



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA, INNOVACIÓN
Y UNIVERSIDADES

CSIC
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



INSTITUTO
ESPAÑOL DE
OCEANOGRAFÍA

INTEMARES



LIFE IP INTEMARES

Informe sobre la caracterización, cartografiado y estado de conservación de los hábitats bentónicos del LIC-ESZZ16010/04 "Espacio Marino del entorno de Illes Columbretes" (Demarcación Levantino-Balear)

15 de noviembre de 2022



ÍNDICE

1. Resumen ejecutivo	4
Executive summary	5
2. Introducción	6
3. Área de estudio	8
4. Metodología	11
4.1. Elaboración del inventario de tipos de hábitats bentónicos	11
4.2. Modelado de distribución de los hábitats bentónicos y elaboración de cartografía detallada	14
4.3. Inventario de hábitats vulnerables considerados en Normativas y Convenciones Internacionales	17
4.4. Caracterización de los hábitats bentónicos	18
4.4.1. Representatividad (superficie de ocupación)	18
4.4.2. Estado ambiental	19
4.4.2.1. <i>Riqueza de especies e identificación de "hotspots"</i>	19
4.4.2.2. <i>Índice de Diversidad de Shannon- Wiener</i>	20
4.4.2.3. <i>Índice de Diversidad Funcional</i>	20
4.4.2.4. <i>Composición funcional</i>	20
4.4.3. Sensibilidad y/o vulnerabilidad de los hábitats bentónicos	21
4.5. Determinación del grado de conservación de los hábitats de interés comunitario	23
5. Resultados	26
5.1. Inventario de tipos de hábitats bentónicos	26
5.2. Distribución y cartografiado de los hábitats bentónicos	30
5.3. Hábitats Vulnerables considerados en Normativas y Convenciones Internacionales	42
5.4. Caracterización de los hábitats bentónicos	50
5.4.1. Representatividad	50
5.4.2. Estado ambiental	55
5.4.2.1. <i>Riqueza de especies e identificación de "hotspots"</i>	55
5.4.2.2. <i>Índice de Diversidad de Shannon-Wiener</i>	57
5.4.2.3. <i>Índice de Diversidad Funcional</i>	57
5.4.2.4. <i>Composición funcional</i>	57
5.4.3. Sensibilidad y/o vulnerabilidad de los hábitats bentónicos frente a las principales presiones y actividades con impacto sobre el lugar	62
5.4.4. Grado de conservación de los hábitats de interés comunitario	63
6. Conclusiones y recomendaciones	68
7. Referencias bibliográficas	72

ANEXOS

Anexo I. Cartografía de hábitats bentónicos presentes en el LIC-ESZZ16010 “Espacio marino del entorno de Illes Columbretes”.

- Hábitats bentónicos escenario prevalencia
- Hábitats bentónicos escenario kappa
- Hábitats bentónicos escenario mixto
- Hábitats RN2000 y Hábitats Vulnerables no incluidos en normativas de protección escenario prevalencia
- Hábitats RN2000 y Hábitats Vulnerables no incluidos en normativas de protección escenario kappa
- Hábitats RN2000 y Hábitats Vulnerables no incluidos en normativas de protección escenario mixto
- Riqueza específica de especies escenario prevalencia
- Riqueza específica de especies escenario kappa
- Riqueza específica de especies escenario mixto
- Sensibilidad a la pesca de arrastre escenario prevalencia
- Sensibilidad a la pesca de arrastre escenario kappa
- Sensibilidad a la pesca de arrastre escenario mixto
- Sensibilidad a la pesca de palangre de fondo escenario prevalencia
- Sensibilidad a la pesca de palangre de fondo escenario kappa
- Sensibilidad a la pesca de palangre de fondo escenario mixto

Autor/es del informe: Ignacio Baena, Desirée Palomino, Sandra Mallol, David Díaz,

Otros participantes en el análisis y cartografía de los hábitats: Juan Tomás Vázquez, Eugenio Fraile, Francisco Sánchez, José Manuel González-Irusta, Nuria Rodríguez de la Ballina, Carla Quiles-Pons.

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

El entorno marino del archipiélago de las Islas Columbretes se localiza en la demarcación Levantino-Balear a 32 millas náuticas del cabo de Oropesa, en la costa castellonense. El archipiélago se enmarca dentro de los LICs ESZZ16010 y ESZZ16004, designados como parte de la Red Natura 2000 en el año 2006 y 2015, respectivamente. La suma de ambas delimitaciones comprende un área de aproximadamente 14.000 hectáreas. En ella se ha descrito la presencia de los siguientes hábitats de interés comunitario: 1110 (Bancos de arena cubiertos permanentemente por agua marina poco profunda), 1170 (Arrecifes), 1180 (Estructuras submarinas causadas por emisiones de gases), y 8330 (Cuevas marinas sumergidas y semisumergidas). Todos ellos están descritos en el Anexo I de la Directiva Hábitats (92/43/CEE). Además, se ha constatado la presencia de especies como la tortuga boba (*Caretta caretta*) y el delfín mular (*Tursiops truncatus*), ambas contempladas en el Anexo II de la misma Directiva.

Este informe constituye una actualización del inventario de los tipos de comunidades presentes, así como su caracterización, la definición de su estado ambiental y su cartografiado. La base cartográfica tomada como punto de partida proviene de los esfuerzos realizados dentro del proyecto LIFE+INDEMARES. En el proyecto se llevaron a cabo muestreos en un total de 100 estaciones de vídeo, 16 transectos de vídeo realizados con ROV (*Remotely Operated Vehicle*), e inmersiones con escafandra autónoma distribuidos en el entorno del archipiélago cubriendo 15,5 km del área, pero centrados en el entorno de ciertos bajos y zonas rocosas del área LIC.

Los esfuerzos del proyecto LIFE IP INTEMARES han añadido un total de 43 transectos de ROTV (*Remotely Operated Towed Vehicle*), 39 transectos de vídeo remolcado y 20 transectos con una cámara acoplada a la roseta oceanográfica que han dado lugar a 22 horas de vídeo y casi 16 km lineales para cubrir una mayor área de muestreo dentro del entorno regulado y para todo tipo de hábitats. Adicionalmente, se han realizado tomas de datos mediante *snorkel* y con escafandra autónoma para el estudio de las comunidades someras cercanas a los islotes inaccesibles para los buques oceanográficos, muestreos con dragas y prospección con sonda multihaz de alta resolución para mejorar el conocimiento sedimentológico y geofísico del entorno sumergido, y muestreos con roseta oceanográfica para profundizar en la caracterización y descripción de las zonas de surgencias hidrotermales.

Este informe contribuye a la mejora del conocimiento sobre la caracterización, el cartografiado y el estudio del estado de conservación de los hábitats bentónicos identificados en el entorno marino del archipiélago de las Islas Columbretes. Gracias a los trabajos realizados se han identificado 17 hábitats (respecto a los 14 identificados en LIFE+INDEMARES), 15 de los cuales se corresponden con las comunidades 1110 o 1170 de la Directiva Hábitats. La información se presenta en base a 2 escenarios de distribución de hábitats que corresponden a 2 umbrales diferentes, prevalencia y kappa. Según el uso de estos umbrales, la superficie ocupada por el hábitat 1170 varía entre 3450,9 ha (25,6%) y 779,8 ha (5,8%). El estudio de variables como la composición funcional o la sensibilidad a la pesca será de gran utilidad para mejorar las futuras medidas de gestión y conservación en este espacio.

Executive summary

The marine environment of the Columbretes Islands archipelago is located in the Levantino-Balear demarcation 32 nautical miles from the Oropesa Cape in the coast of Castellón. The archipelago belongs to the SCIs ESZZ16010 and ESZZ16004, included as part of the Nature 2000 network in the years 2006 and 2015, respectively. Adding both SCIs provides an area of approximately 14,000 hectares. The presence of the following habitats of communitarian interest has been described: 1110 "Sandbanks which are slightly covered by sea water all the time", 1170 "Reefs", 1180 "Submarine structures made by leaking gases" and 8330 "Submerged or partially submerged sea caves", all of them included in the Annex I of the Habitats Directive (92/43/CEE). Additionally, there is presence of important species such as the loggerhead turtle (*Caretta caretta*) and bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*), both included in the Annex II of the same Directive.

This report constitutes an update of the inventory of the different communities as well as its characterization, the definition of its conservation status and its mapping. The cartographic base that has been used as the starting point comes from the efforts developed in the LIFE+INDEMARES project. In the 2012 project a total of 100 video stations, 16 transects with ROV (Remotely Operated Vehicle) and SCUBA diving transects were carried out around the archipelago covering 15.5 km of the study area, with a focus on certain mounts and rocky outcrops of the SCI area.

The efforts of the LIFE IP INTEMARES project have added a total of 43 ROTV (Remotely Operated Towed Vehicle) transects, 39 towed video transects and 20 transects with a video camera attached to a carousel water sampler. This has produced 22 hours of video recordings covering almost 16 lineal kilometers surveying a wider area within the regulated zone and for all kinds of habitats. Additionally, snorkel and SCUBA diving transects were carried out in shallow areas nearby the islands where research vessels could not enter, dredge sampling and high resolution multi-beam exploration were done to enhance the sedimentological and geophysical knowledge of the submerged area, and a carousel water sampler was used to deepen the characterization and description of the gas emissions zones.

This report contributes to the improvement of knowledge regarding the characterization, mapping and study of the conservation status of the identified benthic habitats in the marine environment around the Columbretes Islands archipelago. Thanks to the tasks done, 17 habitats have been identified (from the 14 identified in LIFE+INDEMARES), 15 of them are equivalent with the 1110 or 1170 habitats of the Habitats Directive. The information is presented according to 2 habitat distribution scenarios corresponding to 2 thresholds, prevalence and kappa. According to these thresholds, the surface occupied by the 1170 habitat varies from 3,450.9 ha (25.6%) to 779.8 ha (5.8%). The study on variables such as the compositional functions or sensibility towards fishing will be of great aid to enhance future management and conservation measures of this zone.

2. Introducción

Enmarcadas en el proyecto LIFE+INDEMARES “Inventario y designación de la Red Natura 2000 (RN2000) en áreas marinas del Estado español” (LIFE07/NAT/E/00732), se llevaron a cabo una serie de campañas entre septiembre de 2009 y julio de 2013 cuyo objetivo era el desarrollo de una cartografía detallada de las comunidades profundas dominadas por especies longevas situadas en la Reserva Marina y su entorno. Las especies estructurantes estudiadas fueron los cnidarios gorgonia roja (*Paramuricea clavata*) y coral rojo (*Corallium rubrum*), las algas fucales (géneros *Cystoseira* y *Sargassum*), y el alga laminaral (*Laminaria rodriguezii*) que se asocia a las surgencias de gases presentes en el entorno submarino del archipiélago.

Los resultados del proyecto se publicaron en el informe “Caracterización de las comunidades profundas dominadas por especies longevas (*Paramuricea clavata*, algas fucales, laminariales) en la Reserva Marina de las Islas Columbretes y su entorno” (Linares et al., 2012). Estos resultados dieron lugar a la disgregación de las medidas de protección de la zona denominada como Lugar de Importancia Comunitaria (LIC). El LICES000061 que originalmente incluía el medio terrestre y marino quedó restringido a las zonas emergidas, y se creó el LIC-ESZZ16010 bautizado como “Espacio marino del entorno sumergido de les Illes Columbretes”. Adicionalmente, las actividades realizadas en el marco de este proyecto produjeron la información que sirvió de base científica para justificar y promover la ampliación de la superficie del LIC marino en el sector occidental del archipiélago. Concretamente, en la zona conocida como “Murall de la Dent”, donde se constató la presencia de especies estructurantes con un ciclo de vida largo, que dan lugar a hábitats incluidos en la categorización 1170 (Arrecifes) de la Directiva Hábitats (DH, Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992), sometidos a un alto impacto por parte de actividades pesqueras. Consecuentemente, se propuso la creación del LIC-ESZZ16004 “Espacio Marino de les Illes Columbretes”, que fue aprobada en la novena lista actualizada de LICs de la región biogeográfica mediterránea (Decisión de Ejecución por la UE 2015/2374 de la Comisión, de 26 de noviembre de 2015).

Más allá de los esfuerzos desarrollados en el marco de LIFE+INDEMARES, se han llevado a cabo otras campañas por parte del IEO que han aportado información relevante para la realización de este informe. Las campañas de COLVIDEO, realizadas entre 2018 y 2020, dentro del marco del proyecto MAREMATING, permitieron la obtención de filmaciones de fondos someros con vídeo remolcado y de perfiles de hábitats mediante *snorkel* e inmersiones con escafandra autónoma en las inmediaciones de las islas. La recolección de esta información fue importante dado que, debido a la baja profundidad, el entorno más cercano a las islas es inaccesible para los buques oceanográficos, por lo que no se dispone de información geofísica. Las campañas COLMAËRL y LANCO, correspondientes a los proyectos COLMAËRL y MAREMATING respectivamente, aportaron información sobre los fondos de rodolitos y la presencia de otras especies en el espacio protegido (Goñi et al., 2013, Barberá et al., 2017, Cabanellas-Reboredo et al., 2017).

La declaración de los LICs de las Islas Columbretes como Zona de Especial Conservación (ZEC) de acuerdo con el borrador de la orden ministerial TERD/XXX/2020 requiere la elaboración de un plan de gestión conjunto para ambos LICs que contemple medidas

integradas que aseguren la conservación de los hábitats y especies para los que fue creada. Por este motivo, se ha considerado necesario mejorar y ampliar el conocimiento en esta zona ya declarada. A este fin, dentro del proyecto LIFE IP INTEMARES "Gestión integrada, innovadora y participativa de la Red Natura 2000 en el medio marino español", y específicamente en la Acción A2.1, se plantea la elaboración de un inventario de tipos de hábitats RN2000, éste aportará información sobre características como las superficies de ocupación, el estado ambiental o la vulnerabilidad de las comunidades identificadas. Adicionalmente, se incluye un inventario de hábitats vulnerables considerados en convenciones regionales como EUNIS (*European Nature Information System*) o el Convenio de Barcelona.

El informe se centra en la mejora del conocimiento relacionada con los inventarios de hábitats bentónicos. La información presentada continua y complementa los análisis llevados a cabo como parte del proyecto LIFE+INDEMARES (Linares et al., 2012) y se suma a los esfuerzos realizados dentro de los entregables de la acción A2.1 del proyecto LIFE IP INTEMARES iniciados en las islas Columbretes con el "Informe sobre el estado actual de conocimiento de la biodiversidad del LIC-ESZZ16010-ESZZ16004, Espacio Marino de Illes Columbretes". Estos informes serán elementos clave para la elaboración y establecimiento del plan de gestión de este espacio aportando la información necesaria sobre la distribución y el estado de las comunidades bentónicas.

Los resultados del informe han sido obtenidos en el marco de los proyectos de investigación LIFE+INDEMARES y LIFE IP INTEMARES. Parte de los resultados del cartografiado han sido presentados a la comunidad científica en el congreso "Marine Key Habitats and NIS Symposia" realizado en Génova en septiembre de 2022. Otros resultados derivados de los datos obtenidos serán presentados en el congreso "INQUA Roma 2023" en julio de 2023. Finalmente, se está trabajando para la adaptación de este informe a una publicación científica de cara a su compleción en el año 2023.

3. Área de estudio

Los LICs ESZZ16010 y ESZZ16004 rodean el archipiélago de las Islas Columbretes, territorio que pertenece a la provincia de Castellón siendo el cabo de Oropesa el punto más cercano a 32 millas náuticas (figura 1). Las figuras de protección se extienden aproximadamente entre los 39°48' y 39°56' norte y los 0°36' y 0°44' este ocupando una superficie de unas 14.000 ha. El archipiélago está compuesto por cuatro grupos de islotes: Illa Grossa o Isla Grande (formado por Columbrete Grande, Senyoreta, Mancolibre y Mascarat), la Ferrera o Malaspina (formado por la Ferrera, Ferrerueta, Navarrete y Valdés), la Foradada u Horadada (formado por la Foradada, Lobo, Piedra Joaquín, Méndez-Núñez) y el Carallot o Bergantín (formado por el Carallot, Peñón, Cerquero, Churruca y Baleato). En total suman 19 ha de territorio emergido, de las cuales 14 corresponden a la isla de mayor entidad, la Illa Grossa.

La protección del entorno marino del archipiélago se remonta a 1987 cuando se ordenó una consideración especial y la prohibición de actividades que pudieran alterar los elementos y dinámicas de sus ecosistemas (LEY 30/1987). Tres años después, en 1990 fue declarada Reserva Marina (BOE-A-1990-9432). En el año 2001 fue incluida en la lista de Zonas Especialmente Protegidas del Mediterráneo, ZEPIM (Declaración de Mónaco, noviembre de 2001).

En el año 2006 fue declarado como LIC y ZEPA (ES0000061, Illes Columbretes, Decisión de la Comisión 2006/613/CE) e incluido en la lista de lugares de importancia comunitaria de la región biogeográfica mediterránea. Por último, el LIC se dividió en dos, una zona terrestre que mantuvo la identificación ES0000061 y una zona marina, el LIC ESZZ16010, y se añadió una extensión al oeste del LIC marino, el LIC ESZZ16004 (Decisión de Ejecución por la UE 2015/2374 de la Comisión, de 26 de noviembre de 2015).

El archipiélago y su entorno forman parte de un campo volcánico sumergido poco habitual en el Mediterráneo oriental conocido como "Campo Volcánico de Columbretes" con actividad, al menos, hasta el Pleistoceno Superior (Martí et al., 1992; Aparicio y García, 1995; Muñoz et al., 2005). El territorio muestra su pasado geológico emergiendo como restos de un cono volcánico en el caso de la Illa Grossa, tres cráteres submarinos al norte de esta isla o una chimenea volcánica en el Carallot (Meléndez Hevia, 2004; Muñoz et al., 2005).

Otro fenómeno descrito en el entorno sumergido del archipiélago que tiene relación con su origen volcánico son las emisiones gaseosas que, hasta la fecha, han sido localizadas en diversos puntos al sur de los islotes del Carallot y que son capaces de modificar las características del agua y de las comunidades y especies bentónicas que habitan a su alrededor (Erena, 2014; Linares et al., 2015).

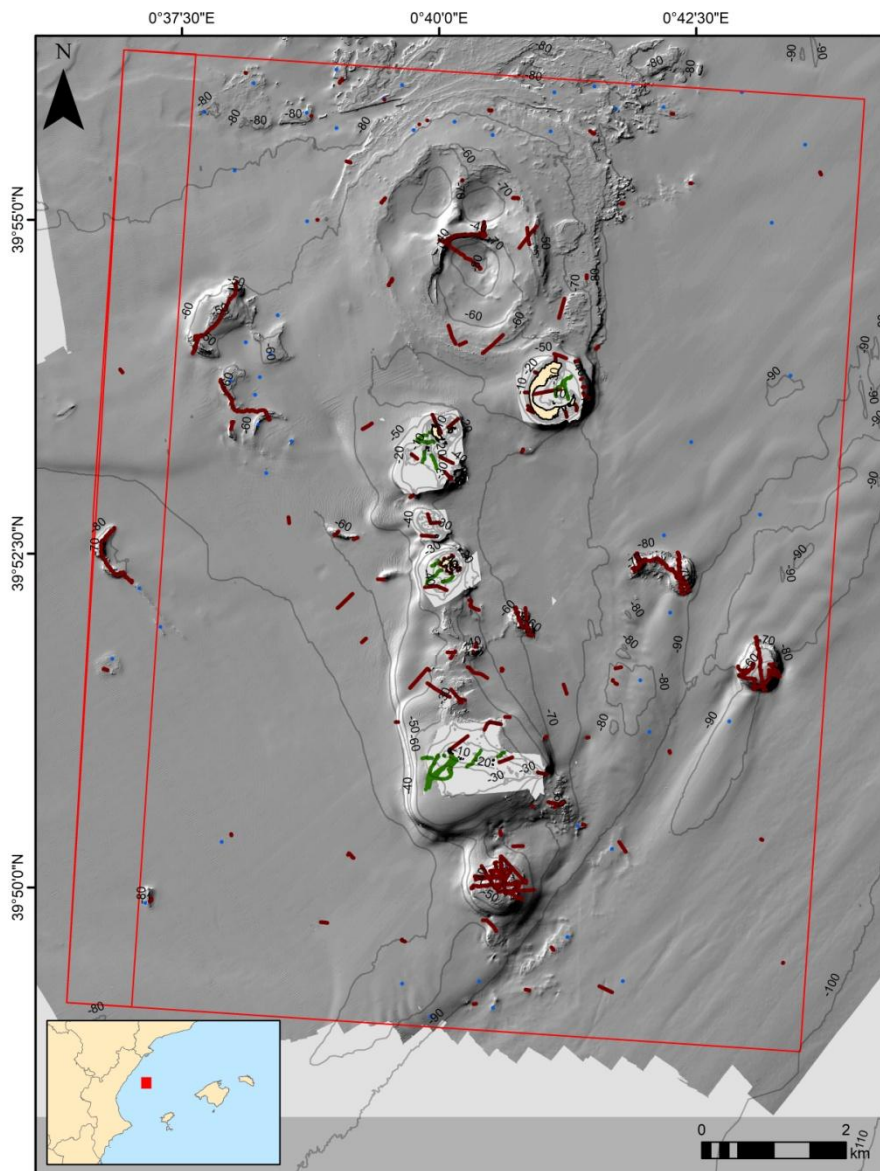


Figura 1. Mapa del archipiélago de las Islas Columbretes. Los LICs se muestran como recuadros en rojo (LIC-ESZZ16010 de mayor dimensión y LIC-ESZZ16004, la sección más estrecha, al oeste). Las líneas rojas muestran los transectos de muestreo de hábitat realizados en las diferentes campañas y mediante diferentes métodos e instrumentos. Los puntos azules corresponden a información obtenida en la campaña VRCOL_2011 mediante vídeo remolcado efectuada en Alborán y Columbretes. Las líneas verdes corresponden a transectos de vídeo realizados por investigadores del Centro Oceanográfico de Murcia enfocados a la localización y descripción de praderas de la fanerógama *Cymodocea nodosa*. Las isóbatas en color gris representan intervalos de 10 metros de profundidad. En un gris con tonalidad más clara se representan las zonas entorno a las islas de las que no se dispone de información ambiental por lo que no se pueden realizar modelos de distribución de hábitat. En los mapas posteriores la zona protegida se encuentra rodeada por un único rectángulo para ofrecer mayor claridad.

Los fondos del archipiélago descienden a profundidades que llegan hasta los 80 y 100 metros de profundidad en la zona protegida para luego hacerlo de manera más abrupta a más de 1.000 metros hacia el sureste (Ancochea, 2021). En términos generales, los fondos consisten eminentemente en fangos y arenas de origen continental sobre los que abundan las acumulaciones de *maërl* o rodolitos, y fondos de carácter rocoso en los sectores cercanos al territorio emergido y en varios bajos ligados a las estructuras volcánicas subyacentes (García-Carrascosa, 1991; Linares et al., 2012).

La disposición de los depósitos sedimentarios (NE-SW) del entorno submarino de las islas se ha relacionado con la influencia de la circulación conocida como Corriente del Norte o Liguro-Provenzal-Catalán, que circula de norte a sur entre la península ibérica y el archipiélago balear. Su influencia genera grandes lóbulos arenosos que contrastan con la rugosidad de los fondos volcánicos duros que alteran la circulación de la corriente e influyen sobre los procesos de sedimentación (Castellón et al., 1990; Muñoz et al., 2005; Lo Iacono et al., 2010; Flemming, 2012; Linares et al., 2012). Por otra parte, existe la influencia de aportes hidrológicos costeros que se distinguen por contrastes de salinidad y densidad (Muñoz et al., 2005; Palanques y Drake, 1990).

Las aguas que rodean los islotes son oligotróficas por lo que presentan una gran transparencia que fomenta la proliferación y desarrollo de multitud de especies de algas fotófilas a mayores profundidades que en otros lugares; al mismo tiempo, y dada la rugosidad que provoca el carácter volcánico del fondo, abundan especies de algas esciáfilas en el entorno sumergido de las islas. (Linares et al., 2012).

