro, A., Alveirinho Dias, J.M., 2001. Seismic stacking pattern of the Faro-Albufeira contourite system (Gulf of Cadiz): a Quaternary record of paleoceanographic and tectonic influences. *Mar. Geophys. Res.* 22 (5-6), 475-496. <https://doi.org/10.1023/A:1016355801344>
- *Lozano, P., Rueda, J.L., Gallardo-Núñez, M., Farias, C., Urra, J., Vila, Y., López-González, N., Palomino, D., Sánchez-Guillamón, O., Vázquez, J.T., Fernández-Salas, L.M., 2020a. Habitat distribution and associated biota in different geomorphic features within a fluid venting area of the Gulf of Cádiz (Southwestern Iberian Peninsula, Northeast Atlantic Ocean). In: Harris, P.T., Baker, E., (Eds.), *Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat*, Elsevier Inc., pp. 847-861. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814960-7.00052-X>
- *Lozano, P., Fernández-Salas, L.M., Hernández-Molina, F.J., Sánchez-Leal, R., Sánchez-Guillamón, O., Palomino, D., Farias, C., Mateo-Ramírez, A., López-González, N., García, M., Vázquez, J.T., Vila, Y., Rueda, J.L., 2020b. Multiprocess interaction shaping geofoms and controlling substrate types and benthic community distribution in the Gulf of Cádiz. *Mar. Geol.* 423, 106139. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2020.106139>.
- *Lozano, P., González-Mirelis, G., Rueda, J.L., Ross, R.E., Gallardo-Núñez, M., González-García, E., Sánchez-Leal, R.F., Vila, Y., Buhl-Mortensen, P., Fernández-Salas, L.M. En preparación. Environmental variables and bottom trawling effort affect the conditioning complexity and distribution of soft-bottom octocorals and burrowing megafauna communities in the Gulf of Cádiz.
- Malik, M. A., & Mayer, L. A. (2007). Investigation of seabed fishing impacts on benthic structure using multi-beam sonar, sidescan sonar, and video. *ICES Journal of Marine Science*, 64(5), 1053-1065.

- Mardle, S., Pascoe, S., Boncoeur, J., Le Gallic, B., García-Hoyo, J. J., Herrero, I., & Mathiesen, C. (2002). Objectives of fisheries management: case studies from the UK, France, Spain and Denmark. *Marine Policy*, 26(6), 415-428.
- MarLIN, 2006. BIOTIC - Biological Traits Information Catalogue. Marine Life Information Network. Plymouth: Marine Biological Association of the United Kingdom. [Cited insert date] Available from www.marlin.ac.uk/biotic
- *Mateo-Ramírez, A., González-García, E., Farias, C., García Raso, J.E., Gofas, S., López, E., López-González, P.J., Maldonado, M., Marina, P., Megina, C., Moreira, J., Ramalho, L., Ramos-Esplá, A.A., Sitjà, C., Urra, J., Utrilla, O., Rueda, J.L., 2019. New Advances in the study of the biodiversity of the SCI "Volcanes de fango del golfo de Cádiz" (southwestern Spanish Margin). *Front. Mar. Sci Conference Abstract, XX Iberian Symposium on Marine Biology Studies (SIEBM XX)*. Universidad de Minho, Braga.
- *Mateo-Ramírez, A., González-García, E., Utrilla, O., Urra, J., Ramalho, L.V., Farias, C., Gallardo-Núñez, M., Rueda, J.L., 2020. LIFE IP INTEMARES. Informe sobre el estado actual de conocimiento de la biodiversidad del LIC-ESZZ12002 "Volcanes de fango del golfo de Cádiz" (Demarcación Sudatlántica). Proyecto Life IP INTEMARES. Instituto Español de Oceanografía. Informe técnico. 87 pp.
- *Mateo-Ramírez, A., Iñiguez, C., Fernández-Salas, L.M., Sánchez-Leal, R.F., Farias, C., Bellanco, M.J., Gil, J., Rueda, J.L. En revisión. Healthy thalli of the invasive seaweed *Rugulopteryx okamurae* (Phaeophyceae) being massively dragged into deep-sea bottoms by the Mediterranean Outflow Water. *Phycologia*.
- Medialdea, T., Vegas, R., Somoza, L., Vázquez, J.T., Maldonado, A., Díaz-del-Río, V., Maestro, A., Córdoba, D., Fernández-Puga, M.C., 2004. Structure and evolution of the "Olistostrome" complex of the Gibraltar Arc in the Gulf of Cádiz (eastern Central Atlantic): evidence from two long seismic cross-sections. *Mar. Geol.* 209 (1-4), 173-198. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2004.05.029>
- Medialdea, T., Somoza, L., Pinheiro, L.M., Fernández-Puga, M.C., Vázquez, J.T., León, R., Ivanov, M.K., Magalhaes, V., Díaz-del-Río, V., Vegas, R., 2009. Tectonics and mud volcano development in the Gulf of Cádiz. *Mar. Geol.* 261 (1-4), 48-63. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2008.10.007>
- Mills, C.M., Townsend, S.E., Jennings, S., Eastwood, P.D., Houghton, C.A., 2007. Estimating high resolution trawl fishing effort from satellite-based vessel monitoring system data. *ICES J. Mar. Sci.*, 64 (2), 248-255.
- Nelson, C.H., Baraza, J., Maldonado, A., Rodero, J., Escutia, C., Barber Jr, J.H., 1999. Influence of the Atlantic inflow and Mediterranean outflow currents on Late

- Quaternary sedimentary facies of the Gulf of Cadiz continental margin. *Mar. Geol.* 155 (1-2), 99-129. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(98\)00143-1](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(98)00143-1)
- Palanques, A., Martín, J., Puig, P., Guillén, J., Company, J. B., & Sardà, F. (2006). Evidence of sediment gravity flows induced by trawling in the Palamós (Fonera) submarine canyon (northwestern Mediterranean). *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 53(2), 201-214.
- Palomino, D., López-González, N., Vázquez, J.T., Fernández-Salas, L.M., Rueda, J.L., Sánchez-Leal, R., Díaz-del-Río, V., 2016. Multidisciplinary study of mud volcanoes and diapirs and their relationship to seepages and bottom currents in the Gulf of Cádiz continental slope (northeastern sector). *Mar. Geol.* 378, 196-212. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2015.10.001>
- *Palomino, D., Mateo-Ramirez, A., Vázquez, J.T., López-González, N., González-García, E., Fernández-Salas, L.M., Cepeda, C., & Rueda, J.L. En revisión. Fluid venting submarine structures in the middle slope of the Spanish continental margin of the Gulf of Cádiz: geomorphology, internal structure, benthic features and control factors. *Marine Geology*.
- Pielou, E. C. (1969). *An introduction to mathematical ecology*. New York, USA, Wiley-Inter-science.
- Pinheiro, L., Ivanov, M.K., Sautkin, A., Akhmanov, G., Magalhães, V., Volkonskaya, A., Monteiro, J.H., Somoza, L., Gardner, J. Hamouni, N., Cunha, M.R., 2003. Mud volcanism in the Gulf of Cádiz: results from the TTR-10 cruise. *Mar. Geol.* 195 (1-4), 131-151. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(02\)00685-0](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(02)00685-0)
- Pita C., Pereira J., Lourenço S., Sonderblohm C., Pierce G.J., 2015. The Traditional Small-Scale Octopus Fishery in Portugal: Framing Its Governability. In: Jentoft S., Chuenpagdee R. (eds) *Interactive Governance for Small-Scale Fisheries*. MARE Publication Series, vol 13. Springer, Cham.
- Puerta, P., Mosquera-Giménez, A., Reñones, O., Domínguez-Carrió, C., Rueda, J.L., Urra, J., Carreiro-Silva, M., Blasco-Ferre, J., Santana, Y., Gutiérrez-Zárate, C., Vélez-Belchí, P., Rivera, J., Morato, T., Orejas, C., 2022. Variability of deep-sea megabenthic assemblages along the western pathway of the Mediterranean outflow water. *Deep-Sea Res.* 185, 103791. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2022.103791>
- *Ramalho, L.V., López-Fé, C.M., Rueda, J.L., 2018. Three species of *Reteporella* (Bryozoa: Cheilostomata) in a diapiric and mud volcano field of the Gulf of Cádiz, with the description of *Reteporella victori* n. sp. *Zootaxa* 4375 (1), 90-104. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4375.1.4>

- *Ramalho, L.V., López-Fé C.M., Mateo-Ramírez A. & Rueda, J.L. 2020. Bryozoa from deep-sea habitats of the northern Gulf of Cádiz (Northeastern Atlantic). *Zootaxa*, 4768(4). <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4768.4.1>
- Ramírez-Llodra, E., Ballesteros, M., Dantart, L., & Sardà, F. (2008). Spatio-temporal variations of biomass and abundance in bathyal non-crustacean megafauna in the Catalan Sea (North-western Mediterranean). *Marine biology*, 153(3), 297-309.
- Ramos, F., Sobrino, I., Jiménez, M.P., 1996. Cartografía temática de los caladeros de la flota de arrastre en el Golfo de Cádiz, Informe técnico 45/96. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía. https://www.juntadeandalucia.es/sites/default/files/2020-04/1337170139Cartografxa_de_Especies_y_Caladeros_Golfo_de_Cxdiz.pdf
- Rueda, J.L., Díaz-del-Río, V., Sayago-Gil, M., López-González, N., Fernández-Salas, L.M., Vázquez, J.T., 2012a. Fluid venting through the seabed in the Gulf of Cadiz (SE Atlantic Ocean, Western Iberian Peninsula): geomorphic features, habitats and associated fauna. In: Harris, P.T., Baker, E.K., (Eds.), *Seafloor geomorphology as benthic habitat: Geohab atlas of seafloor geomorphic features and benthic habitats*. Elsevier, London, pp. 831-841. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385140-6.00061-X>
- Rueda, J.L., Urra, J., Gofas, S., López-González, N., Fernández-Salas, L.M., Díaz-del-Río, V., 2012b. New records of recently described chemosymbiotic bivalves for mud volcanoes within the European waters (Gulf of Cádiz). *Mediterr. Mar. Sci.* 13, 262-267. <https://doi.org/10.12681/mms.307>
- Rueda, J.L., González-García, E., Krutzky, C., López-Rodríguez, F.J., Bruque, G., López-González, N., Palomino, D., Sánchez, R.F., Vázquez, J.T., Fernández-Salas, L.M., Díaz-del-Río, V., 2016. From chemosynthesis-based communities to cold-water corals: Vulnerable deep-sea habitats of the Gulf of Cádiz. *Mar. Biodivers.* 46, 473-482. <https://doi.org/10.1007/s12526-015-0366-0>
- *Rueda, J.L., Urra, J., Aguilar, R., Angeletti, L., Bo, M., García-Ruiz, C., González-Duarte, M.M., López, E., Madurell, T., Maldonado, M., Mateo-Ramírez, A., Megina, C., Moreira, J., Moya, F., Ramalho, L.V., Rosso, A., Sitjà, C., Taviani, M., 2019. Cold-Water Coral Associated Fauna in the Mediterranean Sea and Adjacent Areas. In: Orejas, C., Jiménez, C., (Eds.), *Mediterranean Cold-Water Corals: Past, Present and Future. Coral Reefs of the World*, 9. Springer, Cham, pp. 295-333. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91608-8_29
- Rueda, J.L., Gofas, S., Aguilar, R., de la Torriente, A., García Raso, J.E., Lo Iacono, C., Luque, A.A., Marina, P., Mateo-Ramírez, A., Moya-Urbano, E., Moreno, D., Navarro-Barranco, C., Salas, C., Sánchez-Tocino, L., Templado, J., Urra, J., 2021.