Esta zona fue declarada LIC debido a su particularidad y elevados valores ecológicos y por la presencia de hábitats y especies vulnerables como los estudiados en el proyecto LIFE+INDEMARES (Linares et al., 2012). En el área protegida se ha descrito la presencia de 4 hábitats de interés comunitario incluidos en el Anexo I de la DH, a saber, 1110 (Bancos de arena cubiertos permanentemente por agua marina poco profunda), 1170 (Arrecifes), 1180 (Estructuras submarinas causadas por emisiones de gases) y 8330 (Cuevas marinas sumergidas y semisumergidas). Formando parte de estas comunidades se encuentran extensos fondos de rodolitos acompañados en ocasiones por invertebrados como ascidias coloniales o pennatuláceos o praderas de *Cymodocea nodosa*, ambos incluidos en el hábitat 1110. Adicionalmente, se han encontrado zonas de gran extensión ocupadas por densas concentraciones del crinoideo *Leptometra phalangium* en los fondos detríticos del archipiélago, incluidos también en el hábitat 1110.

Por otra parte, están presentes hábitats de arrecifes (1170) como la roca infralitoral dominada por algas pardas como *Cystoseira* spp. o roca circalitoral dominada por invertebrados como la esponja *Axinella* spp. o las gorgonias *Eunicella* spp. y *Paramuricea* spp. Las comunidades asociadas a los fondos afectados por emisiones de gas (1180) están siendo objeto de estudio, no obstante ya se ha detectado un notable aumento en la presencia del alga laminaral *Laminaria rodriguezii* entorno a estas zonas (Linares et al., 2015). A esto se suman la tortuga boba (*C. caretta*) y el delfín mular (*T. truncatus*) incluidas en el Anexo II de la DH, además de otras especies incluidas en los Anexos IV y V de la DH como el dátíl de mar (*Lithophaga lithophaga*) o el coral rojo (*C. rubrum*) (Templado y Calvo, 2002; Erena, 2014).

4. Metodología

La mejora del conocimiento de los tipos de hábitats bentónicos en esta zona, ya declarada como LIC, respecto al conocimiento que se obtuvo en el proyecto LIFE+INDEMARES se ha relacionado principalmente con 4 aspectos:

- a) Identificación y elaboración de un inventario de hábitats bentónicos.
- b) Modelado de distribución de los hábitats bentónicos y elaboración de cartografía detallada.
- c) Caracterización de los hábitats bentónicos (superficie de ocupación, estado ambiental, vulnerabilidad).
- d) Creación de un inventario de hábitats vulnerables considerados en convenciones internacionales mediante pasarelas de equivalencias.

En concreto, en relación al proyecto LIFE+INDEMARES, se han conseguido las siguientes tareas que ayudan a la mejora del conocimiento:

- Ampliación de la zona de estudio y las métricas aplicadas para la descripción de los hábitats a la totalidad del área cubierta por los LICs.
- Adquisición y procesado de nueva información geofísica con alta resolución.
- Utilización de nuevos modelos de distribución de hábitat que permiten una mejor definición del hábitat potencial y una estandarización metodológica. A excepción de las zonas someras carentes de información geofísica en las que el cartografiado se ha realizado con Sistemas de Información Geográfica (SIG) gracias al conocimiento del personal científico involucrado en el proyecto.

4.1. Elaboración del inventario de tipos de hábitats bentónicos

La identificación de los hábitats bentónicos se realizó a partir de los datos obtenidos en las campañas llevadas a cabo en el marco del proyecto LIFE+INDEMARES desarrolladas entre 2011 y 2012. Posteriormente, se realizaron 6 campañas multidisciplinares entre los años 2018 y 2021 (COLVIDEO_0918, COLVIDEO_0519, COLVIDEO_0819, INTEMARES-COLCARTO_0220, COLVIDEO_0820, INTEMARES-COLCARTO_0221) en las cuales se muestrearon con diversos sistemas de vídeo el resto de zonas del entorno del archipiélago.

En las campañas INTEMARES-COLCARTO de 2020 y 2021 se llevaron a cabo prospecciones acústicas que permitieron la obtención de una capa de batimetría y una de reflectividad de muy alta resolución (hasta 5x5 m en las zonas profundas y 1x1 m, en las someras). Esta batimetría sirvió para mejorar la calidad y precisión de la batimetría disponible previamente, con una resolución de 5x5 m, que correspondía a una campaña desarrollada en el año 2002 (BALCOM02, llevada a cabo por el IEO a bordo del B/O Vizconde de Eza). Se eligió la resolución a 5x5 m como la más adecuada para el modelado de la distribución de los hábitats bentónicos presentada en este informe.

Adicionalmente, se realizaron muestreos con la roseta oceanográfica del buque para analizar las características de la columna de agua y con escafandra autónoma para la

obtención de datos y muestras de índole diversa con la intención de aumentar la información disponible sobre el entorno sumergido del archipiélago desde múltiples ópticas.

La unidad de muestreo elegida fue un punto cada 5 metros en los diferentes transectos realizados para que hubiera coherencia entre los datos de información de hábitat y los datos ambientales obtenidos en las campañas de INTEMARES-COLCARTO. Por este motivo, se han utilizado sólo los muestreos de transectos de vídeo remolcado y de ROV en los que se pudiera obtener dicha unidad muestral. Adicionalmente, se añadieron los puntos de la campaña VR_COL_2011 dado que aportan información útil en zonas del entorno sumergido del archipiélago.

Los datos utilizados procedentes del proyecto LIFE+INDEMARES fueron obtenidos mediante el uso de un ROV Seaeye Linx 1500 a bordo de la embarcación Bon Pigall, ambos propiedad de la fundación Argo Maris.

En las campañas de COLVIDEO posteriores a 2018 y en la INTEMARES-COLCARTO_2020 a bordo del B/O SOCIB y B/O Ramón Margalef, respectivamente, se utilizó un sistema de vídeo remolcado (HaTE_BOX) y una cámara acoplada a la roseta oceanográfica del buque para la filmación de imágenes bentónicas. En todo momento se mantuvo una velocidad entorno a los 0,5 nudos para obtener una imagen del bentos estable.

El sistema de vídeo remolcado HaTE se utilizó en zonas relativamente someras al tener una operabilidad limitada a 75 metros de profundidad. La roseta oceanográfica permitió acceder a fondos más profundos. En ambos casos se utilizó el Posicionamiento Dinámico (PD) del barco siempre que fue posible para asegurar que las filmaciones se llevaban a cabo de acuerdo con la planificación realizada para cada campaña (esto solo fue posible a bordo del B/O Ramón Margalef). Dada la ausencia de sistemas de posicionamiento en los instrumentos de filmación utilizados, se utilizó la ubicación del barco como punto de referencia de los vídeos. Los instrumentos se lastraron para evitar su deriva y se trabajó en situación de baja corriente. Debido a la baja profundidad en la que se operaron se consideró una aproximación válida a la ubicación de las filmaciones.

En la campaña INTEMARES-COLCARTO_0221 se contó con el ROTV-Politolana (Sánchez y Rodríguez, 2013) que permitió la obtención de imágenes georreferenciadas de alta calidad en las zonas de mayor profundidad que habían resultado inaccesibles para el vídeo remolcado utilizado en campañas anteriores. Debido a que en esta campaña el PD del B/O Ramón Margalef no estaba operativo siempre se trabajó en zonas establecidas en base a la batimetría y con pendiente descendiente para evitar la colisión del trineo de vídeo con el entorno.

En total se seleccionaron 96 transectos de los cuales, 59 fueron realizados con ROV (Seaeeye Lynx y Politolana) y 37 con vídeo remolcado (mediante sistema HaTE o roseta) dando lugar a un total de 26,44 km lineales y cubriendo gran parte de los fondos del área protegida en profundidades entre 20 y 97 metros.

La heterogeneidad de los datos de hábitat obtenidos ha hecho que el enfoque elegido para la determinación de las comunidades se haga desde una óptica generalista, dada la

dificultad de identificar especies en muchas de las filmaciones utilizadas. De esta manera, se utilizó la Lista Patrón de Hábitats Marinos del Estado Español (LP, Templado et al., 2012) como guía para la clasificación de hábitats en base a las características discernibles de los hábitats (se llegó al nivel de especies “estructurantes”, descritas por Jones et al., 1994 como especies sésiles tridimensionales de gran tamaño corporal, principalmente algas, cnidarios y esponjas en la medida de lo posible) en los puntos derivados de los transectos de vídeo realizados.

En base a la información disponible se asociaron las principales especies de cada hábitat para poder definir la diversidad y riqueza de cada una de las comunidades identificadas. La zonificación de comunidades bentónicas según profundidad se utilizó para dividir los hábitats en estratos infralitoral y circalitoral a partir de la cota de 30 metros (Pérès y Picard, 1964).

Los datos biológicos recopilados mediante otras técnicas de muestreo como inmersión con escafandra autónoma y *snorkel* han sido de gran utilidad para el cartografiado de zonas someras cercanas a los islotes (figura 2). Debido a la poca profundidad, el buque no pudo realizar la prospección acústica que permite la obtención de las variables ambientales necesarias para llevar a cabo el modelado de los hábitats. La cartografía bionómica de estas zonas se realizó en base a la información batimétrica disponible, información biológica (transectos de buceo y vídeo, principalmente) y el conocimiento experto del equipo investigador involucrado en el proyecto.

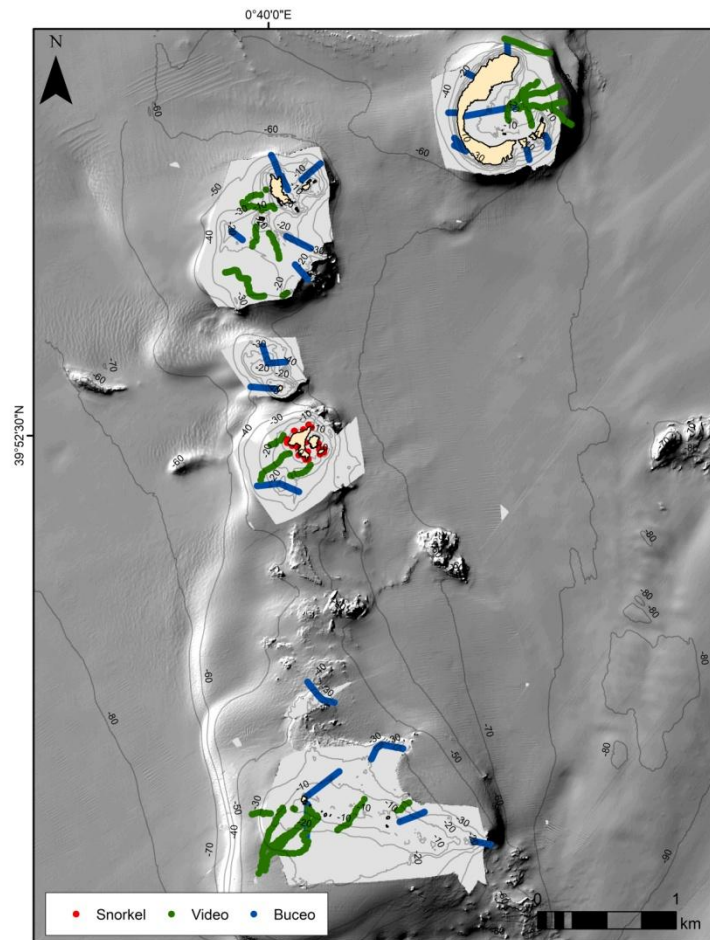


Figura 2. Mapa de la información utilizada para el cartografiado de las zonas someras del entorno sumergido del archipiélago en las que no existía información ambiental precisa. Las isóbatas en color gris representan intervalos de 10 metros de profundidad, puntos y transectos de diferentes colores, la tipología de muestreo.

4.2. Modelado de distribución de los hábitats bentónicos y elaboración de cartografía detallada

El cartografiado de la distribución de hábitats bentónicos biogénicos (estructurados por su componente biológica) fue iniciado dentro del marco del proyecto LIFE+INDEMARES. Entre 2011 y 2012 se utilizaron transectos con ROV y con escafandra autónoma como las metodologías para obtener la información necesaria para realizar la cartografía bionómica de los bajos conocidos del entorno del archipiélago. En el marco del proyecto LIFE IP INTEMARES se ha utilizado la información recopilada hasta la fecha para, mediante el uso de nuevos estándares metodológicos, actualizar la cartografía de los bajos y extenderla al resto del área protegida. Para ello se han utilizado variables ambientales de muy alta resolución recopiladas durante las campañas INTEMARES-COLCARTO de 2020 y 2021.

La profundidad y la reflectividad fueron obtenidas a resoluciones de 5, 4 y 1 metros durante estas campañas. A partir de la profundidad, otras variables explicativas ambientales fueron calculadas y añadidas al estudio: pendiente, orientación (estitud y nortitud) y rugosidad

fueron calculadas con la función *terrain* del paquete *raster* en R (J. Hijmans, 2020). Adicionalmente, el BPI (*Bathymetric Position Index*) a escala gruesa y escala fina fueron calculados con el paquete *Benthic Terrain Modeler* del software ArcGIS de ESRI (Wright et al., 2005) y también se incluyeron. El BPI utiliza la batimetría para caracterizar los puntos del mapa según su profundidad en relación a su entorno (depresiones y elevaciones), para el BPI de escala gruesa se usó una celda central de 100 m y un radio de búsqueda de 300, para el BPI de escala fina, se usaron valores de 1 y 15 metros. Todas las variables fueron utilizadas con una resolución de 5 metros de cara a la concordancia entre sí y con la resolución de la información biológica. La rugosidad fue eliminada después de realizar la exploración de los datos por mostrar una correlación elevada con la pendiente. Las variables que se utilizaron en los modelos son las listadas en la figura 3.

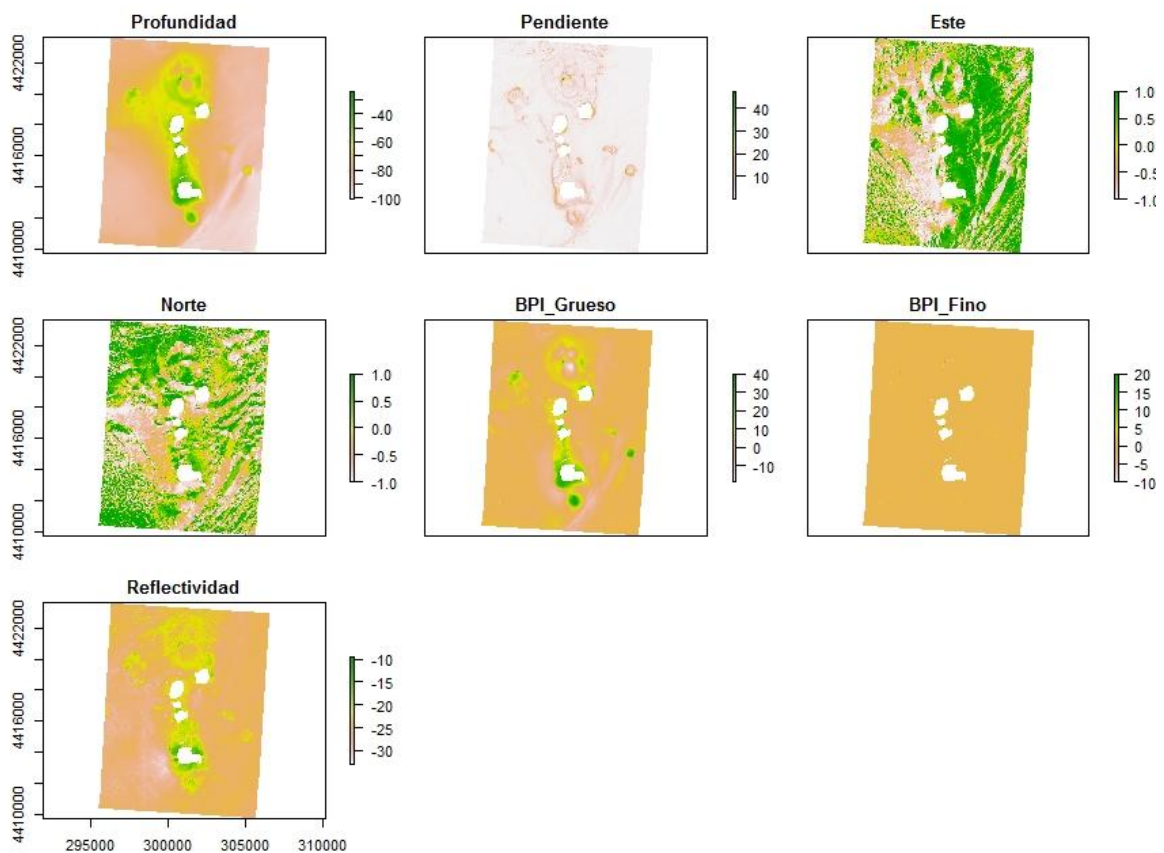


Figura 3. Variables ambientales utilizadas en el modelado de hábitats: profundidad (metros), pendiente (grados de inclinación), este (radianes), norte (radianes), BPI_Grueso, BPI_Fino y reflectividad (decibelios).

Una vez realizada la clasificación de hábitats y la selección de las variables explicativas de los modelos, todos los hábitats fueron cartografiados utilizando modelos de distribución a excepción del hábitat "Roca infralitoral dominada por algas" dada la escasez de puntos de presencia. El hábitat de cascajo biogénico solo fue cartografiado cuando estaba acompañado por las algas pardas *Arthrocladia villosa* y *Sporochnus pedunculatus* dado que refuerzan la estructura tridimensional del hábitat y facilitan la caracterización del mismo. Aquellos hábitats con una cantidad de puntos de presencia muy baja cuyo modelado resultaba problemático fueron agrupados en una categoría conjunta, por ejemplo el hábitat coralígeno con gorgonias se unió al coralígeno con dominancia de invertebrados.

Los modelos aditivos generalizados (GAMs; Hastie y Tibshirani, 1990) con distribución binomial fueron el tipo de modelo elegido para relacionar la probabilidad de presencia de los distintos hábitats con las condiciones ambientales locales presentes en el área de estudio.

El modelo completo utilizado para el análisis de los hábitats fue:

$$Ph_i = \beta_i + s(\text{profundidad}) + s(\text{pendiente}) + s(\text{este}) + s(\text{norte}) + s(\text{BPI_Grueso}) + s(\text{BPI_Fino}) + s(\text{reflectividad}) + \epsilon_i$$

donde Ph_i representa la probabilidad de presencia para cada hábitat i , β_i es la constante o intersección, s es una función de suavizado isotrópica (una para cada variable y modelo), y ϵ_i es el término de error.

El procedimiento de la selección de las variables explicativas para el modelado de cada hábitat se realizó mediante la técnica por pasos hacia atrás/hacia adelante en base el criterio de información de Akaike (AIC; Akaike, 1973). Así, los modelos con el mejor balance entre error y precisión fueron los elegidos.

Para comprobar la existencia de autocorrelación espacial de los residuos de los modelos se utilizaron variogramas y el índice de Moran (Moran, 1950). Una vez comprobada la débil autocorrelación espacial de los residuos, se utilizaron dos técnicas para evaluar la capacidad predictiva de los modelos mediante validación cruzada; por un lado, la curva característica operativa del receptor (curva ROC, conocida también como la AUC, *Area Under the Curve*; Fielding y Bell, 1997), y el coeficiente kappa de Cohen (Cohen, 1960). Ambos estadísticos clasifican la capacidad predictiva de los modelos de excelente a mala con valores entre 0 y 1 (Fleiss, 1991; Gonzalez-Mirelis y Buhl-Mortensen, 2015).

Después de generar las cartografías para cada una de las predicciones de los hábitats, se generó un único mapa combinándolas. Así, se facilita la comprensión de la distribución de las comunidades y la futura gestión del espacio protegido. Para el ensamblaje de las predicciones en el mapa único se utilizaron dos umbrales para la selección de cada hábitat biogénico, prevalencia y kappa dando lugar a dos mapas con dos escenarios distintos (Freeman y Moisen, 2008). Los umbrales sirvieron para determinar un valor de probabilidad de presencia mínimo para cada cuadrícula, los valores de predicción inferiores a dicho umbral fueron eliminados. De esta manera se genera un único mapa con valores binarios (0= ausente, 1=presente) según el umbral seleccionado. Si en una determinada celda de la cuadrícula coincidían varios hábitats se seleccionó aquel que mostraba un valor de predicción más elevado, por último las cuadrículas que no mostraban valores por encima del umbral se clasificaron como "no prediction" y se representaron en función del hábitat no biogénico presente en aquella ubicación.

En las zonas en las que no se obtuvieron variables ambientales debido a la proximidad a los islotes y la baja profundidad que impedían la operatividad de los buques oceanográficos, se utilizó un enfoque metodológico basado en realizar el cartografiado a partir del conocimiento del personal científico participante en el proyecto. Dicha cartografía se elaboró a partir de datos de carácter biológico obtenidos mediante transectos de *snorkel*,

escafandra autónoma y de vídeo remolcado combinados con información batimétrica de la que se disponía previamente.

Por último, se cartografiaron los hábitats de interés comunitario según la Directiva Hábitats. Los hábitats de “Bancos de arena cubiertos permanentemente por agua marina poco profunda” (1110) y “Arrecifes” (1170) fueron cartografiados a partir de los hábitats biogénicos identificados pertenecientes a cada categoría. Se han incluido otros dos hábitats de interés comunitario que no han sido modelados, el hábitat de “Estructuras marinas causadas por emisiones de gases” (1180) se representó mediante un polígono situado en aquellas zonas en las que la ecosonda y la roseta oceanográfica del buque oceanográfico detectaron y confirmaron emisiones gaseosas activas y, el hábitat de “Cuevas marinas sumergidas y semisumergidas” (8330) fue representado como una entidad puntual en las ubicaciones donde se conoce la presencia de estas comunidades.

De manera adicional, se realizó un mapa que combina las predicciones según cada umbral con el conocimiento experto del equipo de investigación que ha participado en el proyecto. Gracias a la experiencia en el área de estudio y a los modelos de distribución aplicados se ha intentado representar la distribución de los hábitats bentónicos de la manera más realista posible.

4.3. Inventario de hábitats vulnerables considerados en normativa y convenciones internacionales

Dentro de la diversidad de clasificaciones de hábitats bentónicos existentes hay múltiples catálogos cuyo ámbito de aplicación incluye al LIC del entorno marino de las Islas Columbretes.

A nivel mundial se ha utilizado la clasificación de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) que clasifica los hábitats del medio marino al igual que del terrestre.

A nivel europeo, la clasificación EUNIS (*European Union Natura Information System*) utiliza un sistema jerárquico para dividir hábitats presentes en Europa, desde hábitats marinos a hábitats terrestres de diversa índole (Davies y Moss, 1998; 2004). Por otra parte, el Anexo I de la Directiva Hábitats (92/43/CEE) ofrece una clasificación de hábitats europeos (de nuevo extendiéndose más allá del medio marino) que necesitan especial protección.

A nivel regional, en el marco del Plan de Acción para el Mediterráneo del Convenio para la protección del medio marino y la región costera del Mediterráneo (Convenio de Barcelona; UNEP/MED, 1998; 2006; Montefalcone et al., 2021), se han realizado tanto una lista general de hábitats bentónicos presentes en el Mediterráneo como una lista de hábitats prioritarios a tener en cuenta en la declaración de Lugares de Interés para la Conservación mediterráneos.

Finalmente, a nivel nacional, España cuenta con el Inventario Español de Hábitats y Especies Marinos (Templado et al., 2012). Este listado, al igual que el de EUNIS, clasifica de manera jerárquica los hábitats marinos presentes en el estado español con el objetivo de

favorecer la conservación y protección de los mismos a través de la colaboración entre ciencia y gestión.

Los esfuerzos llevados a cabo dentro del proyecto LIFE+INDEMARES dieron como fruto una tabla que relacionaba los hábitats descritos con aquellos presentes en la lista EUNIS y en el Inventario Español de Hábitats y Especies Marinos. Dado que en el marco del proyecto LIFE IP INTEMARES se ha cubierto una mayor superficie del área de estudio, esta lista ha sido revisada y actualizada con nuevos hábitats y sus correspondientes pasarelas. Adicionalmente, se han incluido los hábitats listados en la región Mediterránea según el Convenio de Barcelona. La elaboración de las pasarelas entre diversas clasificaciones es esencial para que las diferentes estrategias de gestión y monitoreo se lleven a cabo de manera eficiente.

4.4. Caracterización de los hábitats bentónicos

Dado que este estudio ha abordado la cartografía del LIC en su totalidad, se ha expandido el conocimiento disponible hasta la fecha realizado en el marco del proyecto LIFE+INDEMARES en relación a la caracterización de los hábitats bentónicos. La caracterización de los hábitats se ha centrado en el cálculo de la superficie de ocupación de cada uno de los hábitats identificados, la descripción de su estado ambiental (centrada en la composición funcional de los hábitats) y la vulnerabilidad frente a potenciales amenazas.

4.4.1. Representatividad (superficie de ocupación)

Una vez realizado el modelado y cartografiado de los hábitats bentónicos identificados, es posible calcular la superficie que ocupa cada uno de ellos. Al haber trabajado con diferentes umbrales, los valores de las superficies pueden variar según cuál de ellos se usa, dependiendo de la finalidad con la que se utilicen los mapas generados. Los umbrales prevalencia (proporción de presencias) y kappa (maximiza el valor para el parámetro; Fielding y Bell, 1997) proporcionan polígonos de diferente tamaño para cada hábitat a partir de los cuales se obtuvieron los datos de ocupación.

De esta manera se han generado dos capas de polígonos, una para cada umbral, que han permitido el cálculo de la superficie ocupada, representatividad y superficie relativa para cada una de las comunidades identificadas.

Adicionalmente, se evaluó la representatividad y superficie relativa de los hábitats de interés comunitario presentes en el LIC (1110, 1170, 1180, 8330). El hábitat 1170 comprende el conjunto de comunidades de fondos rocosos que se han identificado y cartografiado (coralígeno, roca, cantos y bloques). El hábitat 1110 se ha representado mediante la unión de algunas de las comunidades de fondos sedimentarios identificadas (fondos de rodolitos y cascajo, praderas de *C. nodosa*, fondos dominados por *L. phalangium*). Pese a que en ocasiones pueden extenderse más allá de zonas consideradas someras, dentro del marco del proyecto LIFE IP INTEMARES se han considerado adecuados para ser incluidos bajo dicha clasificación. La superficie de ocupación del hábitat 1180 se calculó sobre un polígono que indica su presencia en base a la información registrada con la ecosonda multihaz y confirmada con la roseta oceanográfica del buque dada la dificultad de ser detectado

mediante técnicas visuales y, por lo tanto, no haber sido modelado mediante modelos de distribución. El efecto de las estructuras generadas por emisiones de gases en esta zona ha sido demostrado (Linares, 2015) y continua siendo estudiado en la actualidad. Por último, el hábitat 8330, representado como entidad puntual en los mapas, no ofrece superficie de ocupación, en cambio se muestran la ubicación y cantidad de zonas en las que se localiza este hábitat de interés comunitario.

El dato de superficie ocupada se obtuvo a partir de los polígonos de cada hábitat obtenidos mediante la aplicación de los umbrales prevalencia y kappa. A los datos de superficie obtenidos de los polígonos resultantes de la aplicación de cada umbral se añadieron las superficies de los polígonos de las zonas someras (que tienen una única representación) con el objetivo de ofrecer la información de todo el espacio protegido, independientemente de la técnica de cartografiado utilizada.

En primer lugar se definen los hábitats identificados según su representatividad, entendida como la medida en que son típicos (representatividad excelente, buena, significativa o no significativa). A continuación, siguiendo el Formulario Normalizado de Datos de los espacios protegidos de la Red Natura 2000 (FND), la superficie relativa de cada hábitat se relacionó con las letras A, B o C según el porcentaje obtenido. Dicho porcentaje de presencia relativa se calcula en relación a la superficie del hábitat en el territorio nacional.

“A” si el porcentaje (%) es superior al 15%

“B”, si el porcentaje (%) está entre el 2 y el 15 %

“C”, si el porcentaje (%) está entre el 0 y el 2%

4.4.2. Estado ambiental

La descripción del estado ambiental de los hábitats se realizó a partir de los datos obtenidos a través de las diferentes técnicas (buceo, vídeo remolcado y ROV). Los atributos descritos fueron la riqueza específica e identificación de “hotspots” y la composición funcional de las comunidades.

4.4.2.1. Riqueza de especies e identificación de "hotspots"

La riqueza específica de un hábitat representa el número de especies identificadas en él. Dado que no se realizaron mediciones de abundancia de especies debido a la heterogeneidad de fuentes de información utilizadas para definir la componente biológica de los hábitats se utilizó la riqueza específica de especies como descriptor de la biodiversidad de los hábitats (Gaston y Spicer, 2004). El valor del número de especies identificadas en las diferentes comunidades se utilizó para crear un mapa que muestra aquellas zonas que, de manera potencial, pueden albergar una mayor diversidad de especies.

4.4.2.2. Índice de Diversidad de Shannon- Wiener (H')

El índice de Diversidad de Shannon- Wiener (H', using log₂; Shannon, 1948) es otra métrica utilizada para evaluar la diversidad α . Aplicado a cada uno de los hábitats identificados permite analizar la uniformidad de la distribución de los individuos de cada especie presente en una comunidad. Dada la heterogeneidad de los datos bionómicos utilizados y la dificultad de individualizar los individuos de algunas de las especies identificadas en los hábitats del área de estudio esta técnica no pudo ser aplicada.

4.4.2.3. Índice de Diversidad Funcional

La diversidad funcional de los hábitats permite estudiar la composición funcional analizada mediante la entropía cuadrática de Rao (RQE) combina la riqueza funcional, equitatividad funcional y divergencia funcional. El resultado muestra cómo difiere la composición de especies entre los diferentes hábitats según sus características funcionales. Valores altos expresan hábitats cuyas especies difieren entre sí en sus características funcionales. Dada la heterogeneidad de los datos bionómicos utilizados y la dificultad de individualizar los individuos de algunas de las especies identificadas en los hábitats del área de estudio esta técnica no pudo ser aplicada.

4.4.2.4. Composición funcional

Los hábitats fueron comparados en base a su composición siguiendo la metodología empleada por De la Torre Diez et al. (2022). Esta característica se deriva de 7 rasgos asociados a las especies presentes en cada uno de los hábitats (tamaño, longevidad, movilidad, posición bentónica, modo de alimentación, forma corporal y duración de la vida larvaria). Este enfoque, denominado "*Biological Traits Analysis*" (BTA) permite comparar las comunidades más allá de su composición taxonómica centrándose en características importantes en relación a sus dinámicas biológicas y ecológicas siendo de gran utilidad para el estudio de impactos antrópicos (Bremner et al., 2006). La información relativa a las características seleccionadas se obtuvo de literatura gris, bases de datos en línea (MarLIN, 2006; WoRMS Editorial Board, 2022) y conocimiento experto. A cada especie se le asignó un valor según lo descrito en la Tabla 1.

Tabla 1. Características biológicas y modalidades utilizadas en el análisis de la composición funcional y en la sensibilidad entre los diferentes hábitats bentónicos. A las algas anuales se les dio una score de 1 y a las perennes de 3, en cuanto a la duración de la vida larvaria se les dio un valor de 1 a todas.

CARACTERÍSTICA BIOLÓGICA	SCORE	CRITERIA
TAMAÑO MÁXIMO	1	Pequeño (<2 cm)
	2	Mediano (2-10 cm)
	3	Mediano- Grande (11-50 cm)
	4	Grande (>50 cm)
LONGEVIDAD	1	< 1 año
	2	1-5 años
	3	5-10 años
	4	>10 años
MOVILIDAD	1	Nadador

	2	Reptante
	3	Excavador y reptante ocasional
	4	Sésil
POSICIÓN BENTÓNICA	1	Galería o excavación
	2	-
	3	Superficie
	4	Emergente (>20 cm)
MODO DE ALIMENTACIÓN	1	Carroñero y/o carnívoro
	2	Depredador, omnívoro
	3	Depositívoro y/o suspensívoro
	4	Filtrador
FORMA CORPORAL	1	Aplanado (dorsal y lateralmente)
	2	Globular
	4	Erecto, pedunculado y ramificación en un único plano
FIJACIÓN AL SUSTRATO	1	No sésil (vágil)
	2	No (ocasionalmente repta)
	3	Temporal
	4	Permanente
FRAGILIDAD	1	Concha dura
	2	Cuerpo duro
	3	Sin protección
	4	Concha frágil
FLEXIBILIDAD	1	Alta (>45°)
	2	-
	3	Baja (10-45°)
	4	Ninguna (<10°)

4.4.3. Sensibilidad y/o vulnerabilidad de los hábitats bentónicos frente a las principales presiones y actividades con impacto sobre el lugar

El archipiélago de las Islas Columbretes y su entorno sumergido conforman un atractivo turístico en auge constante (Martínez-Abraín et al., 2002; Teruel et al., 2014). La presencia de turistas y las actividades que se desarrollan, como el buceo recreativo o el tránsito de embarcaciones, impactan el entorno sumergido en el interior de las zonas que permiten ciertos usos en la Reserva Marina (Linares et al., 2012).

Adicionalmente, cabe considerar el impacto de la pesca profesional, artesanal y recreativa que se realiza en el interior del LIC, más allá de los límites de la Reserva Marina derivada de los beneficios que ésta aporta a diversas poblaciones de fauna de interés comercial (Goñi et al., 2001; 2006; 2010; Stobart et al., 2009).

Los principales impactos derivados de la pesca serían por la pesca de arrastre, palangre de fondo y trasmallo (Linares et al., 2012; Mallol et al., 2014; Cabanellas-Reboredo et al., 2017), en los hábitats situados entre los límites de la Reserva Marina y del LIC. Por último, Linares et al., (2012) mencionan el peligro del furtivismo que se detecta en ocasiones tanto

en las zonas de Reserva Marina como de Reserva Integral. La figura 4 muestra los diferentes niveles de protección presentes en la Reserva Marina.

Las zonas de reserva marina permiten la pesca profesional y de recreo, siempre desde embarcación, mediante curricán de superficie y cerco dirigidos a pelágicos. Las zonas de uso restringido corresponden a un buffer de 0,5 millas náuticas alrededor de los islotes de Isla Grande (Illa Grossa), Malaspina (Ferrera) y Horadada (Foradada) y permiten actividades subacuáticas reguladas y fondeo en boyas existentes. Las zonas de reserva integral del Muro del Cementerio (Murall del Cementiri) y del Isote Bergantín (Carallot) situadas al norte y al sur de la Reserva Marina, respectivamente, son las zonas más restrictivas permitiendo únicamente la actividad científica con autorización previa.

Cabe reseñar que también se realizan actividades de pesca, buceo y navegación enmarcadas en diferentes proyectos de investigación. Estas actividades de origen antrópico pueden materializarse de diversas maneras y ser ejecutadas con objetivos diversos, pero siempre tendrán un impacto positivo sobre el medio a mejorando el conocimiento del mismo o las medidas para su conservación.

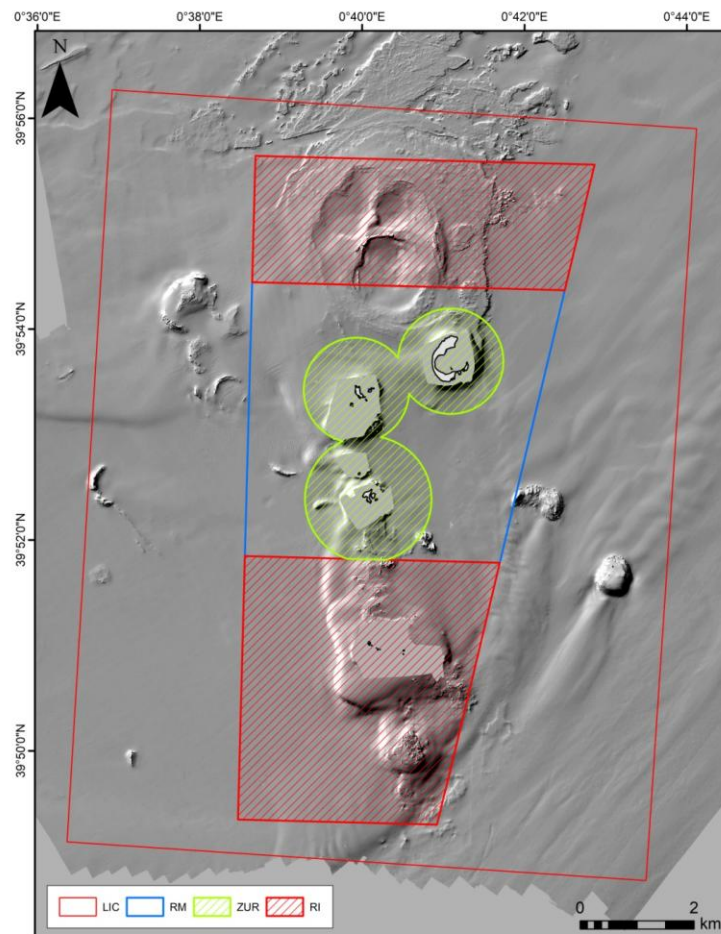


Figura 4. Niveles de protección en el entorno sumergido del archipiélago de las Islas Columbretes. LIC, Lugar de Importancia Comunitaria; RM Reserva Marina; ZUR, Zona de Usos Restringidos; y RI, Reserva Integral.

Siguiendo la metodología aplicada en otros informes (De la Torriente et al., 2020) desarrollada por González-Irusta et al. (2018) se trató de identificar las zonas más sensibles a la pesca de arrastre a través del índice BESITO (Benthos Sensitivity Index to Trawling Operations). Este indicador clasifica las especies que componen los hábitats con valores del 1 al 5 para cada especie en función de 8 características biológicas: tamaño máximo, longevidad, movilidad, fijación al sustrato, posición bentónica, flexibilidad, fragilidad y modo de alimentación. El índice PALINDEX (De la Torriente et al., 2020) utiliza 3 rasgos biológicos (tamaño máximo, fijación al sustrato y forma corporal) para calcular la sensibilidad de las especies a la pesca de palangre de fondo. Estos métodos se aplicaron a todas las especies presentes en los hábitats identificados.

Una vez calculada la sensibilidad de las diferentes especies que componen los hábitats, se utilizó el promedio de todas ellas como aproximación a la sensibilidad del hábitat. Dada la ausencia de abundancias, debido a la dificultad de determinarlas para algunas comunidades y la heterogeneidad de los datos biológicos de origen, se utilizó este enfoque para definir la vulnerabilidad de los hábitats presentes en el área de estudio.

4.5. Determinación del grado de conservación de los hábitats de interés comunitario.

El grado de conservación de los hábitats de interés comunitario se evaluó en base a 3 subcriterios, de acuerdo al manual de interpretación del Formulario Normalizado de Datos de los espacios protegidos de la Red Natura 2000 (FND):

- Grado de conservación de la estructura
- Grado de conservación de las funciones
- Posibilidad de restauración

Este estudio y los datos obtenidos permiten establecer una línea base de conocimiento a partir de la cual continuar proyectos de investigación, series históricas y medidas de seguimiento y monitoreo en el futuro. Con la intención de no solapar los esfuerzos de las campañas de INTEMARES-COLCARTO con el trabajo realizado anteriormente en el marco del proyecto LIFE+INDEMARES, no se muestrearon de nuevo los bajos más característicos del entorno sumergido del archipiélago. Dado que las cartografías fueron desarrolladas mediante técnicas diferentes se pueden observar cambios en los hábitats, pero es debido al enfoque metodológico y no a variaciones de los mismos.

La experiencia del grupo de investigadores en el área de estudio permite hacer una aproximación según "criterio experto" sobre los tres subcriterios:

Grado de conservación de la estructura:

- (i) Estructura excelente: sin signos evidentes de perturbación.

(ii) Estructura bien conservada: con signos de existencia de posible perturbación, pero manteniendo la estructura de hábitat biogénico y sin registros de especies claramente dañadas.

(iii) Estructura mediana o parcialmente degradada: con signos de existencia de posible perturbación, pero manteniendo la estructura de hábitat biogénico y con claros registros de especies dañadas.

Grado de conservación de las funciones:

(i) Perspectivas excelentes: seguridad de que el hábitat mantenga su estructura y funciones en el futuro si se aplican medidas de conservación adecuadas.

(ii) Perspectivas buenas: media y elevada probabilidad de que el hábitat mantenga su estructura y funciones en el futuro si se aplican medidas de conservación adecuadas.

(iii) Perspectivas medianas o desfavorables: baja o nula probabilidad de que el hábitat mantenga su estructura y funciones en el futuro si se aplican medidas de conservación adecuadas.

Posibilidad de restauración:

(i) Restauración fácil: elevada probabilidad de éxito desde el punto de vista ecológico y baja relación coste-eficacia.

(ii) Restauración posible con un esfuerzo medio: probabilidad de éxito media desde el punto de vista ecológico y relación coste-eficacia media.

(iii) Restauración difícil o imposible: baja o nula probabilidad de éxito desde el punto de vista ecológico, independientemente de la relación coste-eficacia.

En base a la combinación de los valores de los criterios anteriores (estructura, funciones, restauración) (figura 5) se determina un grado de conservación para cada hábitat:

1. Excelente
2. Buena.
3. Mediana o reducida.

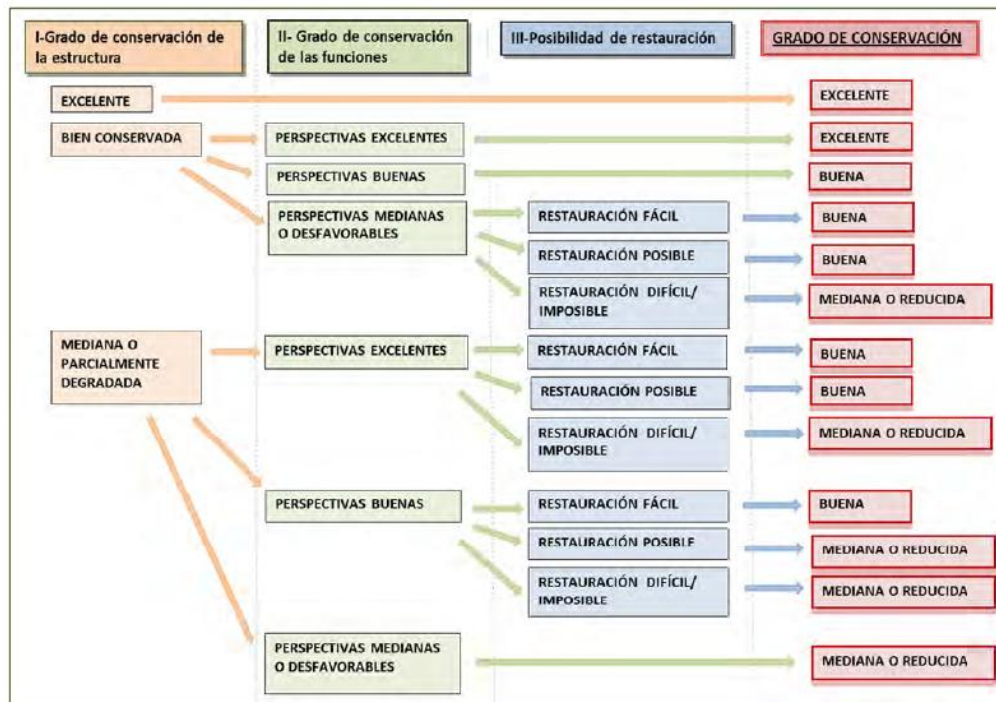


Figura 5. Criterios de clasificación del grado de conservación de los hábitats bentónicos identificados.

Finalmente, el valor global sintetiza el resto de criterios aplicados considerando la importancia de cada uno de ellos para el hábitat y, se clasifica de la siguiente manera:

1. Valor excelente
2. Valor bueno
3. Valor significativo

La implementación futura de programas continuos de monitoreo en el entorno sumergido de las Islas Columbretes permitirá profundizar en todos estos aspectos y en definir criterios numéricos para poder evaluar de manera más objetiva el grado de conservación y la evaluación global y, finalmente, desarrollar las medidas de gestión más adecuadas para su conservación y uso sostenible a largo plazo.

5. Resultados

Entre las zonas profundas y someras, se identificaron 17 hábitats bentónicos biogénicos. Trece de ellos pertenecen al entorno sumergido más profundo de las Islas Columbretes y fueron detectados mediante técnicas de vídeo. De estos 13, 7 están incluidos en el hábitat de interés comunitario 1170-Arrecifes y 4, en el hábitat de interés comunitario 1110-Bancos de arena cubiertos permanentemente por agua marina poco profunda. Adicionalmente, los dos hábitats restantes no incluidos en la DH han sido propuestos para su inclusión en el hábitat de interés comunitario 1110, "Fondos detríticos dominados por invertebrados" y "Fondos detríticos dominados por laminariales". De los 13 hábitats identificados, 12 fueron cartografiados mediante modelos de distribución, mientras que 1 no pudo serlo debido al bajo número de puntos de presencia ("Roca infralitoral con dominancia de algas").

Se identificaron 10 hábitats bentónicos biogénicos en zonas someras que fueron muestreadas mediante transectos de vídeo y de buceo con escafandra autónoma de los cuales 6 coinciden con la zona de mayor profundidad. Los 4 hábitats específicos de la zona infralitoral tienen correspondencia con las comunidades 1110 y 1170 de la Directiva Hábitats, "Praderas de *Cymodocea nodosa*" y "Fondo de *Tricleocarpa fragilis*" se incluyen en el 1110, y "Bloques dominados por algas" y "Blanquiazal en roca superior", en el 1170.

5.1. Inventario de tipos de hábitats bentónicos

A través del análisis de los transectos de vídeo y con escafandra autónoma se identificaron los hábitats característicos de la zona utilizando las comunidades de la demarcación mediterránea de la Lista Patrón (Templado et al., 2012) como listado de referencia. Las características de los hábitats identificados se resumen en la tabla 2 y las imágenes de referencia para cada uno de ellos se han recopilado en la figura 6.

Tabla 2. Hábitats bentónicos identificados (Grupo ID) y sus características principales. El número de muestras que figura entre paréntesis corresponde a puntos de presencia en el entorno más somero de las islas que no se utilizaron para el modelado de hábitats. CA: Coralígeno con dominancia de algas; CI: Coralígeno con dominancia de invertebrados; CBAS: Cascajo con *A. villosa* y *S. pedunculatus*; MR: Fondo de maërl/rodolitos; RCI: Fondo de maërl/rodolitos con invertebrados; FDL: Fondo detrítico con laminariales; FDI: Fondo detrítico con invertebrados; FDLP: Fondo detrítico con *Leptometra phalangium*; RCCS: Roca circalitoral cubierta por sedimento; RNCI: Roca no concrecionada dominada por invertebrados; RDA: Roca circalitoral dominada por algas; RIF: Roca infralitoral dominada por fucas; RIDA: Roca infralitoral dominada por algas; BRS: Blanquizal en roca superior; FTF: Fondo de *Tricleocarpa fragilis*; PCN: Praderas de *Cymodocea nodosa*; CBA: Cantos y bloques dominados por algas.