Benthic fauna of littoral and deep-sea habitats of the Alboran Sea: a hotspot of biodiversity. In: Báez, J.C., Camiñas, J.A., Vázquez, J.T., Malouli, M., (Eds.), *Alboran Sea and its marine resources*, 9. Springer, Cham, pp. 285-358. https://doi.org/10.1007/978-3-030-65516-7_9

*Rueda, J.L., González-García, E., Gallardo-Núñez, M., Urra, J., Mateo-Ramírez, A., Palomino, D., Farias, C., García García, M., Rodríguez-Rúa, A., Villar-Menéndez, I., Utrilla, U., Franco-Gutiérrez, E., 2022a. Informe de la campaña INTEMARES A4 CAD en el LIC “*Volcanes de fango del golfo de Cádiz*”. Instituto Español de Oceanografía. Coordinación: Fundación Biodiversidad, Madrid, 116 pp.

*Rueda, J.L., Mateo-Ramírez, A., González-García, E., Urra, J., Gallardo-Núñez, M., Martín-Arjona, A., Lozano, P., Utrilla, O., Franco-Gutiérrez, E., Farias, C., 2022b. Life IP INTEMARES. Informe sobre la caracterización, cartografiado y estado de conservación de los hábitats bentónicos del LIC ESZZ12002 “*Volcanes de fango del golfo de Cádiz*” (Demarcación Sudatlántica). Proyecto Life IP INTEMARES. Instituto Español de Oceanografía. Informe técnico. 168 pp.

Sánchez-Gillamon, O., Palomino, D., Vázquez, J.T., León, R., Fernández-Puga, M.C., López-González, N., Medialdea, T., Fernández-Salas, L.M., Somoza, L. 2023. Morpho-sedimentary structure of new mud volcanoes on the Moroccan Atlantic continental margin (Gulf of Cadiz). *Marine and Petroleum Geology*, 148, 106031

Sánchez-Leal, R.F., Bellanco, M.J., Fernández-Salas, L.M., García-Lafuente, J., Gasser-Rubinat, M., González-Pola, C., Hernández-Molina, F.J., Pelegrí, J.L., Peliz, A., Relvas, P., Roque, D., Ruiz-Villareal, M., Sammartino, S., Sánchez-Garrido, J.C., 2017. The Mediterranean Overflow in the Gulf of Cadiz: A rugged journey. *Sci. Adv.* 3 (11), ea00609. <https://doi.org/10.1126/sciadv.a00609>

Schwinghamer, P., Gordon Jr, D. C., Rowell, T. W., Prena, J., McKeown, D. L., Sonnichsen, G., & Guigné, J. Y. (1998). Effects of experimental otter trawling on surficial sediment properties of a sandy-bottom ecosystem on the Grand Banks of Newfoundland. *Conservation Biology*, 12(6), 1215-1222.

Sempere-Valverde, J., Ostal, E., Maestre, M., and González, R. 2020. Impacts of the non-indigenous seaweed *Rugulopteryx okamurae* on a Mediterranean coralligenous community (Strait of Gibraltar): the role of long-term monitoring. *Ecol. Indic.* 121:107135. doi: 10.1016/j.ecolind.2020.107135

Silva, L., Sobrino, I., Ramos, F., 2002. Reproductive biology of the common octopus, *Octopus vulgaris* Cuvier, 1797 (Cephalopoda: Octopodidae) in the Gulf of Cádiz (SW Spain). *Bull. Mar. Sci.*, 71 (2), 837-850.

- *Sitjà, C., Maldonado, M., Farias, C., Rueda, J.L., 2019. Deep-water sponge fauna from the mud volcanoes of the Gulf of Cadiz (North Atlantic, Spain). *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.*, 99 (4), 807-831. <https://doi.org/10.1017/S0025315418000589>
- *Sitjà, C., Maldonado, M., Farias, C., Rueda, J.L., 2020. Export of bathyal benthos to the Atlantic through the Mediterranean outflow: Sponges from the mud volcanoes of the Gulf of Cadiz as a case study. *Deep Sea Res. I Oceanogr. Res. Pap.* 163, 103326. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2020.103326>.
- Sobrino, I., Jiménez, M.P., Ramos, F., Baro, J., 1994. Descripción de las pesquerías demersales de la región suratlántica española. *Inf. Tecn. Inst. Esp. Oceanogr.*, 151, 1- 79.
- Somoza, L., Díaz-del-Río, V., León, R., Ivanov, M., Fernández-Puga, M.C., Gardner, J.M., Hernández-Molina, F.J., Pinheiro, L.M., Rodero, J., Lobato, A., Maestro, A., Vázquez, J.T., Medialdea, T., Fernández-Salas, L.M., 2003. Seabed morphology and hydrocarbon seepage in the Gulf of Cádiz mud volcano area: Acoustic imagery, multibeam and ultrahigh resolution seismic data. *Mar. Geol.* 195, 153-176. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(02\)00686-2](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(02)00686-2)
- Somoza, L., Díaz-del-Río, V., Leon, R., Ivanov, M., Fernandez-Puga, M.C., Gardner, J.M., Hernandez-Molina, F.J., Pinheiro, L.M., Rodero, J., Lobato, A., Maestro, A., Vazquez, J.T., Medialdea, T., Fernandez-Salas, L.M., 2003. Seabed morphology and hydrocarbon seepage in the Gulf of Cadiz mud volcano area: Acoustic imagery, multibeam and ultra-high resolution seismic data. *Marine Geology* 195(1-4), 153-176.
- Somoza, L., Rueda, J.L., González, F.J., Rincón-Tomás, B., Medialdea, T., Sánchez-Guillamón, O., Hoppert, M., Vázquez, J.T., Madureira, P., Santofimia, E., López-Pamo, E., Palomino, D., Ortiz, J.E., Blanco, L., Fernández-Puga, M.C., Fernández-Salas, L.M., Reitner, J., 2021. A relict oasis of living deep-sea mussels *Bathymodiolus* and microbial-mediated seep carbonates at newly-discovered active cold seeps in the Gulf of Cádiz, NE Atlantic Ocean. *PalZ* 95, 793-807. <https://doi.org/10.1007/s12542-021-00594-3>
- Stow, D.A.V., Faugères, J.C., Gonthier, E., Cremer, M., Llave, E., Hernández-Molina, F.J., Somoza, L., Díaz del Río, V., 2002. Faro–Albufeira drift complex, Northern Gulf of Cadiz. In: Stow, D.A.V., Pudsey, C.J., Howe, J., Faugères, J.C. (Eds.), *IGCP 432. Deep-Water Contourite Systems: Modern Drifts and Ancient Series, Seismic and Sedimentary Characteristics*. Special Publication, 22. Geological Society of London, pp. 137–154.