GRUPO ID	N MUESTRAS	ESPECIES TÍPICAS	PROFUNDIDAD MÍN - MÁX	TIPO DE FONDO	DENOMINACIÓN HÁBITAT BENTÓNICO
CA	490 (51)	<i>Mesophyllum</i> spp., <i>Peyssonnelia</i> spp., <i>Halimeda tuna</i> , <i>Gloiocladia repens</i> , <i>Flabellia petiolata</i> , <i>Palmophyllum crassum</i>	34-69 m	Roca	Fondo coralígeno con dominancia de algas como <i>Peyssonnelia</i> spp., <i>Mesophyllum</i> sp. y <i>Halimeda tuna</i> .
CI	779	<i>Axinella</i> spp., <i>Haliclona</i> sp., <i>Paramuricea clavata</i> , <i>Eunicella singularis</i> , <i>Eunicella cavolinii</i> , <i>Eunicella verrucosa</i>	32-76 m	Roca	Fondo coralígeno con dominancia de invertebrados, principalmente gorgonias y esponjas.
CBAS	783 (64)	<i>Arthrocladia villosa</i> , <i>Sporochnus pedunculatus</i> , <i>Halopteris filicina</i> , <i>Osmundaria volubilis</i>	34-62 m	Cascajo	Fondo de cascajo con presencia de macrófitos como <i>Arthrocladia villosa</i> y <i>Sporochnus pedunculatus</i> .
MR	595 (199)	<i>Lithothamnion corallioides</i> , <i>Spongites fruticulosa</i> , <i>Phymatolithon calcareum</i> , <i>Osmundaria volubilis</i> , <i>Phyllophora crispa</i>	36-65 m	Maërl-rodolitos	Fondos de maërl/rodolitos.
RCI	749	<i>Lithothamnion corallioides</i> , <i>Spongites fruticulosa</i> , <i>Phymatolithon calcareum</i> , <i>Veretillum cynomorium</i> , <i>Aplidium</i> sp., <i>Pennatula</i> sp., <i>Holothuria</i> spp.	49-77 m	Maërl-rodolitos	Fondos de maërl/rodolitos con dominancia de invertebrados (cnidarios, ascidias, sabélidos, equinodermos).
FDL	137	<i>Laminaria rodriguezii</i> , <i>Phyllariopsis brevipes</i> .	38-64 m	Arena detrítica y bloques	Fondo sedimentario detrítico con dominancia de laminariales (<i>Laminaria rodriguezii</i> , <i>Phyllariopsis brevipes</i>).
FDI	50	<i>Sabella</i> sp., <i>Pennatula</i> sp., <i>Veretillum cynomorium</i> , <i>Cerianthus membranaceus</i> , <i>Funiculina quadrangularis</i>	72-94 m	Arena detrítica	Fondo sedimentario detrítico con presencia de invertebrados (sabélidos, pennatuláceos, crinoideos).
FDLP	145	<i>Leptometra phalangium</i>	64-96 m	Arena detrítica	Fondo sedimentario detrítico dominado por <i>Leptometra phalangium</i> .
RCCS	243	<i>Axinella</i> spp., <i>Halocynthia papillosa</i> , <i>Echinus melo</i> , <i>Holothuria</i> sp., <i>Paralcyonium spinolosum</i> .	71-94 m	Roca	Fondo rocoso cubierto de sedimento con invertebrados, sobretudo esponjas y equinodermos

RDA	151 (45)	<i>Cystoseira</i> spp., <i>Treptacantha</i> spp., <i>Ericaria</i> spp., <i>Laminaria</i> sp., <i>Phyllariopsis</i> sp.	40-66 m	Roca	Fondo rocoso dominado por algas ocrófitas de gran tamaño (<i>Cystoseira</i> sp., <i>Laminaria</i> sp., <i>Phyllariopsis</i> sp.).
RNCI	207	<i>Paramuricea clavata</i> , <i>Eunicella singularis</i> , <i>Eunicella cavolinii</i> , <i>Axinella</i> sp., <i>Corallium rubrum</i> , <i>Haliclona</i> sp., <i>Parazoanthus axinellae</i> , <i>Callogorgia</i> sp.	67-83 m	Roca	Fondo rocoso no concrecionado dominado por invertebrados, principalmente cnidarios y esponjas.
RIF	70 (254)	<i>Cystoseira</i> spp., <i>Treptacantha</i> spp., <i>Ericaria</i> spp., <i>Sargassum</i> sp., <i>Lophocladia lallemandii</i> , <i>Dictyopteris polypodioides</i> , <i>Jania virgata</i> , <i>Codium bursa</i>	1-39 m	Roca	Roca infralitoral dominada por algas fucales (<i>Cystoseira</i> sp., <i>Sargassum</i> sp.).
RIDA	8 (163)	<i>Dyctiopteris</i> sp., <i>Codium bursa</i> , <i>Halymenia floresii</i> , <i>Peyssonnelia</i> sp., <i>Mesophyllum</i> sp., <i>Halimeda tuna</i> , <i>Haliptilon virgatum</i> , <i>Ellisolandia elongata</i> , <i>Caulerpa cylindracea</i> , <i>Caulerpa racemosa</i> , <i>Asparagopsis taxiformis</i>	1-42 m	Roca	Roca infralitoral dominada por algas (<i>Dyctiopteris</i> sp., <i>Codium bursa</i> , algas rojas incrustantes).
BRS	(5)	<i>Lithophyllum incrustans</i> , <i>Arbacia lixula</i> , <i>Paracentrotus lividus</i> , <i>Anemonia viridis</i> , <i>Balanus</i> sp., <i>Padina pavonica</i> , <i>Ircinia</i> sp., <i>Haliptilon virgatum</i>	5-20 m	Roca	Blanquizales en roca superior dominados por algas incrustantes e invertebrados como cirrípedos, erizos o anémonas.
FTF	(10)	<i>Tricleocarpa fragilis</i> , <i>Caulerpa cylindracea</i> , <i>Codium bursa</i> , <i>Osmundaria volubilis</i> , <i>Phyllophora crispa</i>	24-35 m	Roca	Fondo cubierto por el alga rodófito calcificada <i>Tricleocarpa fragilis</i> .
PCN	(35)	<i>Cymodocea nodosa</i> , <i>Lithothamnion corallioides</i> , <i>Spongites fruticulosa</i> , <i>Phymatolithon calcareum</i>	15-30 m	Roca	Praderas de la fanerógama <i>Cymodocea nodosa</i> , en ocasiones acompañada por restos de maërl o rodolitos y cascajo.
CBA	(157)	<i>Cystoseira</i> spp., <i>Treptacantha ballesterosii</i> , <i>Ericaria zosteroides</i> , <i>Codium bursa</i> , <i>Sargassum</i> sp., <i>Zanardinia typus</i>	1-40 m	Roca	Cantos y bloques de tamaño diverso dominados por algas de gran porte de los géneros <i>Cystoseira</i> y <i>Sargassum</i> . Sotobosque con dominado por otras algas e invertebrados.

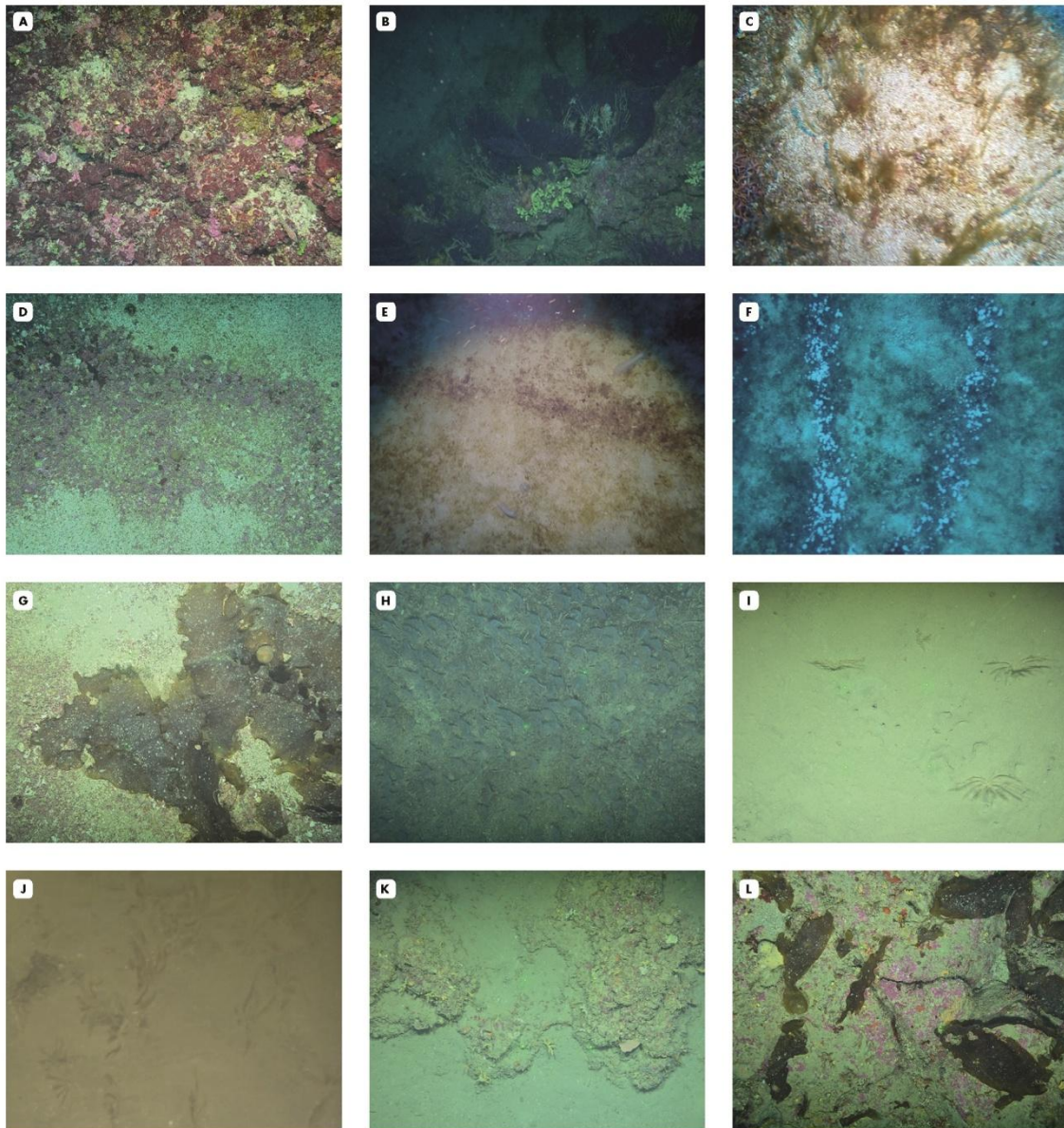


Figura 6. Imágenes representativas de los 17 hábitats bentónicos biogénicos identificados y cartografiados. (A) Hábitat 1: Coralígeno con dominancia de algas; (B) Hábitat 2: Coralígeno con dominancia de invertebrados; (C) Hábitat 3: Cascajo con *A. villosa* y *S. pedunculatus*; (D) Hábitat 4: Fondo de maërl/rodolitos; (E, F) Hábitat 5: Fondo de maërl/rodolitos con invertebrados; (G) Hábitat 6: Fondo detrítico con laminariales; (H) Hábitat 7: Fondo detrítico con invertebrados; (I, J) Hábitat 8: Fondo detrítico con *Leptometra phalangium*; (K) Hábitat 9: Roca circalitoral cubierta por sedimento; (L, M) Hábitat 10: Roca circalitoral dominada por algas.

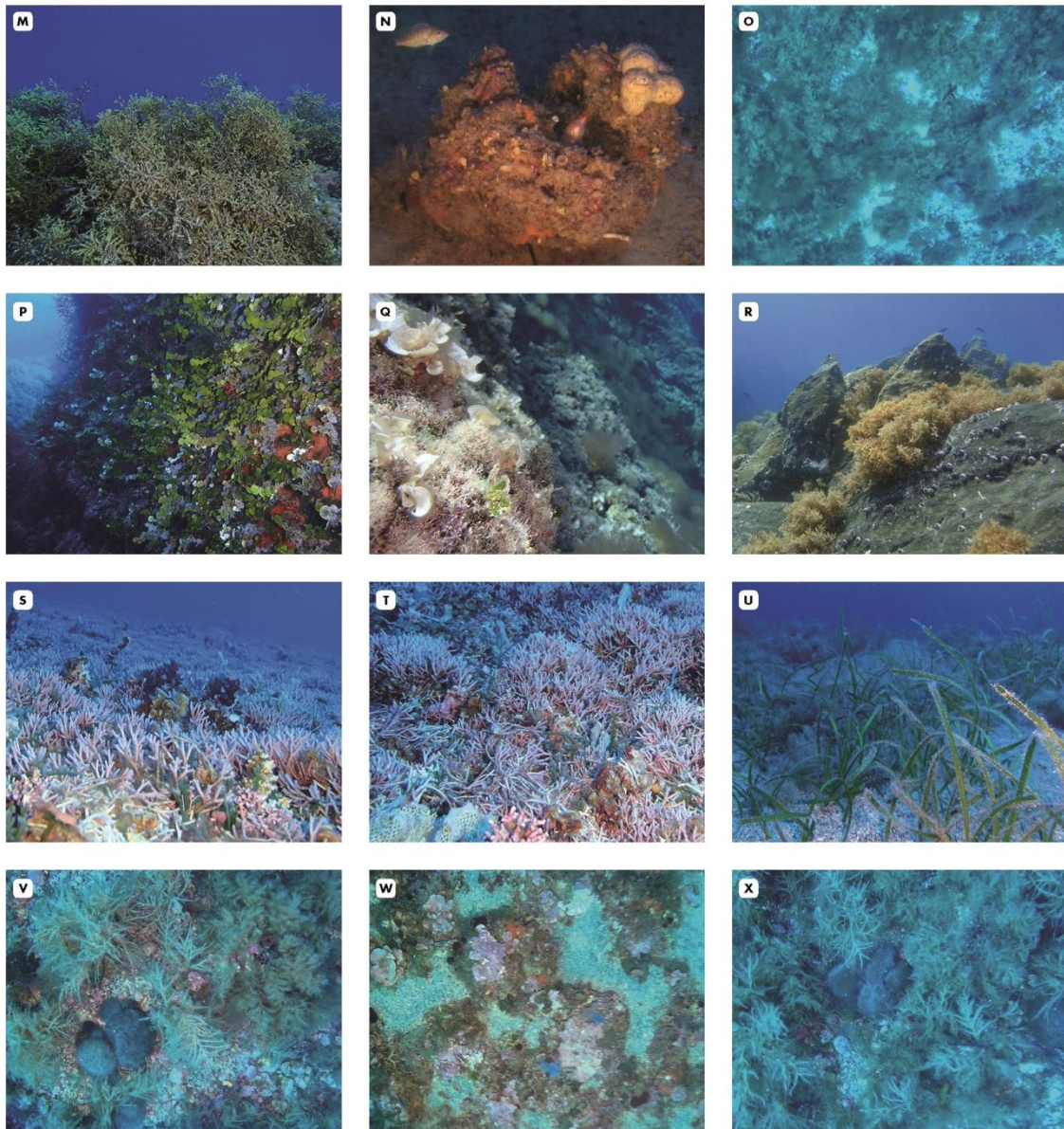


Figura 6. Continuación: (L, M) Hábitat 10: Roca circalitoral dominada por algas; (N) Hábitat 11: Roca no concrecionada dominada por invertebrados; (O) Hábitat 12: Roca infralitoral dominada por fucales; (P, Q) Hábitat 13: Roca infralitoral dominada por algas; (R) Hábitat 14: Blanquizal en roca superior; (S, T) Hábitat 15: Fondo de *Tricleocarpa fragilis*; (U) Hábitat 16: Praderas de *Cymodocea nodosa*; (V, W, X) Hábitat 17: Cantos y bloques dominados por algas.

5.2. Distribución y cartografiado de los hábitats bentónicos

Como paso anterior a la aplicación de los modelos de distribución, se seleccionaron las variables a utilizar. Tras explorar la relación entre las variables ambientales disponibles, se eliminó la rugosidad por estar correlacionada con la pendiente y se usaron la profundidad, reflectividad, nortitud, estitud, pendiente y BPI (*Benthic Position Index*) de escala gruesa y

fin. Adicionalmente se realizó un Análisis de Redundancia (RDA) para ver la relación entre variables ambientales y hábitats biogénicos identificados (figura 7).

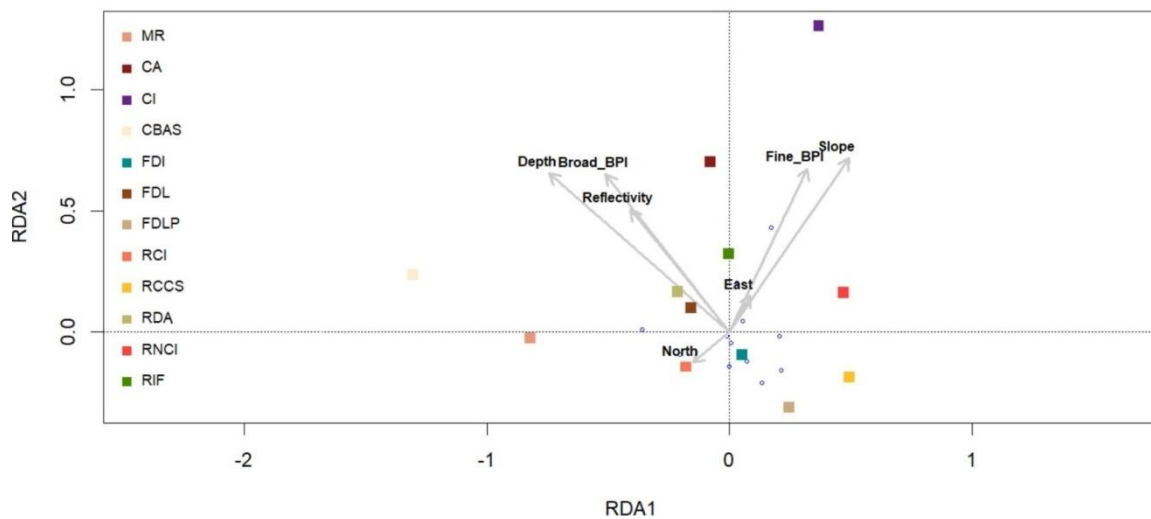


Figura 7. Diagrama bidimensional del Análisis de Redundancia (RDA) que muestra la ordenación de las muestras (puntos) y cómo se relacionan los hábitats (cuadrados) con las variables ambientales (flechas). Los hábitats son: MR- Fondo de maërl/rodolitos; CA- Coralígeno con dominancia de algas; CI- Coralígeno con dominancia de invertebrados; CBAS- Cascajo con *A. villosa* y *S. pedunculatus*; FDI- Fondo detrítico con invertebrados; FDL- Fondo detrítico con laminariales; FDLP- Fondo detrítico con *L. phalangium*; RCI- Fondo de maërl/rodolitos con invertebrados; RCCS- Roca cubierta por sedimento; RDA- Roca circalitoral con dominancia de algas; RNCI- Roca no concrecionada dominada por invertebrados; RIF- Roca infralitoral dominada por fucas.

La varianza de los hábitats explicada por las variables ambientales es del 12% de acuerdo con los resultados del análisis de la redundancia (figura 7). El primer y segundo eje del RDA contribuyeron un 4,96% y 3,87% a la relación entre hábitats y variables ambientales, respectivamente. La significancia estadística del modelo global RDA, así como de cada una de las variables incluidas y los ejes canónicos resultantes del análisis fue comprobada mediante un test ANOVA ($p < 0,001$). Esto indica que las variables ambientales son claramente responsables de parte de la variación de los hábitats. La clara significancia de las variables y los bajos valores explicativos pueden dar a entender que los hábitats no están fuertemente ligados a variables ambientales concretas, lo cual se puede explicar dada la elevada biodiversidad del entorno sumergido de las Islas Columbretes dónde diferentes comunidades se desarrollan bajo unas condiciones ambientales similares.

El RDA muestra la mayoría de los puntos de muestreo en una posición central (círculos azul claro sin relleno, figura 7) lo cual significa que comparten un espacio ambiental. Esto se puede relacionar con la resolución a la que se ha trabajado así como con la baja variabilidad ambiental que hay en un área de estudio de estas dimensiones. Por otra parte, las variables ambientales profundidad, pendiente, BPI y reflectividad están fuertemente correlacionadas con el eje 1, estando la pendiente y el BPI fino positivamente correlacionadas. Por el contrario, la profundidad, reflectividad y BPI grueso, muestran correlación negativa. Todas estas variables muestran también una correlación positiva con el eje 2. La nortitud y estitud

fueron las variables que menos aportan a la construcción de los ejes con poco poder de discriminación.

El modelado y el posterior mapeado de los hábitats biogénicos del entorno sumergido de las Islas Columbretes han dado lugar a su distribución. Los modelos han sido evaluados como “buenos” y “excelentes” según los valores obtenidos mediante el AUC y “de intermedios a buenos” de acuerdo con la métrica kappa, a excepción de los hábitats “Coralígeno con dominancia de algas” y “Roca circalitoral dominada por algas” con valores ligeramente inferiores según el coeficiente de kappa. La tabla 3 muestra los mejores modelos seleccionados y las variables significativas para cada uno de ellos.

Tabla 3. Modelos GAM seleccionados para cada hábitat dónde Ph: es la probabilidad de presencia de cada hábitat i modelado; β_i : constante; s: función isotrópica de suavizado; ϵ_i : término de error. Los valores de AUC y de kappa se muestran como la media \pm la desviación estándar ($x \pm S.D.$). Los hábitats son: CA- Coralígeno con dominancia de algas; CI- Coralígeno con dominancia de invertebrados; CBAS- Cascajo con *A. villosa* y *S. pedunculatus*; MR- Fondo de maërl/rodolitos; RCI- Fondo de maërl /rodolitos con invertebrados; FDI- Fondo detrítico con invertebrados; FDL- Fondo detrítico con laminariales; FDLP- Fondo detrítico con *L. phalangium*; RCCS- Roca cubierta por sedimento; RDA- Roca circalitoral con dominancia de algas; RNCI- Roca no concrecionada dominada por invertebrados; RIF- Roca infralitoral dominada por fucas.

Habitat ID	GAM Formula	Varianza Explicada	AUC	Kappa
CA	$Ph_{CA} = \beta_1 + s(\text{profundidad}) + s(\text{pendiente}) + s(\text{este}) + s(\text{norte}) + s(\text{BPI_Grueso}) + s(\text{BPI_Fino}) + s(\text{reflectividad}) + \epsilon_1$	25%	0.86 ± 0.01	0.32 ± 0.02
CI	$Ph_{CI} = \beta_2 + s(\text{profundidad}) + s(\text{pendiente}) + s(\text{este}) + s(\text{norte}) + s(\text{BPI_Grueso}) + s(\text{BPI_Fino}) + s(\text{reflectividad}) + \epsilon_2$	34.60%	0.89 ± 0.01	0.47 ± 0.03
CBAS	$Ph_{CBAS} = \beta_3 + s(\text{profundidad}) + s(\text{pendiente}) + s(\text{este}) + s(\text{norte}) + s(\text{BPI_Grueso}) + s(\text{BPI_Fino}) + s(\text{reflectividad}) + \epsilon_3$	47.50%	0.94 ± 0.00	0.56 ± 0.01
MR	$Ph_{MR} = \beta_4 + s(\text{profundidad}) + s(\text{pendiente}) + s(\text{este}) + s(\text{norte}) + s(\text{BPI_Grueso}) + s(\text{BPI_Fino}) + s(\text{reflectividad}) + \epsilon_4$	35.10%	0.90 ± 0.01	0.45 ± 0.02
RCI	$Ph_{RCI} = \beta_5 + s(\text{profundidad}) + s(\text{pendiente}) + s(\text{este}) + s(\text{norte}) + s(\text{BPI_Grueso}) + s(\text{BPI_Fino}) + s(\text{reflectividad}) + \epsilon_5$	34.40%	0.88 ± 0.00	0.53 ± 0.06
FDL	$Ph_{FDL} = \beta_6 + s(\text{profundidad}) + s(\text{pendiente}) + s(\text{este}) + s(\text{norte}) + s(\text{BPI_Grueso}) + s(\text{BPI_Fino}) + s(\text{reflectividad}) + \epsilon_6$	42.70%	0.95 ± 0.01	0.46 ± 0.03
FDI	$Ph_{FDI} = \beta_7 + s(\text{profundidad}) + s(\text{este}) + s(\text{norte}) + s(\text{BPI_Grueso}) + s(\text{BPI_Fino}) + s(\text{reflectividad}) + \epsilon_7$	58%	0.98 ± 0.01	0.46 ± 0.06
FDLP	$Ph_{FDLP} = \beta_8 + s(\text{profundidad}) + s(\text{este}) + s(\text{norte}) + s(\text{BPI_Grueso}) + s(\text{BPI_Fino}) + s(\text{reflectividad}) + \epsilon_8$	57.50%	0.97 ± 0.00	0.62 ± 0.04
RCCS	$Ph_{RCCS} = \beta_9 + s(\text{profundidad}) + s(\text{pendiente}) + s(\text{este}) + s(\text{norte}) + s(\text{BPI_Grueso}) + s(\text{BPI_Fino}) + s(\text{reflectividad}) + \epsilon_9$	49.90%	0.96 ± 0.00	0.49 ± 0.04
RDA	$Ph_{RDA} = \beta_{10} + s(\text{profundidad}) + s(\text{pendiente}) + s(\text{este}) + s(\text{norte}) + s(\text{BPI_Grueso}) + s(\text{BPI_Fino}) + s(\text{reflectividad}) + \epsilon_{10}$	33.90%	0.92 ± 0.01	0.35 ± 0.06
RNCI	$Ph_{RNCI} = \beta_{11} + s(\text{profundidad}) + s(\text{pendiente}) + s(\text{este}) + s(\text{norte}) + s(\text{BPI_Grueso}) + s(\text{BPI_Fino}) + s(\text{reflectividad}) + \epsilon_{11}$	64.20%	0.98 ± 0.00	0.66 ± 0.03
RIF	$Ph_{RIF} = \beta_{12} + s(\text{profundidad}) + s(\text{pendiente}) + s(\text{este}) + s(\text{norte}) + s(\text{BPI_Grueso}) + s(\text{BPI_Fino}) + s(\text{reflectividad}) + \epsilon_{12}$	74.40%	0.99 ± 0.00	0.75 ± 0.05

Estos 12 modelos se utilizaron para la creación de los mapas predictivos de los 12 hábitats biogénicos (figura 8). Todas las variables ambientales fueron utilizadas en los modelos a excepción de los utilizados para la comunidad de fondos detríticos con invertebrados y fondos detríticos con *L. phalangium*, en los que la pendiente fue descartada por no ser significativa. Con la excepción de estos dos hábitats, todas las variables seleccionadas han demostrado ser importantes para definir la distribución de los hábitats identificados en el área de estudio.