- Stow, D.A.V., Hernández-Molina, F.J., Llave, E., Sayago, M., Díaz del Río, V., Branson, A., 2009. Bedform-velocity matrix: the estimation of bottom current velocity from bedform observations. *Geology* 37 (4), 327–330.
- Templado, J., Ballesteros, E., Galparsoro, I., Borja, A., Serrano, A., Martín, L., Brito, A., 2012. Guía Interpretativa. Inventario Español de Hábitats Marinos. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, 229 pp.
- Torres, M.Á., Coll, M., Heymans, J.J., Christensen, K., Sobrino, I., 2013. Food-web structure of and fishing impacts on the Gulf of Cádiz ecosystem (South-western Spain). *Ecol. Model.*, 265, 26–44.
- Toscano-Jimenez, M., & Garcia-Tenoria, R. (2002). Designing a mathematical model for the dispersion of nuclear conservative contaminants on marine ecosystems. In *OCEANS'02 MTS/IEEE* (Vol. 4, pp. 2472-2476).
- *Urra, J., Palomino, D., Lozano, P., González-García, E., Farias, C., Mateo-Ramírez, A., Fernández-Salas, L.M., López-González, N., Vila, Y., Orejas, C., Puerta, P., Rivera, J., Henry, L.A., Rueda, J.L., 2021. Deep-sea habitat characterization using acoustic data and underwater imagery in Gazul mud volcano (Gulf of Cádiz, NE Atlantic). *Deep Sea Res. I Oceanogr. Res. Pap.* 169, 103458. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2020.103458>
- *Utrilla, O., Gofas, S., Urra, J., Marina, P., Mateo-Ramírez, A., López-González, N., González-García, E., Salas, C., Rueda, J.L., 2020. Molluscs from benthic habitats of the Gazul mud volcano (Gulf of Cádiz). *Sci. Mar.* 84 (3), 273–295. <https://doi.org/10.3989/scimar.05027.17A>
- Vila, Y., Silva, L., Torres, M.A., Sobrino, I., 2010. Fishery, distribution pattern and biological aspects of the common European squid *Loligo vulgaris* in the Gulf of Cadiz. *Fish. Res.*, 106 (2), 222–228.
- Vila, Y., Sobrino, I., Jiménez, M.P., 2013. Fishery and life history of spot-tail mantis shrimp, *Squilla mantis* (Crustacea: Stomatopoda), in the Gulf of Cadiz (eastern central Atlantic). *Sci. Mar.*, 77 (1), 137–148.
- Vila, Y., Burgos, C., Rueda, J.L., Soriano, M., Gallardo, M., Farias, C., González-Herráiz, I., Gil, J., 2015. Abundance estimation of Norway lobster *Nephrops norvegicus* in the Gulf of Cadiz using underwater imaging. Final Report Project AC1-20123118. Fundación Biodiversidad del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.

Williams, A., Schlacher, T. A., Rowden, A. A., Althaus, F., Clark, M. R., Bowden, D. A. & Kloser, R. J. (2010). Seamount megabenthic assemblages fail to recover from trawling impacts. *Marine Ecology*, 31, 183-199.

WoRMS Editorial Board. 2022. World Register of Marine Species. Accessed 2022-06-20. Available at <http://www.marinespecies.org>.

Zeller, D., & Pauly, D. (2005). Good news, bad news: global fisheries discards are declining, but so are total catches. *Fish and Fisheries*, 6(2), 156-159.

7. Agradecimientos

En las siguientes líneas nos gustaría agradecer a los diferentes capitanes, tripulación y personal científico de las campañas INDEMARES-CHICA, ISUNEPCA, e INTEMARES A4 CAD por toda la ayuda ofrecida durante las mismas.

También agradecemos la ayuda prestada por los compañeros y compañeras de geología de Geociencias Marinas y toda la ayuda que nos han prestado con la interpretación geológica y sedimentológica, así como las capas generadas en el informe geológico del LIC presentado en 2021 para poder generar el cartografiado de hábitats. Agradecemos además a la Secretaría General de Pesca por facilitarnos los datos de Sistemas de Seguimiento de Buques y logbooks para elaborar estimaciones de la actividad de arrastre y capturas asociadas.

Finalmente agradecer a expertos taxónomos de diferentes instituciones que nos han asesorado con los poríferos (Manuel Maldonado, Celia Sitjà), cnidarios (Pablo López-González, Cesar Megina), briozoos (Lais Ramalho), moluscos (Serge Gofas, Carmen Salas), anélidos (Eduardo López, Juan Moreira, Guillermo SanMartín) y crustáceos (J. Enrique García Raso) recogidos en muestras y también en imágenes submarinas. También nos gustaría agradecer la ayuda y datos prestados por compañeros del Centro Oceanográfico de Cádiz (Juan Gil, Marina Delgado, Yolanda Vila) obtenidos en las campañas CIRCASUR 2020 e ISUNEPCA.

ANEXO

MAPAS DE ACTIVIDAD DE ARRASTRE DE FONDO EN EL CAMPO SOMERO DEL LIC (2010-2019)

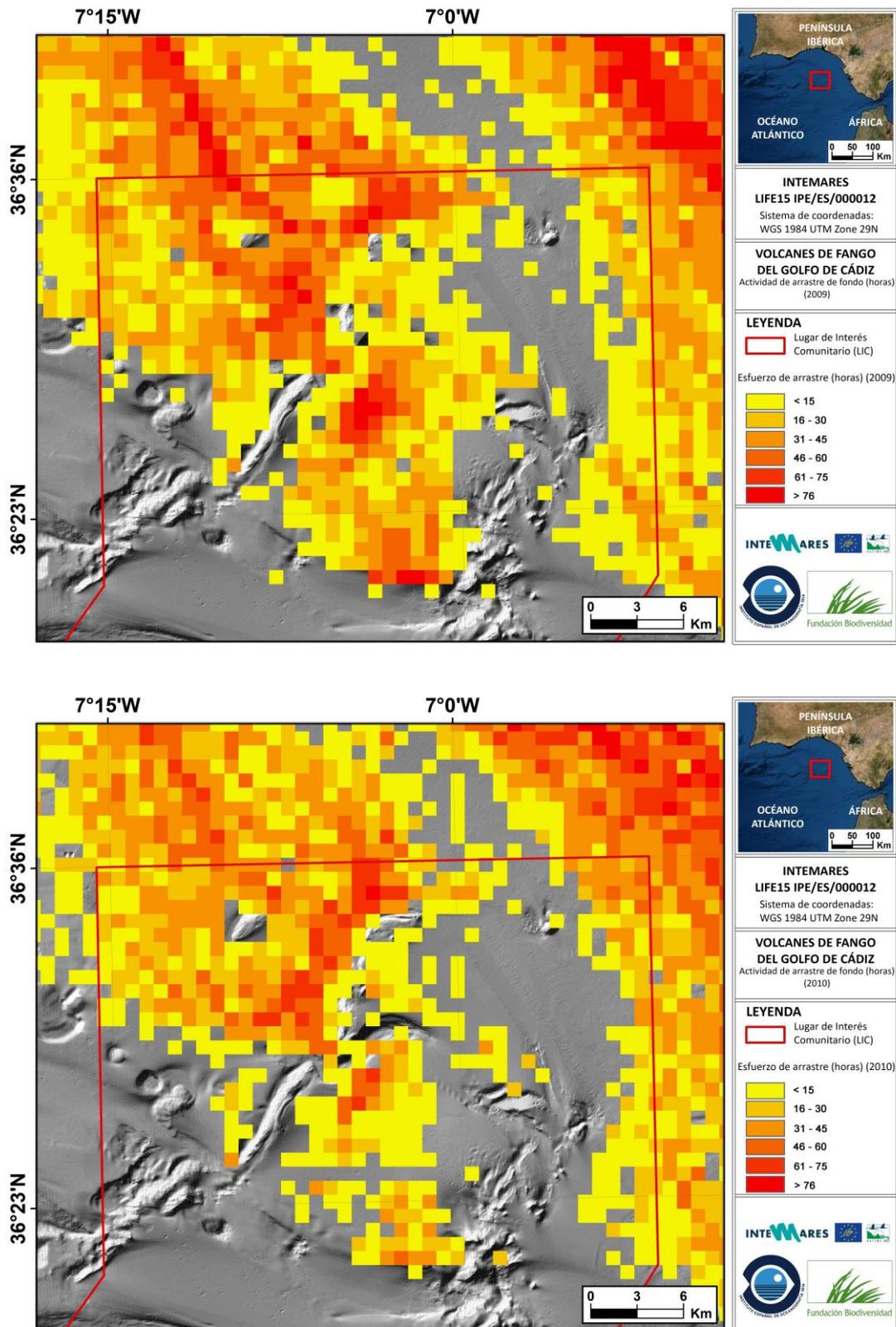


Figura A. Actividad de arrastre de fondo en el Campo Somero del LIC para 2009 y 2010.