Los mapas permiten observar patrones de distribución distintos entre los diferentes hábitats. Los hábitats rocosos como las comunidades de coralígeno (CA, CI) muestran una distribución ligada a los bajos y al entorno de las islas, ambos hábitats se solapan debido a que se desarrollan en zonas similares y otras variables ambientales no incluidas en este informe pueden determinar la dominancia de uno sobre otro. Dos comunidades de roca tienen un patrón de distribución aún más específico, el hábitat de roca no concrecionada dominada por invertebrados (RNCI), que se encuentra únicamente en las zonas de mayor pendiente de los bajos, y el hábitat de roca infralitoral con algas fucas (RIF), presente en la zona más somera entorno al Carallot, al sur del archipiélago. El hábitat de roca circalitoral cubierta por sedimento (RCCS) ocupa una zona diferente al resto de hábitats rocosos

situándose en zonas que no corresponden al entorno de las islas o a los bajos característicos del LIC sino a una mayor profundidad, sobre todo al norte del área protegida en la zona conocida como “Colada de Lava Norte”, así como pequeños afloramientos en otros sectores del LIC.

Los hábitats sedimentarios se distribuyen de forma más extensa y ocupan las zonas más llanas del área de estudio, los hábitats de rodolitos (MR, RCI) y cascajo (CBAS) se ubican en zonas más someras, mientras que los hábitats sedimentarios detríticos (FDL, FDI, FDLP) ocupan zonas de mayor profundidad. La superposición entre los hábitats detríticos con invertebrados y con *L. phalangium* es evidente dado que el segundo podría incluirse en el primero y ambas comunidades se desarrollan en un mismo ambiente. No obstante, se decidió modelarlos de manera separada dada la predominancia de los fondos de *L. phalangium* y la cantidad de individuos de la especie en estas comunidades, formando praderas, en comparación con otras especies de invertebrados identificados en otras zonas del entorno de las Islas Columbretes. El resultado de la amplia distribución que muestra el hábitat de fondos detríticos con dominancia de *L. phalangium* puede ser causado por la falta de variables ambientales, como por ejemplo las corrientes (González-García et al., 2020).

Cabe tener en cuenta por último, que algunas de las predicciones, sobretudo en zonas profundas, muestran patrones de distribución en bandas claramente ligados a errores derivados de los instrumentos utilizados para la recolección de variables ambientales.

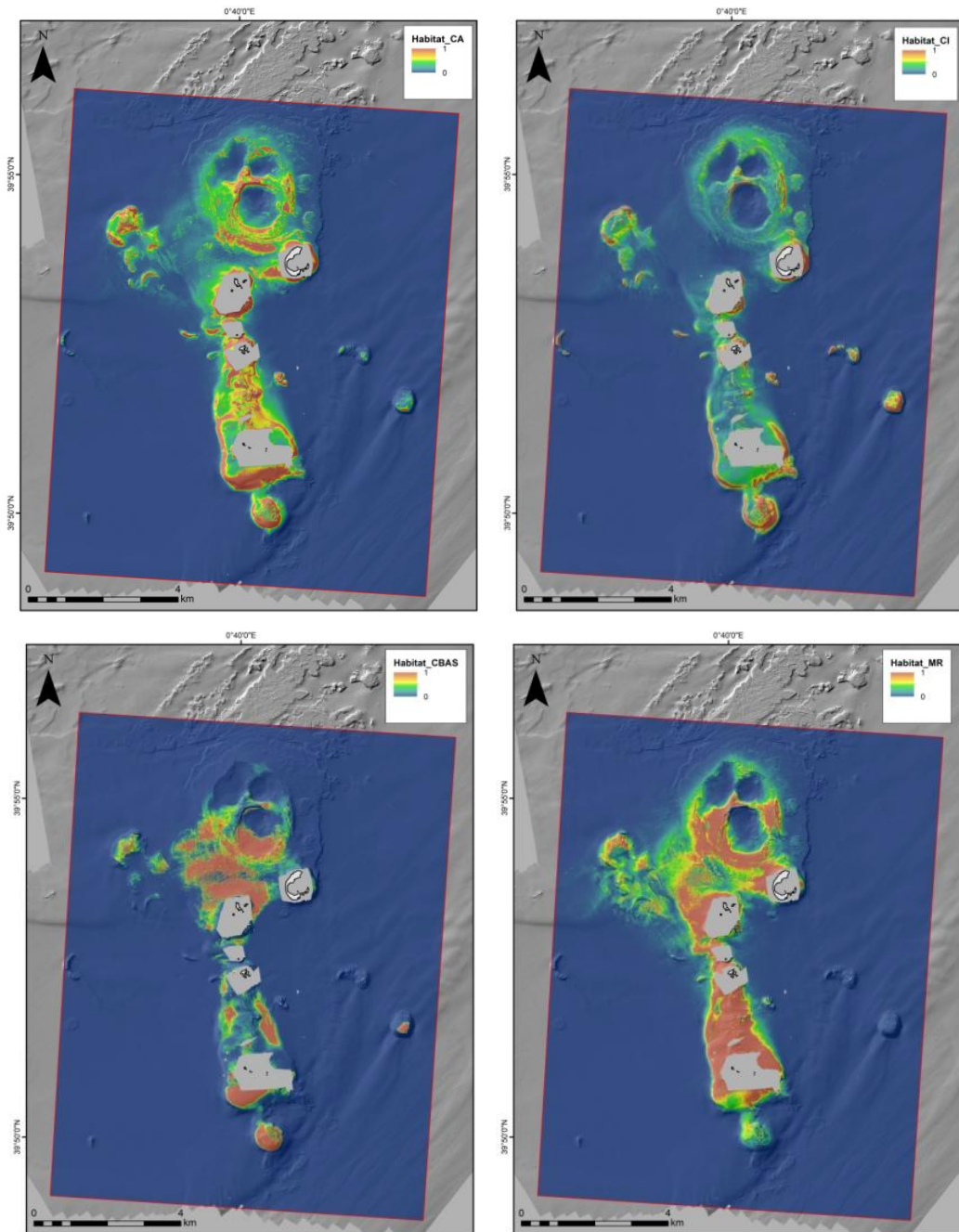


Figura 8. Mapas de probabilidad de presencia de cada hábitat bentónico modelado. Los hábitats son: CA- Coralígeno con dominancia de algas; CI- Coralígeno con dominancia de invertebrados; CBAS- Cascajo con de *A. villosa* y *S. pedunculatus*; MR- Fondo de maërl/rodolitos.

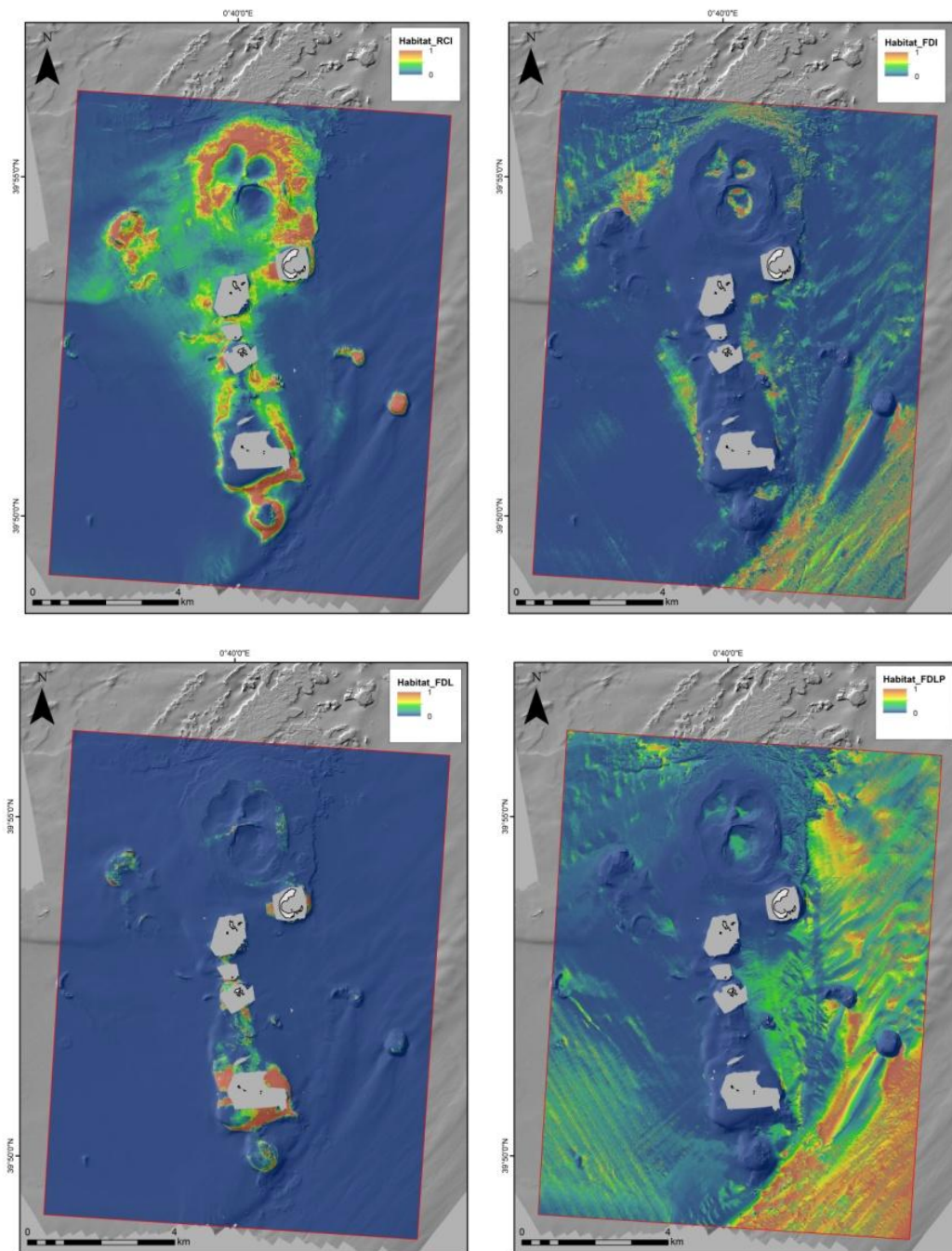


Figura 8. Continuación: Mapas de probabilidad de presencia de cada hábitat bentónico modelado. Los hábitats son: RCI- Fondo de maërl/rodolitos con invertebrados; FDI- Fondo detrítico con invertebrados; FDL- Fondo detrítico con laminariales; FDLP- Fondo detrítico con *L. phalangium*.

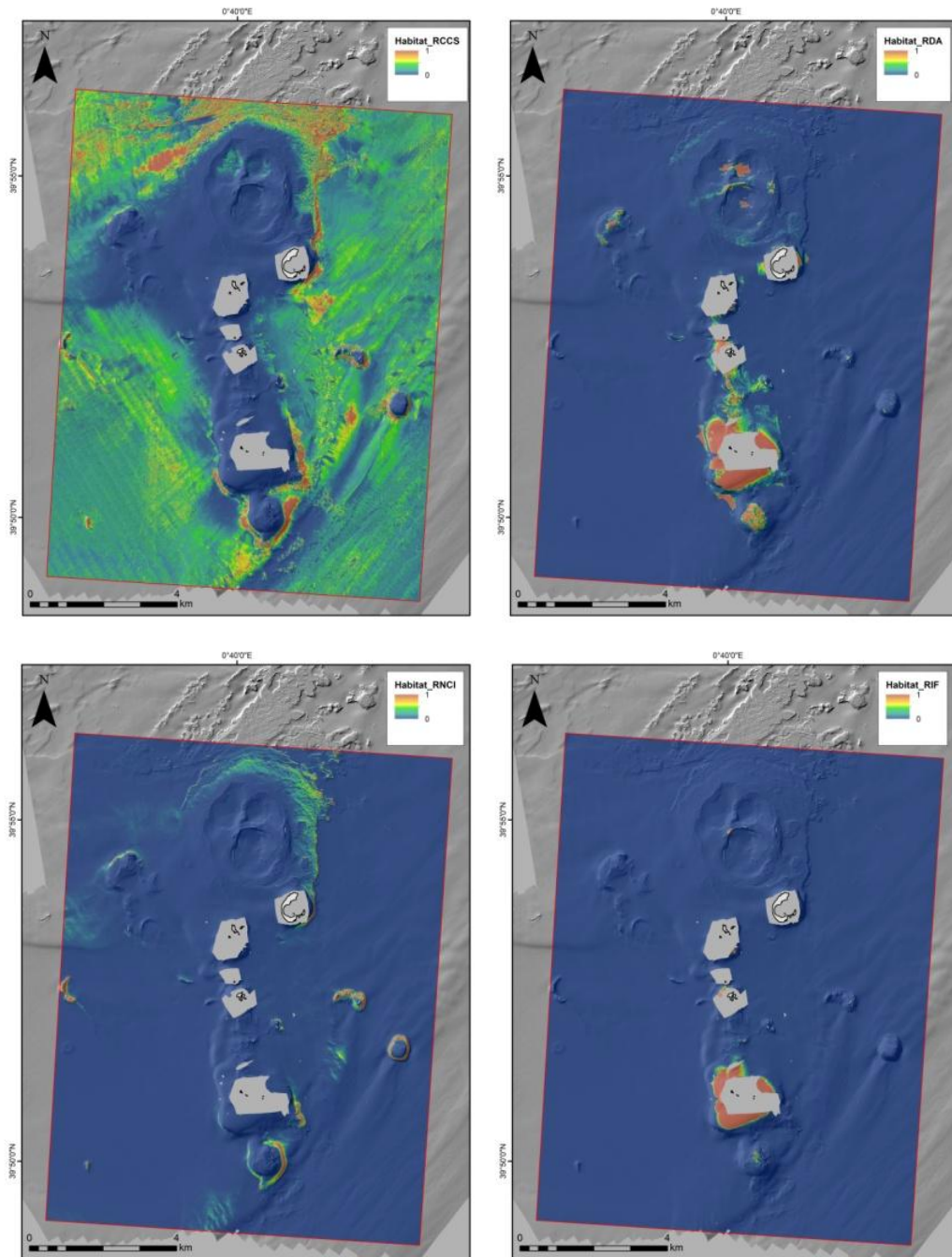


Figura 8. Continuación: Mapas de probabilidad de presencia de cada hábitat bentónico modelado. Los hábitats son: RCCS- Roca cubierta por sedimento; RDA- Roca circalitoral con dominancia de algas; RNCI- Roca no concrecionada dominada por invertebrados; RIF- Roca infralitoral dominada por fucas.

La zonificación ligada a la naturaleza del fondo y a la profundidad es común en zonas relativamente someras cerca de la costa continental o insular como es el caso de las Islas Columbretes.

De cara a la gestión del espacio protegido, se ofrecen dos mapas (figura 9) con la integración de todos los hábitats modelados bajo diferentes escenarios (correspondientes a los dos umbrales utilizados en los modelos de predicción). El hábitat de "Roca infralitoral con dominancia de algas (RIDA)" no fue modelado dada la escasez de puntos de presencia (8), aunque se muestran en el mapa final como entidades puntuales.

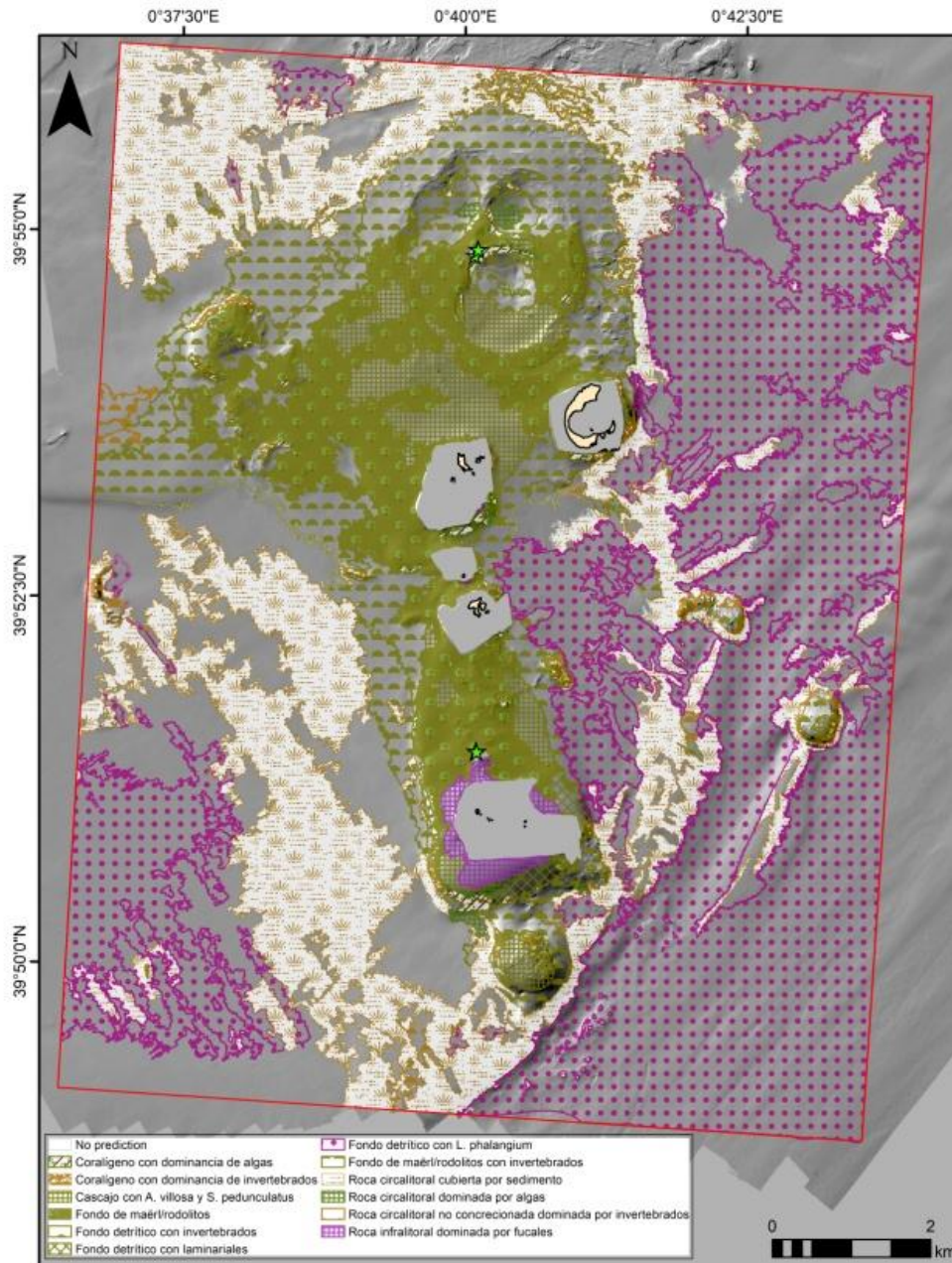


Figura 9. Mapas de hábitats bentónicos en el entorno sumergido de las Islas Columbretes obtenidos al integrar todos los hábitats de la zona con el umbral de prevalencia. Las estrellas verdes representan el hábitat de Roca infralitoral dominado por algas.

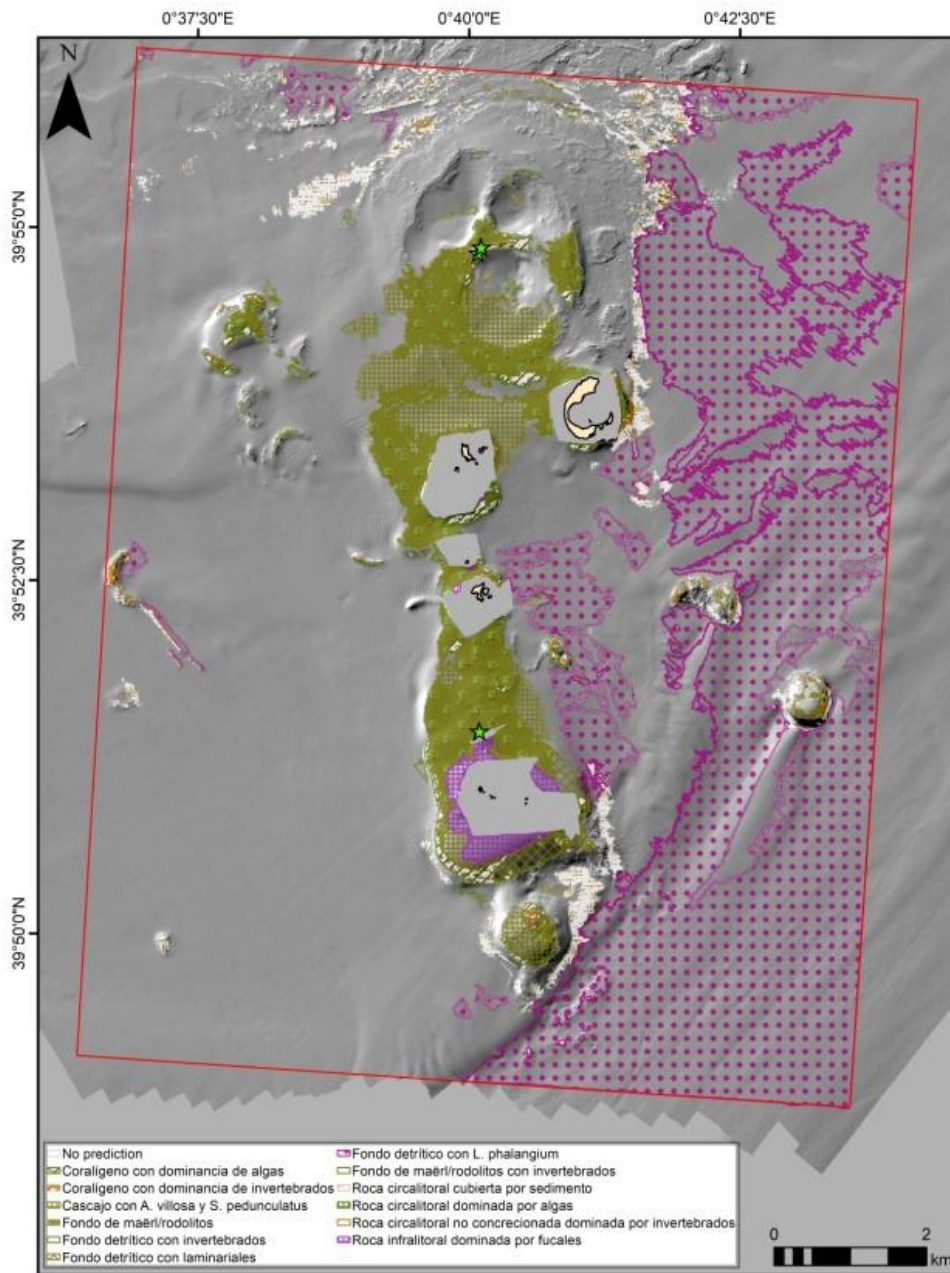


Figura 9. Continuación: Mapas de hábitats bentónicos en el entorno sumergido de las Islas Columbretes obtenidos al integrar todos los hábitats de la zona de estudio con el umbral de kappa. Las estrellas verdes representan el hábitat de Roca infralitoral dominado por algas.

Para mostrar una cartografía completa, las zonas en las que los hábitats modelados no tienen probabilidad de presencia suficientemente elevada para cada umbral fueron clasificadas según su hábitat no biogénico, en el caso de las Islas Columbretes (figura 10), las campañas de INTEMARES-COLCARTO_0220 y INTEMARES-COLCARTO_0221 identificaron el sustrato arenoso como el predominante en la mayor parte del área de estudio, las zonas deprimidas al norte de la Isla Grande mostraron también elevada presencia de sedimentos más finos como fango, limo y arcilla (figura 10).