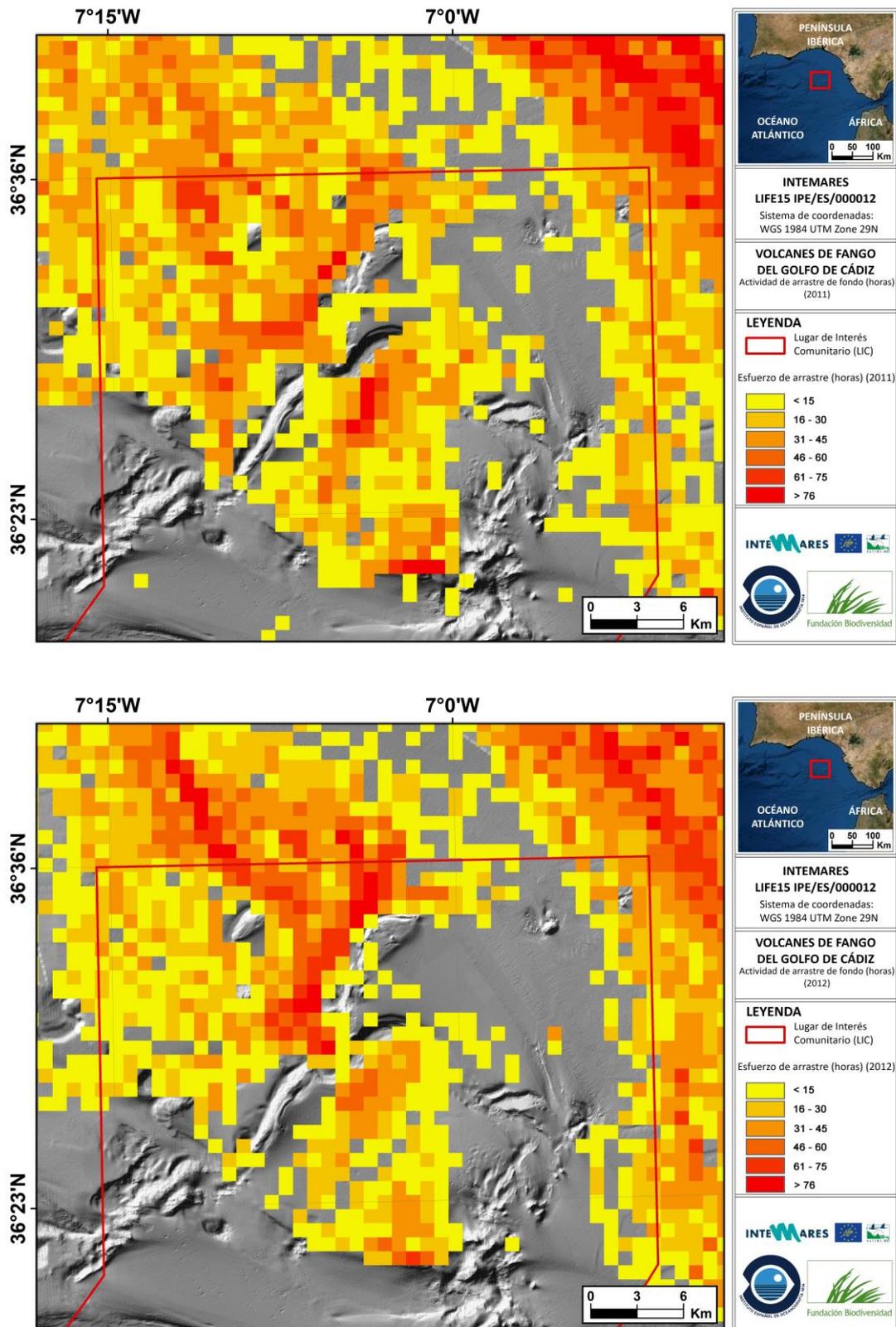


Figura B. Actividad de arrastre de fondo en el Campo Somero del LIC para 2011 y 2012.

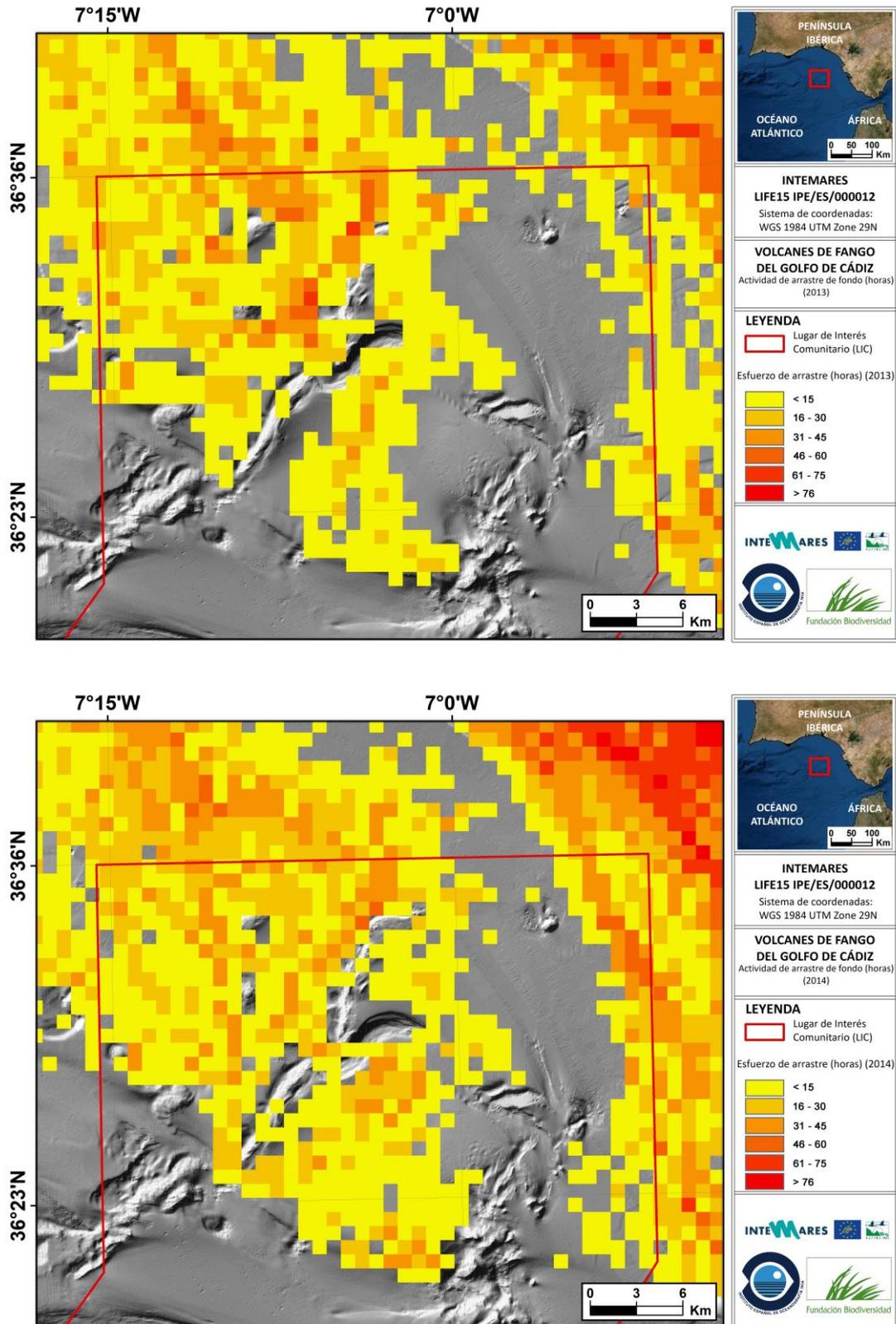


Figura C. Actividad de arrastre de fondo en el Campo Somero del LIC para 2013 y 2014.

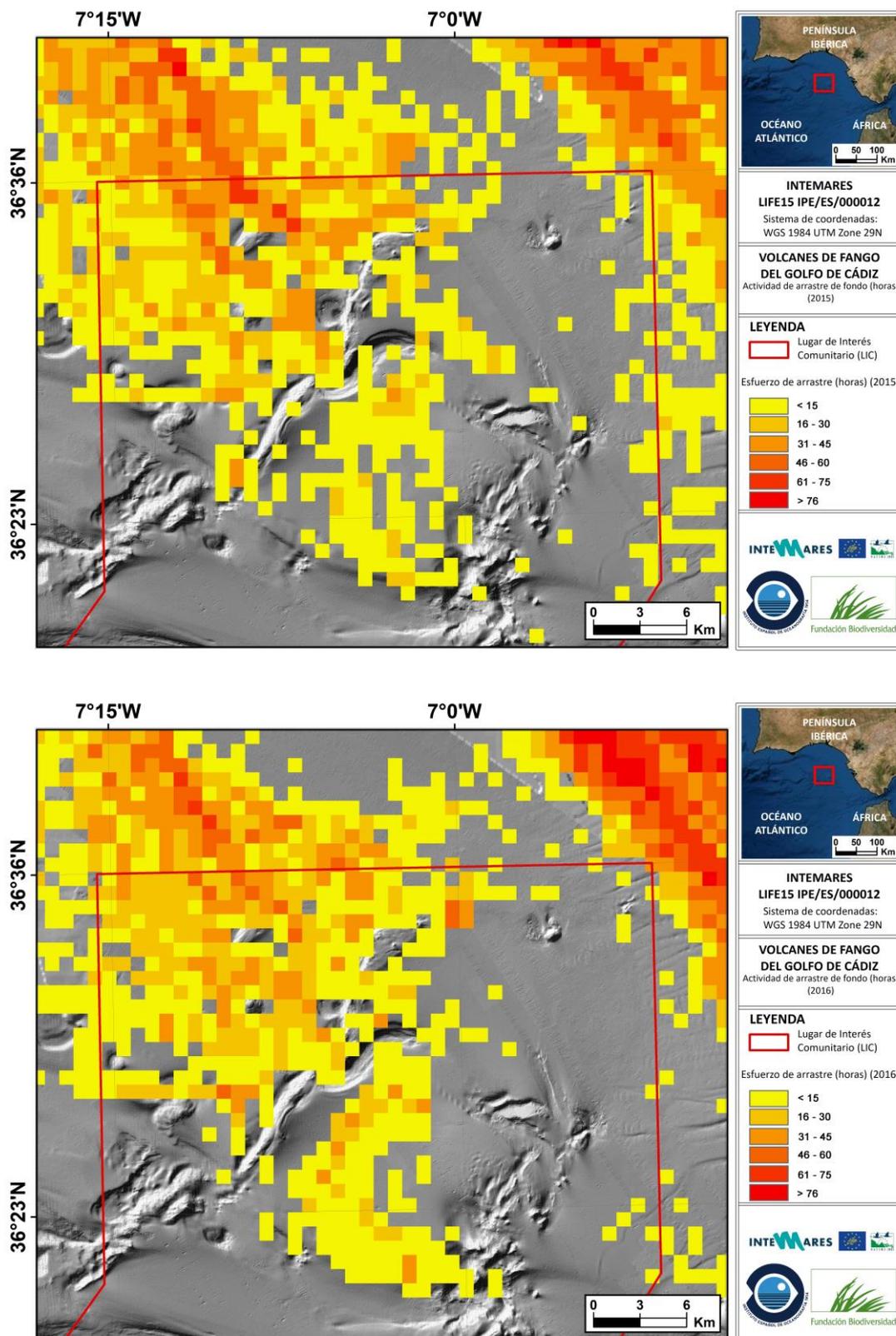


Figura D. Actividad de arrastre de fondo en el Campo Somero del LIC para 2015 y 2016.