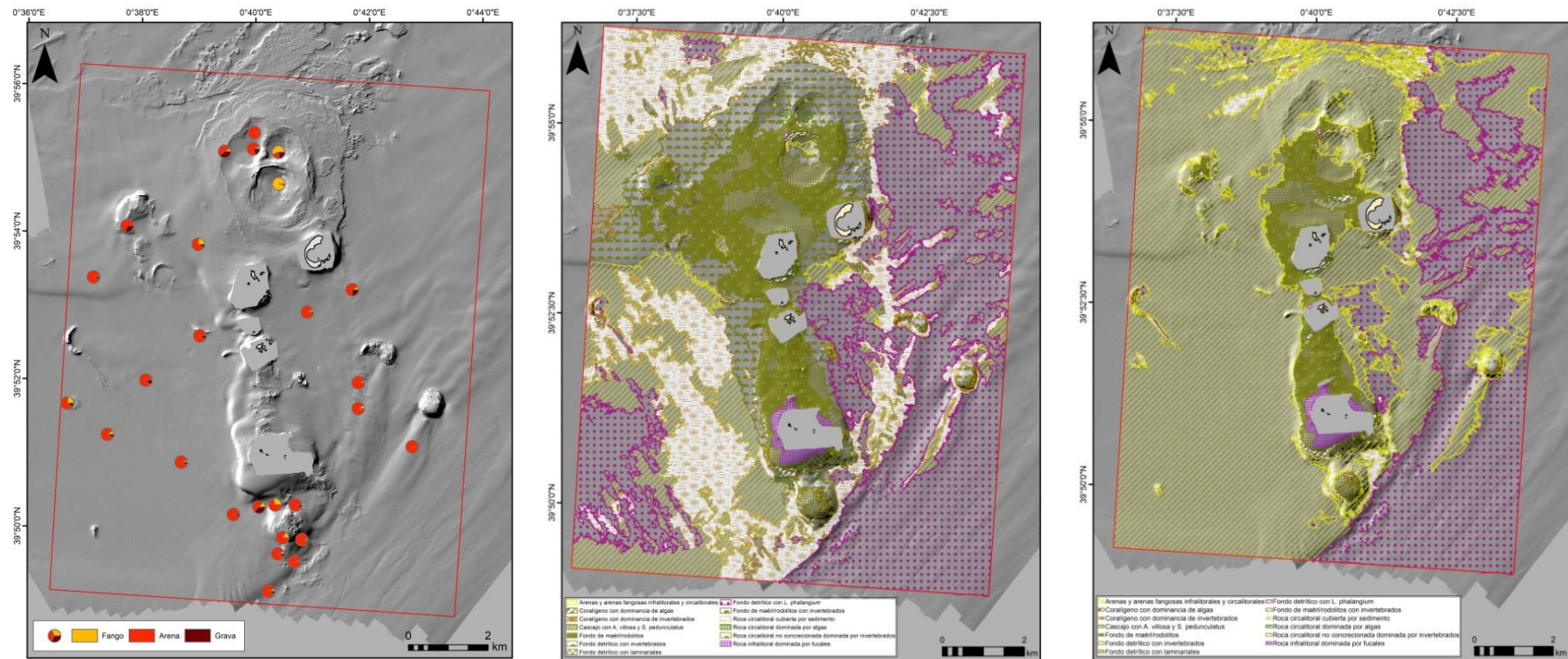


Figura 10. De izquierda a derecha, el primer mapa muestra el predominio de la arena en las muestras de granulometría obtenidas en el entorno sumergido del archipiélago. El segundo y tercer mapa muestran la cartografía completa de los hábitats bentónicos biogénicos y no biogénicos modelados en el entorno sumergido de las Islas Columbretes, el escenario de prevalencia izquierda y el kappa a la derecha.

A continuación, se añadieron los hábitats de las zonas someras para completar el cartografiado del entorno sumergido protegido. Dado que esta parte de la cartografía no está sujeta a ningún umbral no varía en las diferentes representaciones. Para homogeneizar la representación de los hábitats, todos han sido representados en formato vectorial para esta cartografía (figura 11).

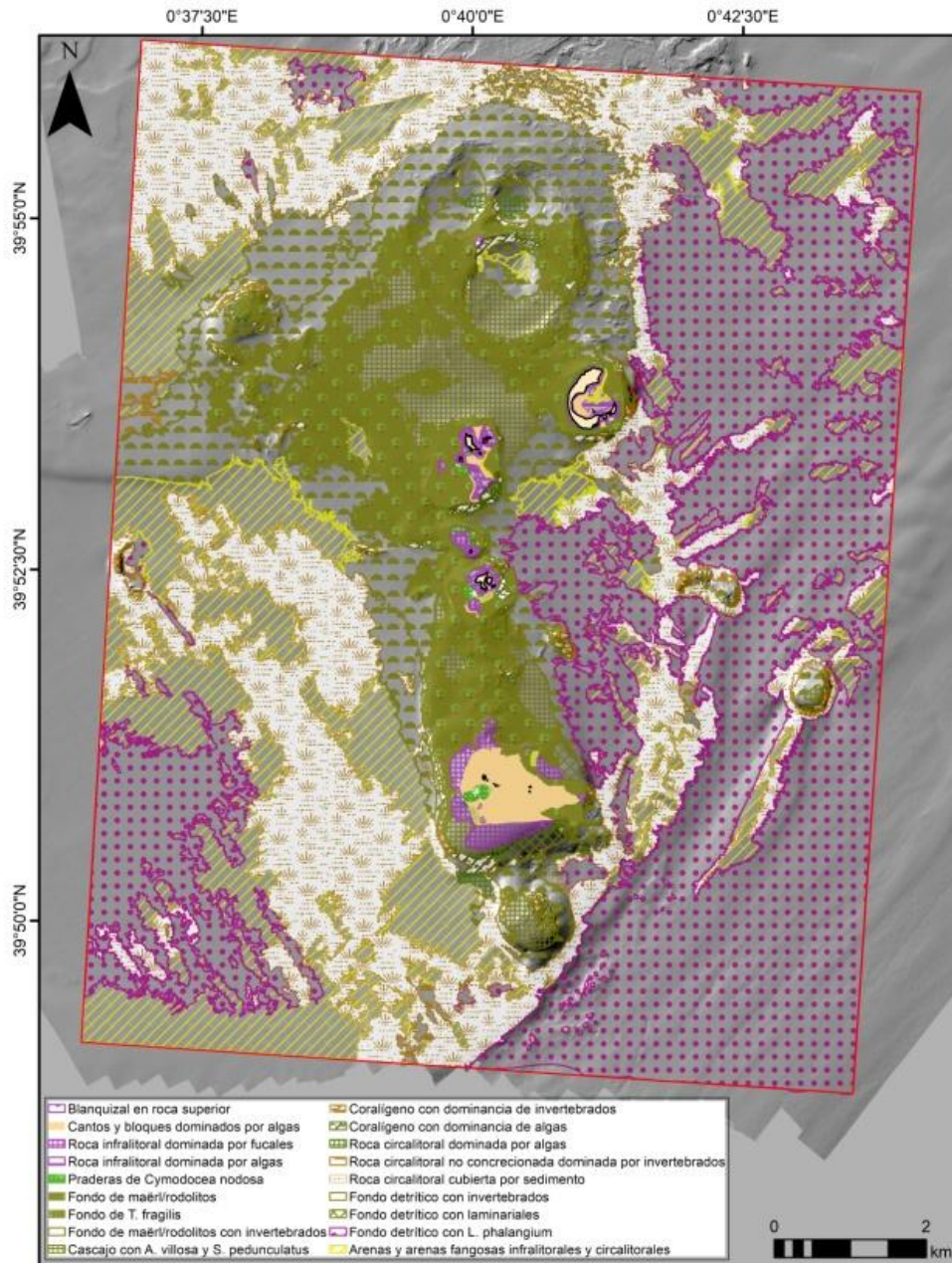


Figura 11. Cartografía completa de los hábitats bentónicos biogénicos y no biogénicos en el entorno sumergido de las Islas Columbretes usando el escenario de prevalencia sumado a la cartografía de hábitats someros.

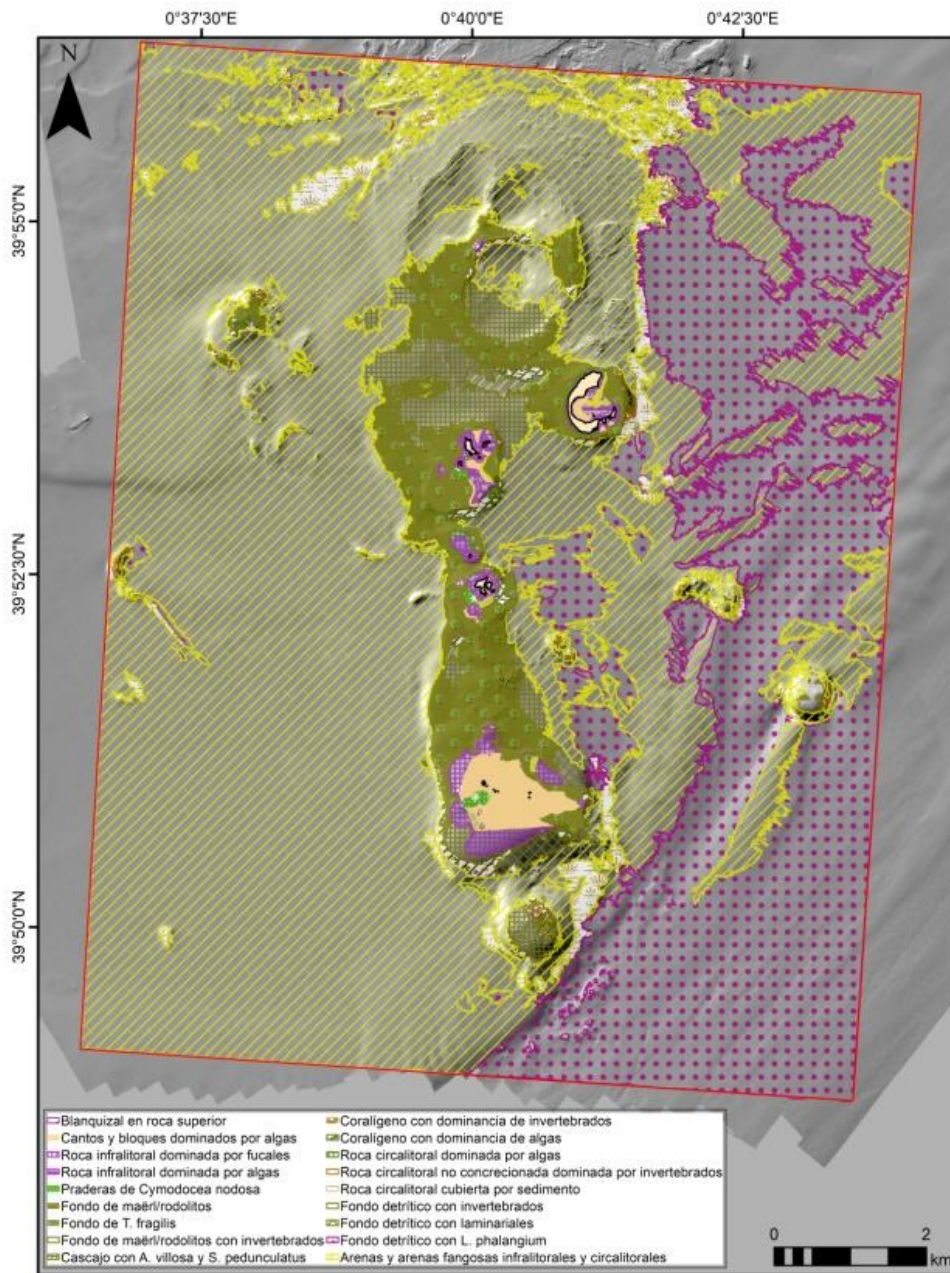


Figura 11. Continuación: Cartografía completa de los hábitats bentónicos biogénicos y no biogénicos en el entorno sumergido de las Islas Columbretes usando el escenario kappa sumado a la cartografía de hábitats someros.

Por último, se realizó un mapa adicional que combina los resultados de los dos umbrales con el conocimiento del equipo investigador participante en el proyecto de cartografiado (figura 12).

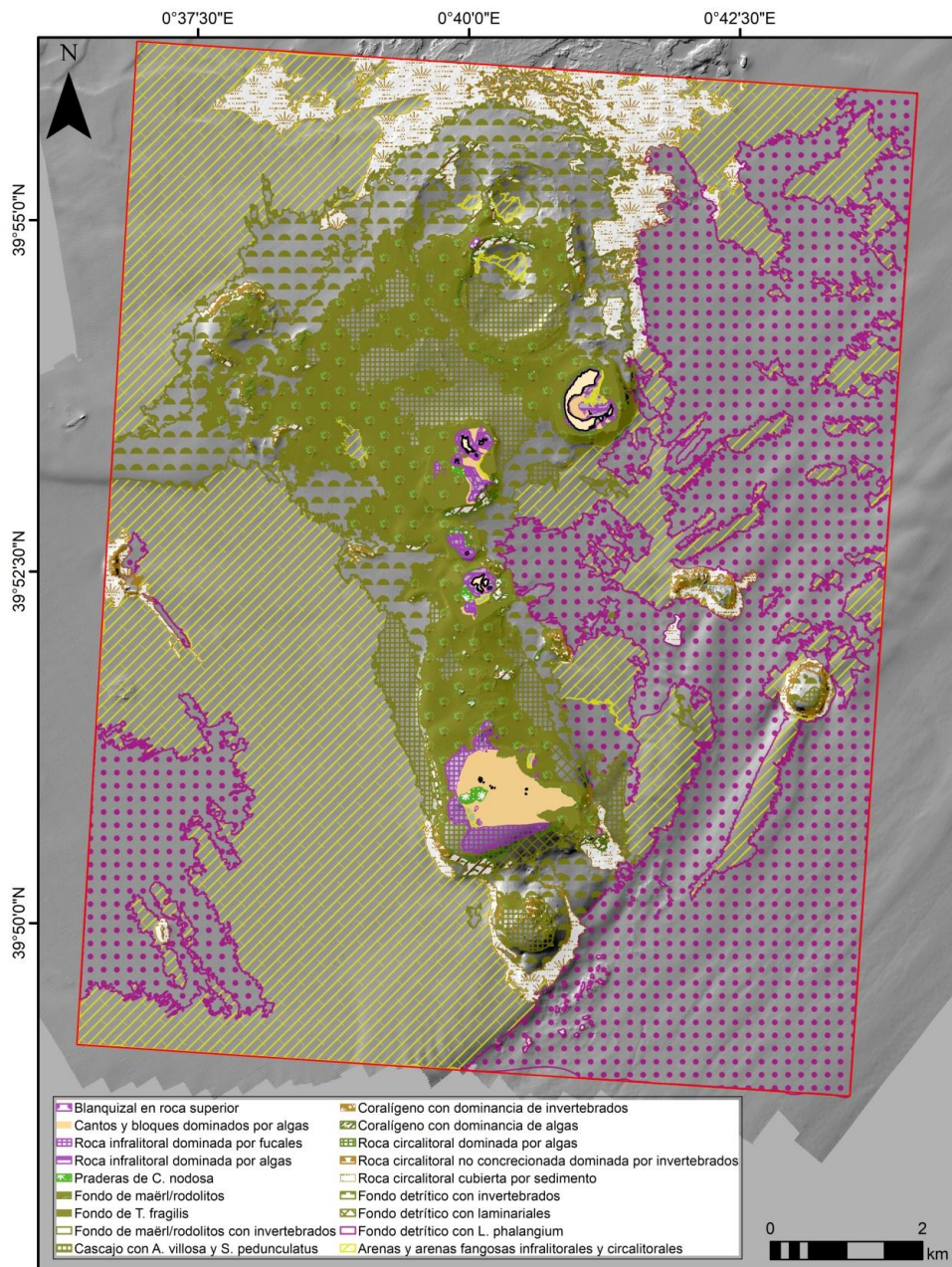


Figura 12. Cartografía completa de los hábitats bentónicos biogénicos y no biogénicos en el entorno sumergido de las Islas Columbretes, realizada a partir de los modelos de distribución y el conocimiento del personal científico involucrado en el proyecto.

5.3. Hábitats vulnerables considerados en normativas y convenciones internacionales

La tabla 4 muestra las correspondencias entre los hábitats identificados en el entorno sumergido de las Islas Columbretes y las principales clasificaciones de hábitats bentónicos a diferentes escalas espaciales.

Clasificación EUNIS

Las pasarelas entre los hábitats bentónicos identificados y la clasificación de EUNIS se ha realizado al máximo nivel posible ofreciendo múltiples opciones cuando varias de las facies del nivel más específico de EUNIS se corresponden de manera parcial con el hábitat representado en la cartografía bionómica realizada. EUNIS mejora la especificidad y detalle en hábitats someros y, dado que el área de estudio contempla hábitats infralitorales y circalitorales, esto ha permitido facilitar la relación entre las dos clasificaciones. Se han contemplado las pasarelas de EUNIS de 2007 y de 2017, cuya nomenclatura y codificación varían ligeramente.

Inventario Español de Hábitats y Especies Marinos (“LPRE- Lista Patrón de Referencia Española”)

Todos los hábitats identificados en el entorno sumergido de las Islas Columbretes tienen correspondencia con el inventario español. Este catálogo fue utilizado como guía para la definición de las comunidades.

Directiva Hábitats

De todos los hábitats identificados, se han caracterizado hábitats vulnerables de acuerdo con el Anexo I de la Directiva Hábitats de la UE (Directiva 92/53/CEE). Estas comunidades son consideradas vulnerables y se deben crear Zonas de Especial Conservación (ZEC) para su preservación.

Todos los hábitats que se ubican sobre sustrato rocoso cartografiados mediante modelos de distribución se incluyen en la categoría de “Arrecifes” (1170). Respecto a las comunidades que se desarrollan sobre fondos sedimentarios, las comunidades de fondos de maërl/rodolitos (incluyendo los fondos de rodolitos con dominancia de invertebrados y los fondos de *T. fragilis*), los fondos de cascajo biogénico con *A. villosa* y *S. pedunculatus*, las praderas de *C. nodosa* y los fondos detríticos dominados por *L. phalangium* se incluyen en la categoría de “Bancos de arena cubiertos permanentemente por agua marina poco profunda” (1110) por consenso del comité científico del proyecto LIFE IP INTEMARES.

Asimismo, se proponen los hábitats de carácter detrítico con dominancia de invertebrados y con presencia del alga *L. rodriguezii* como comunidades a ser consideradas para su inclusión en el hábitat 1110 dado que se consideran vulnerables.

Convenio de Barcelona

Todos los hábitats identificados en el entorno sumergido del archipiélago de las Islas Columbretes pudieron encuadrarse en hábitats listados en el Convenio de Barcelona, si bien en algunos casos la pasarela muestra un hábitat de un nivel de menor especificidad que otros.

IUCN

Se consultaron las pasarelas entre EUNIS y la Lista Roja de la IUCN para añadir las correspondencias entre ambas clasificaciones para cada uno de los hábitats identificados en el estudio.

Tabla 4. Pasarelas entre los hábitats bentónicos identificados en el LIC del entorno sumergido de las Islas Columbretes.

HÁBITAT BENTÓNICO PRESENTE	CLASIFICACIÓN EUNIS	CLASIFICACIÓN EUNIS (2022)	DIRECTIVA HÁBITATS (ANEXO I)	CONVENIO DE BARCELONA	INVENTARIO ESPAÑOL DE HÁBITATS MARINOS	IUCN
Coralígeno con dominancia de algas (CA)	A4.26 (A4.267) Mediterranean coralligenous communities moderately exposed to hydrodynamic action (Association with <i>Lithophyllum stictaeforme</i> and <i>Halimeda tuna</i>)	MC151 (MC1517) Coralligenous biocenosis (Association with <i>Lithophyllum stictaeforme</i> and <i>Halimeda tuna</i>)	1170 (Reefs)	IV.3.1 Coralligenous biocenosis	030020104 (0302010401) Coralígeno con dominancia de algas, sin fucales ni laminariales con <i>Halimeda tuna</i> / <i>Mesophyllum alternans</i>	MEDA4.23 Communities of Mediterranean soft circalittoral rock
Coralígeno con dominancia de invertebrados (CI)	A4.26 (A4.26A, A4.26B A4.269) Mediterranean coralligenous communities moderately exposed to hydrodynamic action (Facies with <i>Eunicella singularis</i> , Facies with <i>Paramuricea clavata</i> , Facies with <i>Eunicella cavolinii</i>)	MC151 (MC1519, MC151A, MC151B) Coralligenous biocenosis (Facies with <i>Eunicella cavolinii</i> , Facies with <i>Eunicella singularis</i> , Facies with <i>Paramuricea clavata</i>)	1170 (Reefs)	IV.3.1 (IV.3.1.11, IV.3.1.11., IV.3.1.13.) Coralligenous biocenosis (Facies with <i>Eunicella cavolinii</i> , Facies with <i>Eunicella singularis</i> , Facies with <i>Paramuricea clavata</i>)	03020225 (0302022501) Coralígeno con dominancia de invertebrados (Coralígeno con <i>Paramuricea clavata</i>)	MEDA4.23 Communities of Mediterranean soft circalittoral rock
Cascajo con <i>A. villosa</i> y <i>S. pedunculatus</i> (CBAS)	A5.52 (A5.52I) Kelp and seaweed communities on sublittoral sediment (Association with <i>Arthrocladia villosa</i>)	MC351 (MC3514) Biocenosis of Mediterranean coastal detritic bottoms (without rhodoliths) (Association with <i>Arthrocladia villosa</i>)	1110 (Sandbanks)	IV.2.2. (IV.2.2.4.) Biocenosis of the coastal detritic bottom (Association with <i>Arthrocladia villosa</i>)	03040512 Fondos de cascajo infralitorales y circalitorales con <i>Arthrocladia villosa</i> y <i>Sporochnus pedunculatus</i>	MEDA5.52A Algal dominated communities in the Mediterranean circalittoral sediment
Fondo de maërl/rodolitos (MR)	A5.51 (A5.515, A5.516) Maërl beds (Association with rhodoliths in coarse sands and fine gravels under the influence of bottom currents, Association with rhodoliths on coastal detritic bottoms) A5.52 (A5.52H, A5.52J) Kelp and seaweed communities on sublittoral sediment (Association with <i>Peyssonnelia rosa-marina</i> , Association with <i>Osmundaria volubilis</i>)	MB352 (MB3521, MB3522) Biocenosis of Mediterranean coarse sands and fine gravels under the influence of bottom currents (Association with rhodoliths in coarse sands and fine gravels under the influence of bottom currents, Association with maërl (=Association with <i>Lithothamnion corallioides</i> and <i>Phymatholithon calcareum</i>) on Mediterranean coarse sands and gravel MC352 (MC3521, MC3522, MC3523) Assemblages of Mediterranean coastal detritic bottoms biocenosis with rhodoliths (Association with rhodoliths on coastal detritic bottoms, Association with <i>Peyssonnelia rosa-marina</i> , Association with maërl	1110 (Sandbanks)	III.3.2. (III.3.2.1., III.3.2.2.) Biocenosis of coarse sands and fine gravels under the influence of bottom currents (Maërl facies (=Association with <i>Lithothamnion corallioides</i> and <i>Phymatholithon calcareum</i>), Association with rhodoliths) IV.2.2. (IV.2.2.1., IV.2.2.3., IV.2.2.5.) Biocenosis of the coastal detritic bottom (Association with rhodoliths, Association with <i>Peyssonnelia rosa-marina</i> , Association with <i>Osmundaria volubilis</i>)	03040506 (0304050601, 0304050603, 0304050604) Fondos de maërl/rodolitos (Fondos de maërl/rodolitos con dominancia de <i>Phymatholithon calcareum</i> / <i>Lithothamnion corallioides</i> , Fondos de maërl/rodolitos con dominancia de <i>Spongites fruticulosa</i> , Fondos de maërl/rodolitos con dominancia de <i>Peyssonnelia</i> spp.)	MEDA5.51 Rhodolith beds in the Mediterranean