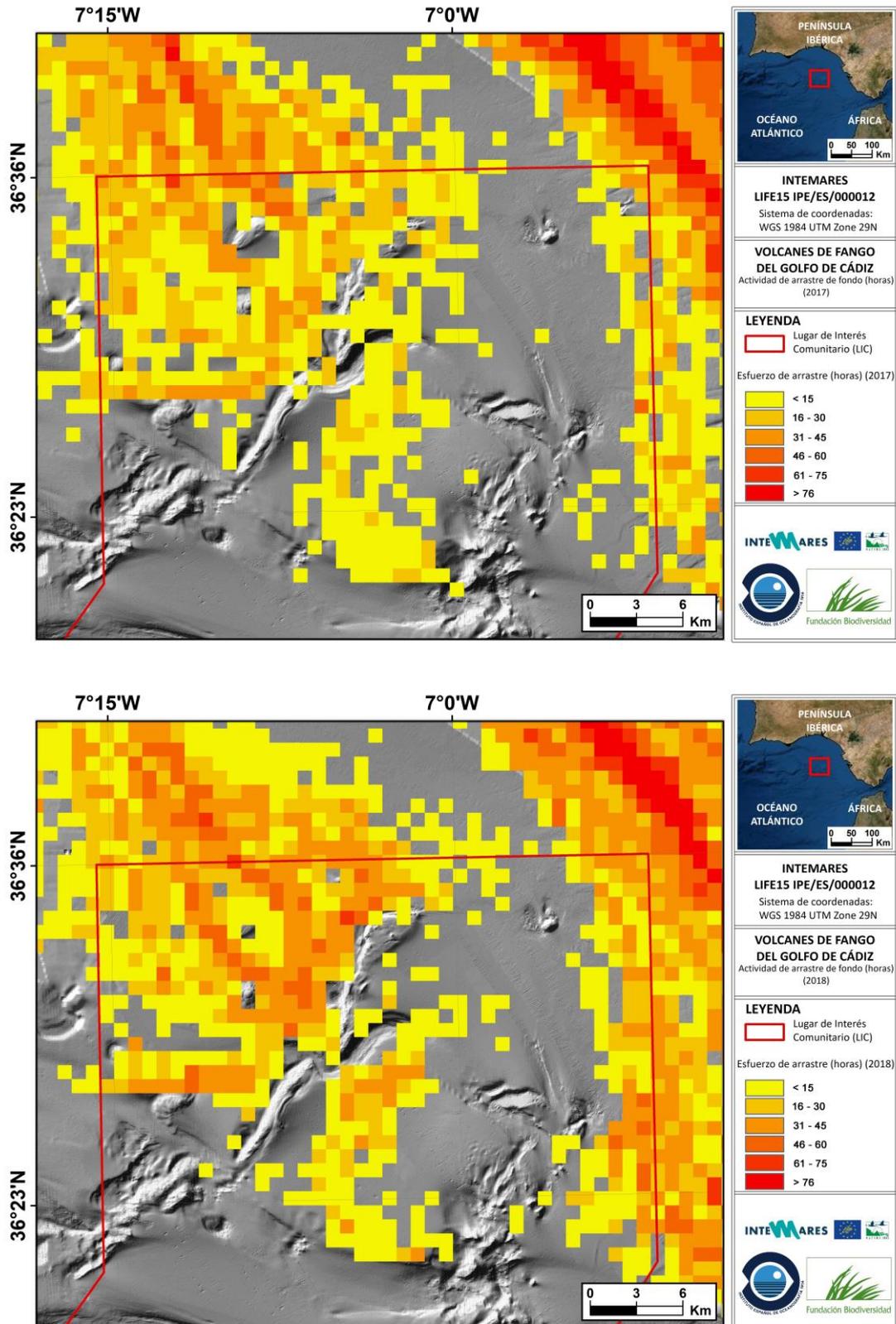


Figura E. Actividad de arrastre de fondo en el Campo Somero del LIC para 2017 y 2018.

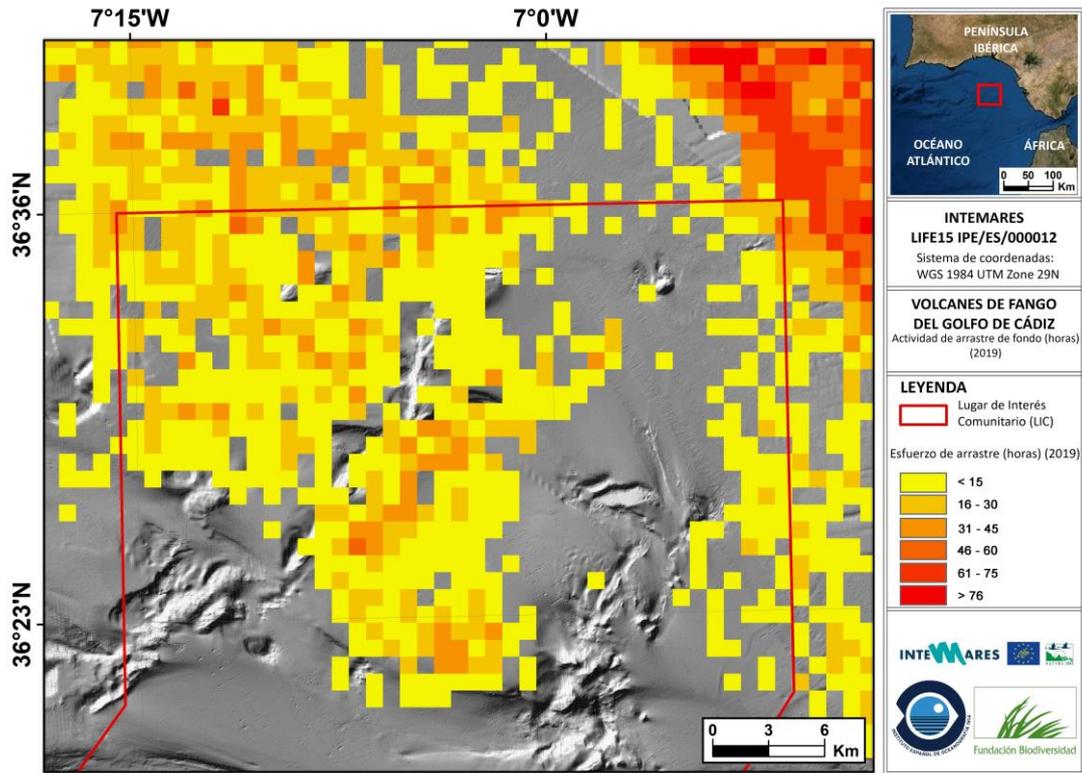


Figura F. Actividad de arrastre de fondo en el Campo Somero del LIC para 2019.