		(<i>Lithothamnion corallioides</i> and <i>Phymatholithon calcareum</i>) on coastal detritic bottoms				
Fondo detrítico con laminariales (FDL)	A5.52 (A5.52L) Kelp and seaweed communities on sublittoral sediment (Association with <i>Laminaria rodriguezii</i>)	MC351 (MC3517) Biocenosis of Mediterranean coastal detritic bottoms (without rhodoliths) (Association with <i>Laminaria rodriguezii</i>)	No correspondencia Propuesta 1110	IV.2.2. (IV.2.2.7.) Biocenosis of the coastal detritic bottom (Association with <i>Laminaria rodriguezii</i>)	03040508 Fondos detríticos biógenos infralitorales y circalitorales con <i>Laminaria rodriguezii</i> 03040509 Fondos detríticos biógenos infralitorales y circalitorales con <i>Laminaria ocholeuca</i> , <i>Saccorhiza polyschides</i> , <i>Phyllariopsis</i> spp.	MEDA5.52A Algal dominated communities in the Mediterranean circalittoral sediment
Fondo detrítico con invertebrados (FDI)	A5.46 Mediterranean animal communities of coastal detritic bottoms	MC351 Biocenosis of Mediterranean coastal detritic bottoms (without rhodoliths)	No correspondencia Propuesta 1110	IV.2.2. Biocenosis of the coastal detritic bottom	03040514 (0304051401, 0304051404) Fondos detríticos infralitorales y circalitorales dominados por invertebrados (Fondos detríticos infralitorales y circalitorales dominados por invertebrados con pennatuláceos (<i>Pennatula</i> , <i>Pteroides</i> , <i>Virgularia</i>), Fondos detríticos infralitorales y circalitorales dominados por invertebrados con poliquetos sabélicos (<i>Megalomma vesiculosum</i> , <i>Sabella</i> , sp., <i>Bispira volutacornis</i>))	MEDA5.46 Mediterranean animal communities of coastal detritic bottoms
Fondo detrítico con <i>L. phalangium</i> (FDLP)	A5.47 (A5.472) Mediterranean communities of shelf-edge detritic bottoms (Facies with <i>Leptometra phalangium</i>)	MD451 (MD4512) Biocenosis of Mediterranean open-sea detritic bottoms on shelf-edge (Facies with <i>Leptometra phalangium</i>)	1110 (Sandbanks)	IV.2.3. (IV.2.3.2.) Biocenosis of the shelf-edge detritic bottom (Facies with <i>Leptometra phalangium</i>)	04020311 (0402031106) Fondos detríticos batiales (Fondos detríticos batiales con campos de <i>Leptometra phalangium</i>) 040204 (04020403) Fondos batiales de reborde de plataforma (Campos de <i>Leptometra phalangium</i> en fondos batiales de reborde de plataforma)	MEDA5.47 Communities of Mediterranean lower circalittoral (shelf-edge) detritic bottoms or open-sea detritic bottoms
Fondo de maërl/rodolitos con invertebrados (RCI)	A5.51 (A5.515, A5.516) Maërl beds (Association with rhodoliths in coarse sands and fine gravels under the influence of bottom currents, Association with rhodoliths on coastal detritic bottoms) A5.52 (A5.52H, A5.52J) Kelp and seaweed communities on sublittoral sediment (Association with <i>Peyssonnelia rosa-marina</i> , Association with <i>Osmundaria volubilis</i>)	MB352 (MB3521, MB3522) Biocenosis of Mediterranean coarse sands and fine gravels under the influence of bottom currents (Association with rhodoliths in coarse sands and fine gravels under the influence of bottom currents, Association with maërl (=Association with <i>Lithothamnion corallioides</i> and <i>Phymatholithon calcareum</i>) on Mediterranean coarse sands and gravel MC352 (MC3521, MC3522, MC3523) Assemblages of Mediterranean coastal detritic bottoms biocenosis with	1110 (Sandbanks)	III.3.2. (III.3.2.1., III.3.2.2.) Biocenosis of coarse sands and fine gravels under the influence of bottom currents (Maërl facies (=Association with <i>Lithothamnion corallioides</i> and <i>Phymatholithon calcareum</i>), Association with rhodoliths) III.3.2.2. Association with rhodoliths IV.2.2. (IV.2.2.1., IV.2.2.3., IV.2.2.5.) Biocenosis of the coastal detritic bottom (Association with	03040513 (0304051305, 0304051307) Fondos de rodolitos y cascajo infralitorales y circalitorales dominados por invertebrados (Fondos de rodolitos y cascajo infralitorales y circalitorales dominados por invertebrados con sinascidias, Fondos de rodolitos y cascajo infralitorales y circalitorales dominados por invertebrados con dominancia de antozoos (<i>Veretillum cynomorium</i> , <i>Sarcodictyon catenatum</i> , <i>Epizoanthus arenaceus</i> , <i>Paralcyonium spinulosum</i>))	MEDA5.51 Rhodolith beds in the Mediterranean

		rhodoliths (Association with rhodoliths on coastal detritic bottoms, Association with <i>Peyssonnelia rosa-marina</i> , Association with maërl (<i>Lithothamnion corallioides</i> and <i>Phymatholithon calcareum</i>) on coastal detritic bottoms		rhodoliths, Association with <i>Peyssonnelia rosa-marina</i> , Association with <i>Osmundaria volubilis</i>		
Roca circalitoral cubierta por sedimento (RCCS)	A4.27 Faunal communities on deep moderate energy circalittoral rock	MD151 Biocenosis of Mediterranean shelf-edge rock	1170 (Reefs)	IV.3.3. Biocenosis of shelf-edge rock	03020224 (0302022401, 0302022402) Roca circalitoral colmatada por sedimentos (Roca circalitoral colmatada por sedimentos con poliquetos tubícolas, Roca circalitoral colmatada por sedimentos con esponjas (<i>Axinella</i> spp., principalmente))	MEDA4.27 Communities of Mediterranean lower circalittoral rock
Roca circalitoral con dominancia de algas (RDA)	A4.26 (A4.261) Mediterranean coralligenous communities moderately exposed to hydrodynamic action (Association with <i>Cystoseira zosteroides</i>)	MC151 (MC1511) Coralligenous biocenosis (Facies with <i>Cystoseira zosteroides</i>)	1170 (Reefs)	IV.3.1 (IV.3.1.1.) Coralligenous biocenosis (Association with <i>Cystoseira zosteroides</i>)	03020101 (0302010101) Roca circalitoral dominada por fucales (Roca circalitoral dominada por fucales con <i>Cystoseira zosteroides</i> / <i>Cystoseira spinosa</i> v. <i>compressa</i>) 03020102 (0302010201, 0302010202) Roca circalitoral dominada por laminariales (Roca circalitoral dominada por laminariales con <i>Laminaria rodriguezii</i> , Roca circalitoral dominada por laminariales con <i>Phyllariopsis brevipes</i> , <i>Phyllariopsis purpurascens</i>)	MEDA4.23 Communities of Mediterranean soft circalittoral rock
Roca no concrecionada con invertebrados (RNCI)	A4.27 Faunal communities on deep moderate energy circalittoral rock A4.71 (A4.713) Communities of circalittoral caves and overhangs (Caves and overhangs with <i>Corallium rubrum</i>)	MD151 Biocenosis of Mediterranean shelf-edge rock MC152 (MC1522) Biocenosis of Mediterranean semi-dark caves and overhangs (Facies with <i>Corallium rubrum</i>)	1170 (Reefs)	IV.3.3. Biocenosis of shelf-edge rock IV.3.2. (IV.3.2.2.) Semi-dark caves (Facies with <i>Corallium rubrum</i>)	03020223 (0302022302, 0302022303, 0302022307, 0302022309) Roca circalitoral no concrecionada dominada por invertebrados (Roca circalitoral no concrecionada dominada por invertebrados con <i>Paramuricea clavata</i> , Roca circalitoral no concrecionada dominada por invertebrados con <i>Eunicella singularis</i> , Roca circalitoral no concrecionada dominada por invertebrados con <i>Eunicella cavolinii</i> , Roca circalitoral no concrecionada dominada por invertebrados con <i>Corallium rubrum</i>)	MEDA4.27 Communities of Mediterranean lower circalittoral rock MEDA4.71 Communities of Mediterranean circalittoral caves and overhangs
Roca infralitoral dominada por fucales (RIF)	A3.23 (A3.238, A3.239, A3.23D, A3.23E, A3.23F, A3.23J) Mediterranean and Pontic communities of infralittoral algae moderately exposed to wave action (Facies with <i>Cladocora caespitosa</i> , Association with <i>Cystoseira brachycarpa</i> , Association with <i>Cystoseira spinosa</i> , Association with <i>Sargassum vulgare</i> , Association with <i>Dictyopteris polypodioides</i> , Association with <i>Flabellia petiolata</i> and <i>Peyssonnelia squamaria</i>) A3.33 (A3.333) Mediterranean submerged fucoids, green or red seaweeds on full salinity infralittoral rock	MB151 (MB151E, MB151F, MB151K, MB151L, MB151M, MB151R, MB151W) Biocenosis of Mediterranean infralittoral algae (Facies with <i>Cladocora caespitosa</i> , Association with <i>Cystoseira brachycarpa</i> , Association with <i>Cystoseira spinosa</i> , Association with <i>Sargassum vulgare</i> , Association	1170 (Reefs)	III.6.1. (III.6.1.14., III.6.1.15., III.6.1.19., III.6.1.20., III.6.1.21., III.6.1.25., III.6.1.32.) Biocenosis of infralittoral algae (Association with <i>Cystoseira brachycarpa</i> , Facies with <i>Cladocora caespitosa</i> , Association with <i>Cystoseira spinosa</i> ,	03010221 (0301022101) Roca infralitoral superficial de modo batido, bien iluminada, con fucales (Roca infralitoral superficial de modo batido, bien iluminada, con <i>Cystoseira mediterranea</i>) 03010305 (0301030504, 0301030506, 0301030508, 0301030509, 0301030511) Roca infralitoral de modo calmo, bien iluminada, con fucales (Roca infralitoral de modo calmo, bien iluminada, con fucales con <i>Cystoseira</i>	MEDA3.13 Photophilic communities with canopy-forming algae in Mediterranean infralittoral and upper circalittoral rock MEDA3.1x Photophilic communities without canopy-forming algae in Mediterranean infralittoral and upper circalittoral rock MEDA3.23 Photophilic communities dominated by calcareous, habitat-

	(Association with <i>Cystoseira compressa</i>)	with <i>Dictyopteris polypodioides</i> , Association <i>Flabellia petiolata</i> and <i>Peyssonnelia squamaria</i> , Association with <i>Cystoseira compressa</i>)		Association with <i>Sargassum vulgare</i> in pure, rough waters, strong luminosity, Association with <i>Dictyopteris polypodioides</i> in pure rough waters, strong luminosity, Association with <i>Cystoseira compressa</i> , Association with <i>Flabellia petiolata</i> and <i>Peyssonnelia squamaria</i>)	<i>brachycarpa v. balearica</i> , Roca infralitoral de modo calmo, bien iluminada, con fucales con <i>Cystoseira foeniculacea</i> , Roca infralitoral de modo calmo, bien iluminada, con fucales con <i>Cystoseira compressa</i> , Roca infralitoral de modo calmo, bien iluminada, con fucales con <i>Cystoseira elegans</i> , Roca infralitoral de modo calmo, bien iluminada, con fucales con <i>Sargassum vulgare</i>) 03010413 (0301041301) Roca infralitoral medianamente iluminada, con fucales (Roca infralitoral medianamente iluminada, con fucales con <i>Cystoseira spinosa</i>)	forming algae
Roca infralitoral dominada por algas (RIDA)	A3.11 (A3.118) Kelp with cushion fauna and/or foliose red seaweeds (Turf or articulated Corallinaceae on exposed to sheltered infralittoral bedrock and boulders) A3.23 (A3.23F) Mediterranean and Pontic communities of infralittoral algae moderately exposed to wave action (Association with <i>Dictyopteris polypodioides</i>)	MB151 (MB151M, MB151R) Biocenosis of Mediterranean infralittoral algae (Association with <i>Dictyopteris polypodioides</i> , Association <i>Flabellia petiolata</i> and <i>Peyssonnelia squamaria</i>)	1170 (Reefs)	III.6.1. (III.6.1.21) Biocenosis of infralittoral algae (Association with <i>Dictyopteris polypodioides</i> in pure rough waters, strong luminosity)	03010414 (0301041402, 0301041405) Roca infralitoral medianamente iluminada, sin fucales (Roca infralitoral medianamente iluminada, sin fucales con <i>Dictyopteris polypodioides/Dictyopteris lucida</i> , Roca infralitoral medianamente iluminada, sin fucales con <i>Codium bursa</i>) 03010415 (0301041501, 0301041502, 0301041504) Roca infralitoral de modo calmo, escasamente iluminada con dominancia de algas (Roca infralitoral de modo calmo, escasamente iluminada con dominancia de algas con <i>Peyssonnelia squamaria</i> y <i>Flabellia petiolata</i> , Roca infralitoral de modo calmo, escasamente iluminada con dominancia de algas con <i>Halimeda tuna</i> , Roca infralitoral de modo calmo, escasamente iluminada con dominancia de algas con <i>Halymenia floresii</i>)	MEDA3.13 Photophilic communities with canopy-forming algae in Mediterranean infralittoral and upper circalittoral rock MEDA3.1x Photophilic communities without canopy-forming algae in Mediterranean infralittoral and upper circalittoral rock MEDA3.23 Photophilic communities dominated by calcareous, hábitat-forming algae
Cantos y bloques dominados por algas (CBA)	A3.15 (A3.151) Frondose algal communities (other than kelp) (<i>Cystoseira</i> spp. On exposed infralittoral bedrock and boulders)	MB151 Biocenosis of Mediterranean infralittoral algae	1170 (Reefs)	III.6.1. Biocenosis of infralittoral algae	030401 Cantos y gravas infralitorales y circalitorales	MEDA3.13 Photophilic communities with canopy-forming algae in Mediterranean infralittoral and upper circalittoral rock MEDA3.1x Photophilic communities without canopy-forming algae in Mediterranean infralittoral and upper circalittoral rock
Blanquizar en roca superior (BRS)	A3.13 (A3.131) Mediterranean and Pontic communities of infralittoral algae very exposed to wave action (Overgrazing facies with incrustant algae and sea urchins)	MB151 (MB1511) Biocenosis of Mediterranean infralittoral algae (Overgrazing facies with incrustant algae and sea urchins)	1170 (Reefs)	III.6.1.(III.6.1.1.) Biocenosis of infralittoral algae (Overgrazing facies with incrustant algae and sea urchins)	03010309 Blanquizaes en roca infralitoral superior protegida	MEDA3.1x Photophilic communities without canopy-forming algae in Mediterranean infralittoral and upper circalittoral rock MEDA3.23 Photophilic communities dominated by calcareous, hábitat-

						forming algae
Fondo de <i>T. fragilis</i> (FTF)	A5.51 Maërl beds A5.52 Kelp and seaweed communities on sublittoral sediment	MB352 Biocenosis of Mediterranean coarse sands and fine gravels under the influence of bottom currents MC352 Assemblages of Mediterranean coastal detritic bottoms biocenosis with rhodoliths	1110 (Sandbanks)	III.3.2.2. Association with rhodoliths	03040506 Fondos de maërl/rodolitos	MEDA5.51 Rhodolith beds in the Mediterranean
Praderas de <i>C. nodosa</i> (PCN)	A5.53 (A5.53131) Sublittoral seagrass beds (Association with <i>Cymodocea nodosa</i> on well sorted fine sands)	MB552 (MB5521) Biocenosis of Mediterranean well sorted fine sands (Association with <i>Cymodocea nodosa</i> on well sorted fine sands)	1110 (Sandbanks)	III.2.2. (III.2.2.1.) Biocenosis of well sorted fine sands (Association with <i>Cymodocea nodosa</i> on well sorted fine sands)	030509 Praderas mediterráneas de <i>Cymodocea nodosa</i> de zonas abiertas profundas, sobre arena	MEDA5.53 Seagrass beds (other than <i>Posidonia</i>) on Mediterranean infralittoral sand

5.4. Caracterización de los hábitats bentónicos

La caracterización de los hábitats bentónicos identificados en el entorno sumergido del archipiélago de las Islas Columbretes se ha centrado en la representatividad, el estado ambiental (riqueza específica, composición funcional), la sensibilidad y el grado de conservación. Se ha hecho especial hincapié en los hábitats de interés comunitario presentes en el área de estudio.

5.4.1. Representatividad

En la tabla 5 se muestran las superficies de ocupación de cada uno de los hábitats biogénicos modelados. Las superficies y porcentajes de ocupación pueden variar en función del umbral seleccionado para definir la probabilidad de presencia mínima de cada hábitat y, por ende, su distribución. En función del objetivo específico de gestión se pueden utilizar diversos umbrales. En base a los umbrales utilizados en el estudio (prevalencia y kappa) los porcentajes totales del área ocupada por hábitats biogénicos en el área de estudio son de 83,06% y 38,87 %, respectivamente.

Tabla 5. Superficie de ocupación de los hábitats, considerando los 2 escenarios obtenidos con 2 umbrales diferentes (prevalencia y kappa). El porcentaje de ocupación se ha calculado sumando los polígonos generados con la modelización de hábitats a aquellos generados mediante conocimiento experto en las zonas someras y dividiéndolo sobre el total del área que ocupan la superficie cartografiada 13.492 ha.

ID	HÁBITAT BENTÓNICO	REPRESENTATIVIDAD	Umbral prevalencia		Umbral kappa	
			SUPERFICIE (ha)	% DE OCUPACIÓN	SUPERFICIE (ha)	% DE OCUPACIÓN
CA	Coralígeno con dominancia de algas	Excelente	94,31	0,69	120,62	0,89
CI	Coralígeno con dominancia de invertebrados	Excelente	50,50	0,37	26,08	0,19
CBAS	Cascajo con <i>A. villosa</i> y <i>S. pedunculatus</i>	Excelente	450,03	3,34	342,84	2,54
MR	Fondo de maërl/rodolitos	Excelente	1.131,02	8,38	676,71	5,01
FDI	Fondo detrítico con invertebrados	Excelente	481,49	3,57	29,23	0,22
FDL	Fondo detrítico con laminariales	Excelente	43,38	0,32	48,35	0,36
FDLP	Fondo detrítico con <i>L. phalangium</i>	Excelente	4.427,90	32,82	3.353,41	24,85
RCI	Fondo de maërl/rodolitos con invertebrados	Excelente	1.210,20	8,97	18,84	0,14

RCCS	Roca circalitoral cubierta por sedimento	Excelente	2.956,21	21,91	392,17	2,91
RDA	Roca circalitoral dominada por algas	Excelente	40,58	0,30	14,46	0,11
RNCI	Roca no concrecionada dominada por invertebrados	Excelente	93,92	0,70	8,99	0,07
RIF	Roca infralitoral dominada por fucales	Excelente	72,58	0,54	73,08	0,54
RIDA	Roca infralitoral dominada por algas	Excelente	39,22	0,29	39,22	0,29
CBA	Cantos y bloques dominados por algas	Excelente	105,14	0,78	105,11	0,78
BRS	Blanquizar en roca superior	Excelente	0,17	<0,01	0,17	<0,01
FTF	Fondo de <i>T. fragilis</i>	Excelente	1,47	0,01	1,47	0,01
PCN	Praderas de <i>C. nodosa</i>	Excelente	10,43	0,08	10,43	0,08

La figura 13 y la tabla 6 muestran la distribución y la superficie de ocupación de los hábitats de interés comunitario de la Directiva Hábitats: 1170-“Arrecifes” y 1110-“Bancos de arena cubiertos permanentemente por agua marina poco profunda” fueron calculados con los umbrales prevalencia y kappa y comparados con la superficie total del área de estudio y con la superficie total de los dos hábitats en el territorio nacional. Los cálculos para los otros dos hábitats, 1180-“Estructuras submarinas producidas por emisiones de gases” y 8330-“Cuevas marinas sumergidas y semisumergidas”, fueron realizados a partir de superficies aproximadas derivadas de información recogida en las campañas del proyecto LIFE IP INTEMARES e información previa.

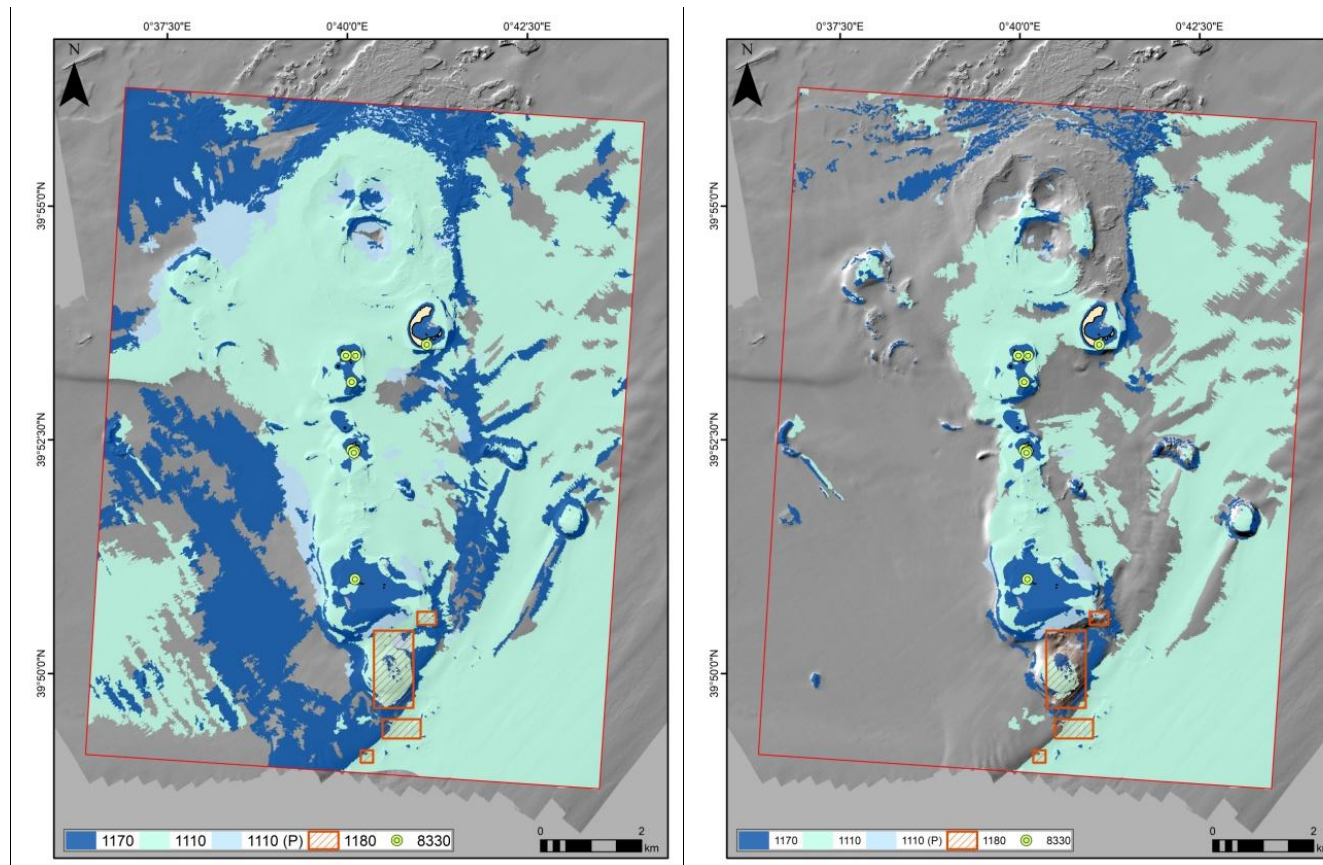


Figura 13. Mapas de los hábitats bentónicos de la Directiva Hábitats presentes en el entorno sumergido de las Islas Columbretes utilizando el umbral prevalencia (izquierda) y kappa (derecha). Adicionalmente se muestran el hábitat 8330-“Cuevas marinas sumergidas o semisumergidas” como entidad puntual y el hábitat 1180-“Estructuras submarinas formadas por emisiones de gases” como polígono en la zona en la que la ecosonda multihaz y la roseta oceanográfica del buque oceanográfico detectaron y confirmaron anomalías relacionadas con la emisión de gases.

Tabla 6. Superficie de ocupación del hábitat de interés comunitario 1170- Arrecifes, 1110- Bancos de arena permanentemente cubiertos por agua marina poco profunda, 1180-Estructuras submarinas formadas por escapes de gases. La superficie en hectáreas contempla la suma del área de las zonas someras obtenida a través de conocimiento experto y la de las zonas profundas obtenida mediante modelización de hábitats. La representatividad o porcentaje de ocupación del hábitat se calculó con respecto a la superficie del área de estudio mapeada, 13.489 ha. Las superficies relativas se calcularon de acuerdo con el Informe Sexenal de la aplicación de la Directiva Hábitats en España 2013-2018. Las superficies totales y propuestas son las mismas para los hábitat 1180 y 8330

UMBRAL	Hábitat 1170 - Arrecifes					
	SUPERFICIE (ha)	REPRESENTATIVIDAD (%)	SUPERFICIE RELATIVA TOTAL REGIONAL (%)	SUPERFICIE RELATIVA TOTAL REGIONAL PROPUESTO LIC/ZEC (%)	SUPERFICIE RELATIVA TOTAL NACIONAL (%)	SUPERFICIE RELATIVA TOTAL NACIONAL PROPUESTO LIZ/ZEC (%)
Prevalencia	3.450,87	25,58	0,56	0,68	0,32	0,37
Kappa	779,78	5,78	0,13	0,16	0,07	0,08
UMBRAL	Hábitat 1110 – Bancos de arena permanentemente cubiertos por agua marina poco profunda					
	SUPERFICIE (ha)	REPRESENTATIVIDAD (%)	SUPERFICIE RELATIVA TOTAL REGIONAL (%)	SUPERFICIE RELATIVA TOTAL REGIONAL PROPUESTO LIC/ZEC (%)	SUPERFICIE RELATIVA TOTAL NACIONAL (%)	SUPERFICIE RELATIVA TOTAL NACIONAL PROPUESTO LIZ/ZEC (%)
Prevalencia	7.233,77	53,62	25,21	60,60	16,6	33,23
Kappa	4.398,67	32,61	15,32	36,83	10,12	20,20
Prevalencia (Propuesto)	524,87	3,89	1,83	4,40	1,21	2,41
Kappa (Propuesto)	77,52	0,57	0,27	0,65	0,18	0,36
Hábitat 1180 – Estructuras submarinas producidas por escapes de gases						
SUPERFICIE (ha)	REPRESENTATIVIDAD (%)	SUPERFICIE RELATIVA TOTAL REGIONAL (%)	SUPERFICIE RELATIVA TOTAL NACIONAL (%)	SUPERFICIE RELATIVA TOTAL NACIONAL PROPUESTO LIZ/ZEC (%)		
164	1,17 %	*	0,98	0,98		

De cara al cálculo de la superficie relativa de los hábitats de interés comunitario se utilizaron los valores para los hábitats en el territorio nacional de acuerdo con los datos proporcionados en el último informe sexenal de aplicación de la Directiva Hábitats en España según los cuales:

Hábitat 1170

Superficie Atlántica: 1.766,17 km²
 Superficie Atl. LIC/ZEC: 1.575,52 km²
 Superficie Mediterráneo: 6.147,25 km²
 Superficie Med. LIC/ZEC: 5.010 km²
 Superficie Macaronesia: 2.716,25 km²
 Superficie Mac. LIC/ZEC: 2.682,36 km²
 Superficie Total= 10.629,67 km²
 Superficie Total LIC/ZEC=9.267,88 km²

Hábitat 1180

Superficie Atl.: 167,27 km²
 Superficie Atl. LIC/ZEC: 167,27 km²
 Superficie Med. 0.03 km²
 Superficie Med. LIC/ZEC: 0.03 km²
 Superficie Mac.: 0 km²
 Superficie Mac. LIC/ZEC: 0 km²
 Superficie Total= 167,30 km²
 Superficie Total LIC/ZEC= 167,30 km²

Hábitat 1110

Superficie Atl.: 63,49 km²
 Superficie Atl. LIC/ZEC: 50,88 km²
 Superficie Med.: 286,98 km²
 Superficie Med. LIC/ZEC: 119,38 km²
 Superficie Mac: 84,05 km²
 Superficie Mac. LIC/ZEC: 47,4 km²
 Superficie Total= 434,52 km²
 Superficie Total LIC/ZEC=217,66 km²

Hábitat 8330

Superficie Atl.: 0,23 km²
 Superficie Atl. LIC/ZEC: 0,23 km²
 Superficie Med.: 10,47 km²
 Superficie Med. LIC/ZEC: 10,47 km²
 Superficie Mac.: 0,45 km²
 Superficie Mac. 0,45 LIC/ZEC: km²
 Superficie Total= 11,15 km²
 Superficie Total LIC/ZEC= 11,15 km²

De acuerdo con los porcentajes de superficie relativa obtenidos, el hábitat de interés comunitario de arrecifes (1170) se clasifica como C (p<2,00%). El hábitat de bancos de arena cubiertos permanentemente por agua marina poco profunda se situaría entre la A (umbral prevalencia, 16,60%) y la B (umbral kappa, 10,12%). El hábitat de estructuras submarinas producidas por escapes de gases se clasificaría como C (0,98%), no obstante, la superficie registrada supera a la superficie de la región mediterránea que debería revisarse.

Finalmente, el hábitat 8330-“Cuevas submarinas sumergidas y semisumergidas” presenta un total de 7 localizaciones y, según el último informe de la RN2000, ocupa una superficie de 123,60 ha, lo cual equivale al 11,00 % de la superficie nacional (11,75% de la superficie regional) y, por ende, se clasificaría como B.

Las superficies presentadas para los hábitats bentónicos y los hábitats de la Directiva Hábitats se han calculado tratando de incluir el total del área protegida pese a que ello conlleva la suma de datos obtenidos mediante técnicas diferentes.

5.4.2. Estado ambiental

El análisis del estado ambiental de los hábitats se centró en la composición funcional de las comunidades descritas a través de los rasgos biológicos de las especies que las componen. Estos rasgos sirvieron igualmente para caracterizar los hábitats según su sensibilidad a distintos artes de pesca y cartografiar este aspecto.

5.4.2.1. Riqueza de especies e identificación de "hotspots"

Las diferencias en la complejidad de los hábitats se muestran en la figura 14. En general, los hábitats rocosos mostraron una mayor diversidad de especies, a excepción del hábitat de “Blanquizal en roca superior” y el hábitat “Roca circalitoral cubierta por sedimento” que albergan una menor cantidad de especies. Los hábitats de fondos detríticos dominados por invertebrados y por *L. phalangium* han sido los únicos hábitats en los que se ha identificado una única especie ocupando el espacio de la comunidad. Con la excepción de los hábitats mencionados y el hábitat de “Coralígeno con dominancia de invertebrados”, diversas especies de algas se configuran como las especies estructurantes de los hábitats del entorno sumergido de las Islas Columbretes.

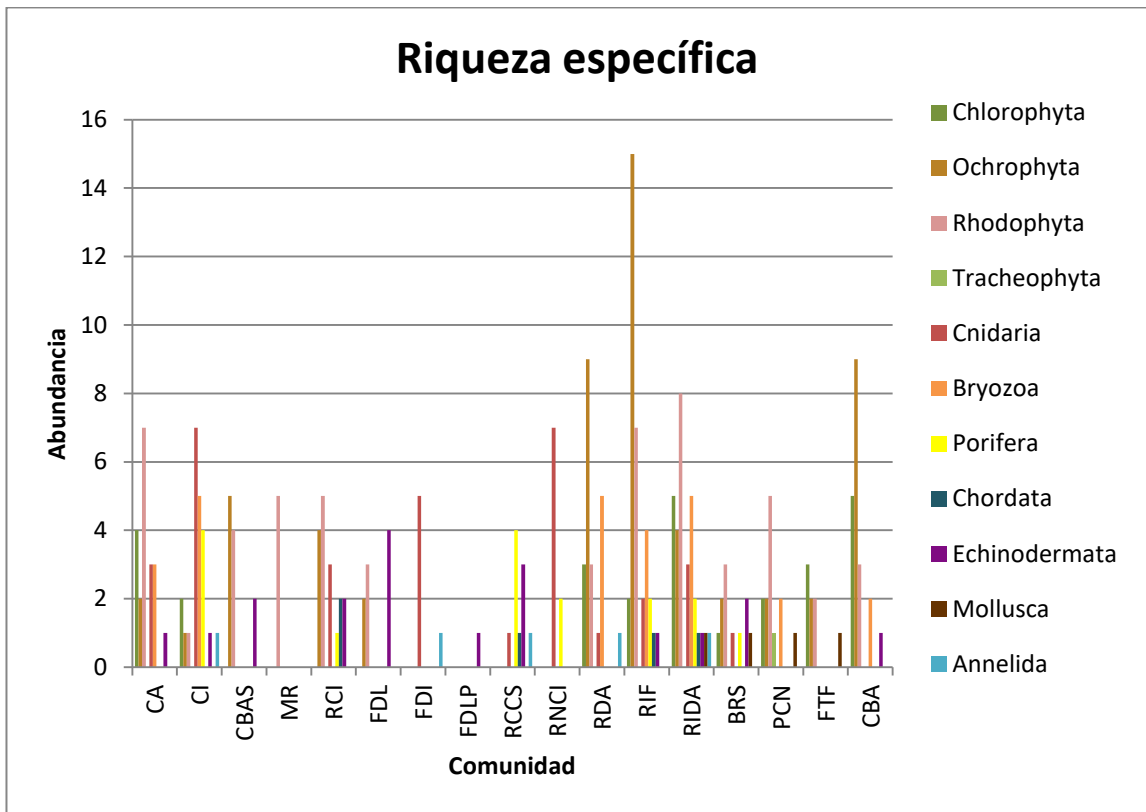


Figura 14. Riqueza específica de especies por hábitat. CA: Coralígeno con dominancia de algas; CI: Coralígeno con dominancia de invertebrados; CBAS: Cascajo con *A. villosa* y *S. pedunculatus*; MR: Fondo de maërl/rodolitos; RCI: Fondo de maërl/rodolitos con invertebrados; FDL: Fondo detrítico con laminariales; FDI: Fondo detrítico con invertebrados; FDLP: Fondo detrítico con *Leptometra phalangium*; RCCS: Roca circalitoral cubierta por sedimento; RNCI: Roca no concrecionada dominada por invertebrados; RDA: Roca circalitoral dominada por algas; RIF: Roca infralitoral dominada por fucales; RIDA: Roca infralitoral dominada por algas; BRS: Blanquizal en roca superior; PCN: Praderas de *Cymodocea nodosa*; FTF: Fondo de *Tricleocarpa fragilis*; CBA: Cantos y bloques dominados por algas.

La figura 15 muestra el número de especies identificadas mediante transectos de buceo y de vídeo (estructurantes y acompañantes) en los diferentes hábitats. Pese a que, de manera general, no se encuentran todas en las diferentes ubicaciones en las que se desarrolla la comunidad, estos mapas ofrecen una aproximación a la diversidad potencial de especies que albergan los hábitats identificados.

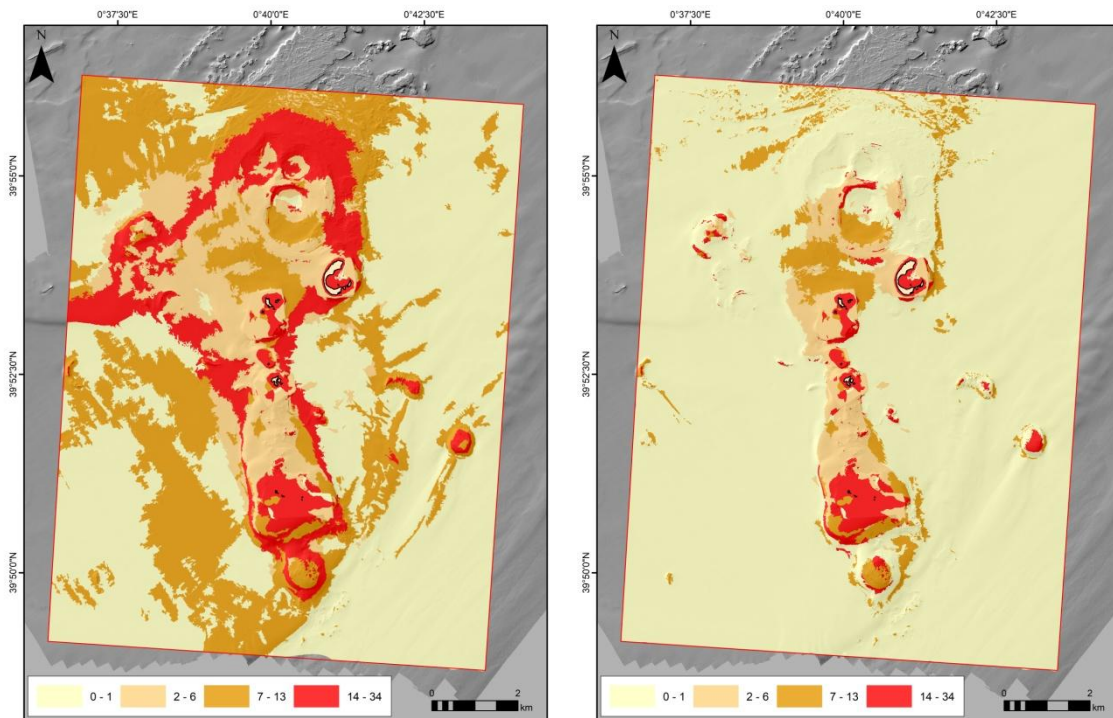


Figura 15. Localización de los hábitats y la riqueza específica asociada, el mapa de la izquierda muestra el umbral prevalencia y el de la derecha, el kappa.

5.4.2.2. Índice de Diversidad de Shannon-Wiener (H')

Dada la heterogeneidad de los datos bionómicos utilizados y la dificultad de individualizar los individuos de algunas de las especies identificadas en los hábitats del área de estudio esta técnica no pudo ser aplicada.

5.4.2.3. Índice de Diversidad Funcional

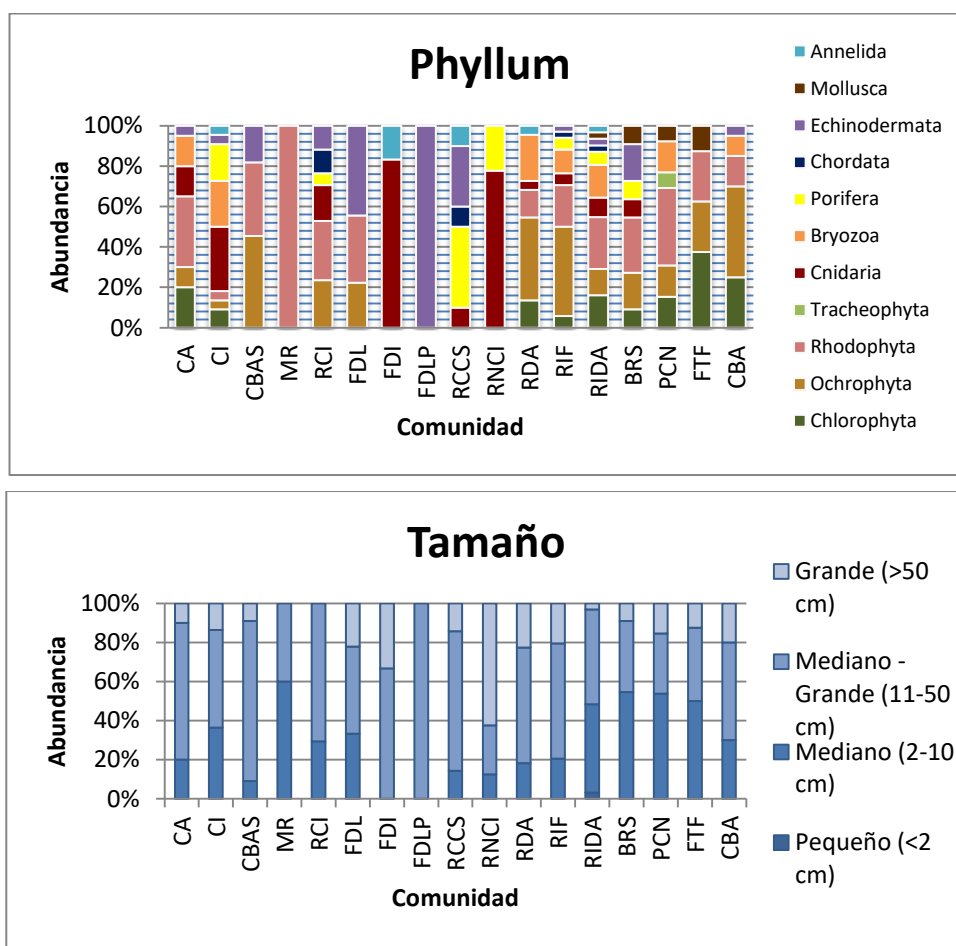
Dada la heterogeneidad de los datos bionómicos utilizados y la dificultad de individualizar los individuos de algunas de las especies identificadas en los hábitats del área de estudio esta técnica no pudo ser aplicada.

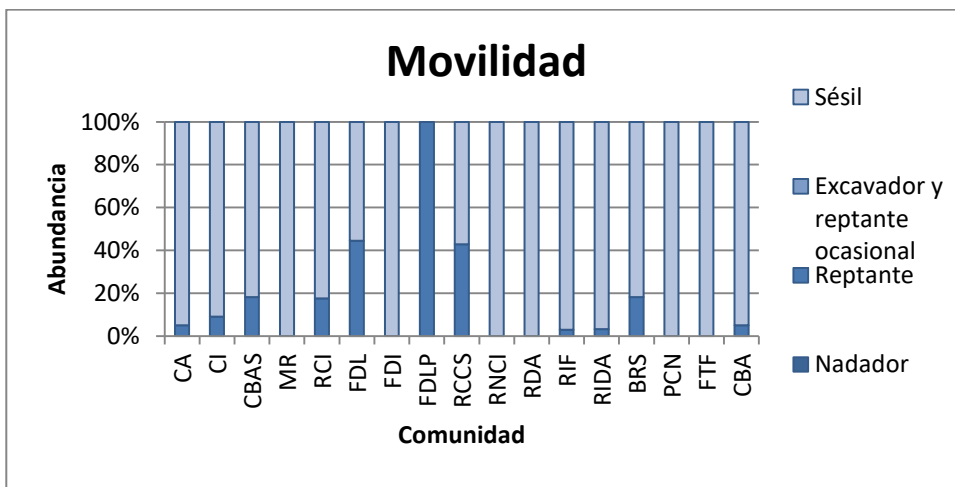
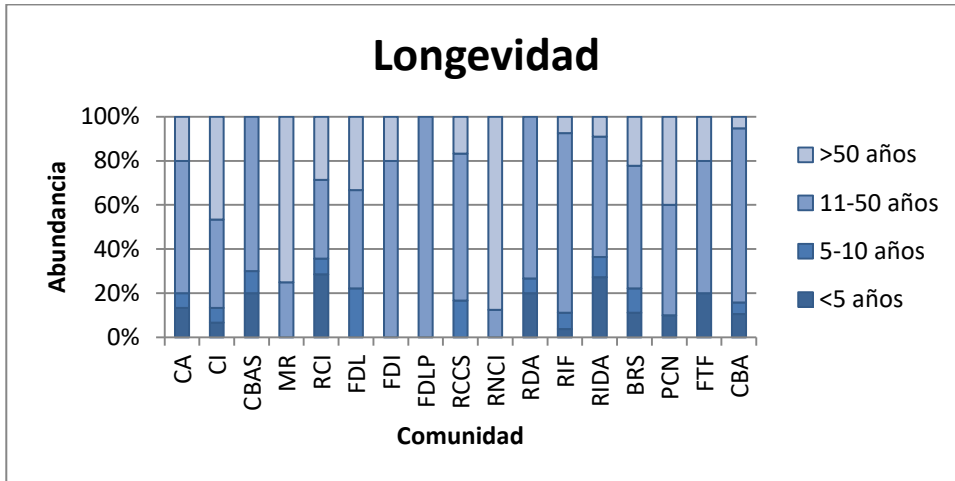
5.4.2.4. Composición funcional

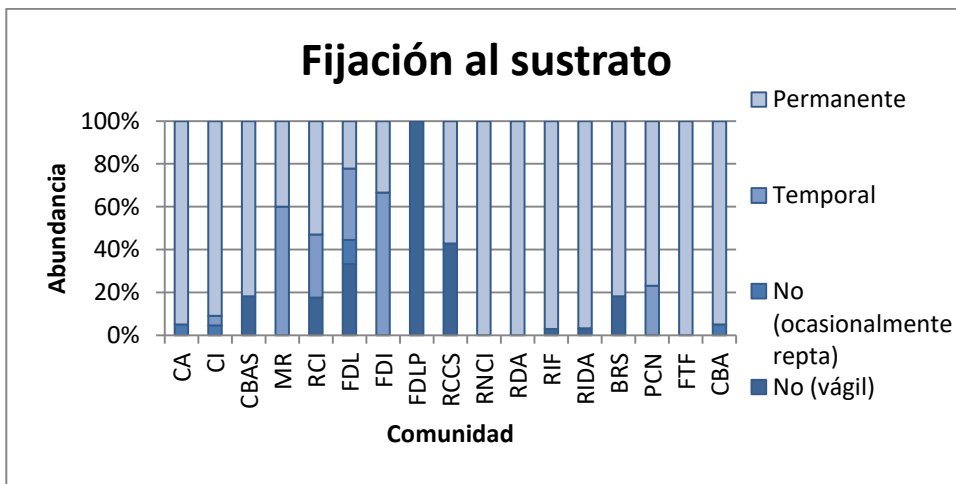
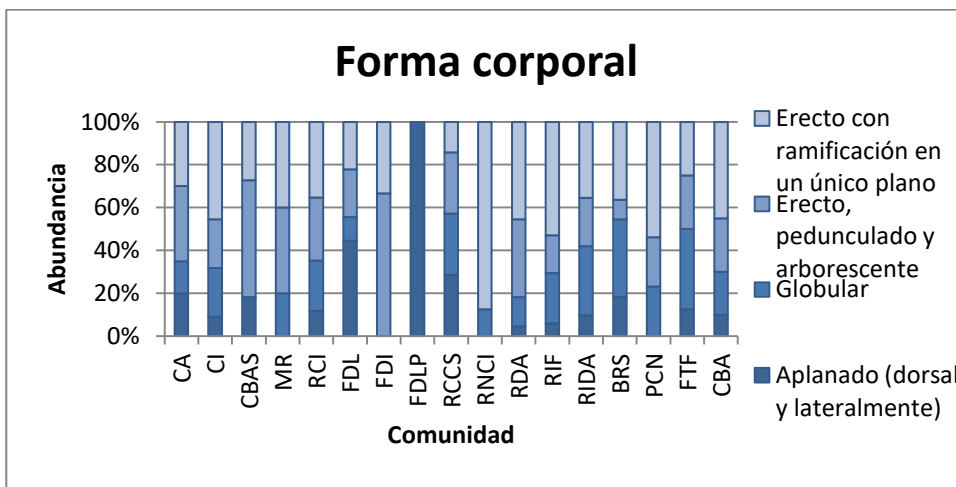
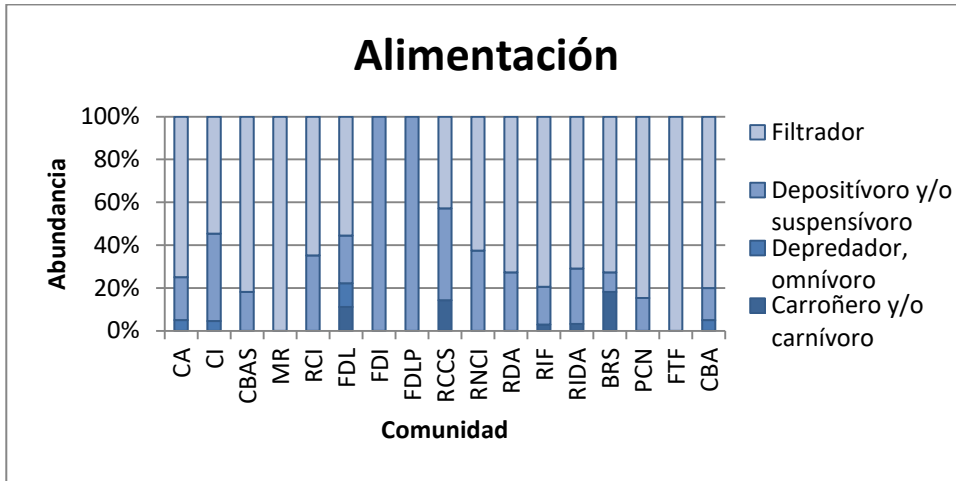
Se han encontrado claras diferencias en las características (*traits*) de las comunidades identificadas, principalmente al comparar entre hábitats de roca y hábitats sedimentarios (figura 16). Los hábitats de roca contienen una mayor cantidad y diversidad de especies en comparación con los sedimentarios. Si bien cabe mencionar que existe un sesgo derivado del método de muestreo, los transectos de buceo ofrecieron una gran cantidad de información y fueron realizados en su mayoría en zonas de roca cercanas a los islotes y bajos del archipiélago. No obstante, gracias a pescas de las campañas LANCO sabemos que los hábitats sedimentarios tienen una mayor diversidad de la mostrada en los vídeos al haberse registrado la presencia de multitud de especies (*Aplysia* sp., *Astraea rugosa*, *Calappa granulata*, *Charonia lampas*, *Dardanus* sp., *Homarus gammarus*, *Homola barbata*,

Inachus spp., *Liocarcinus* spp., *Macropipus* spp., *Macropodia* sp., *Maja crispata*, *Pagurus* sp. y *Sphaerechinus granularis*) que no fueron detectados en los videos realizados con ROV y vídeo remolcado y, por tanto, no han sido incluidos en el análisis debido a la menor precisión de su localización.

Más allá de la cantidad y diversidad de especies, los fondos rocosos han mostrado albergar especies de mayor tamaño y porte erecto, sobre todo en los fondos más profundos. La mayoría de especies identificadas están fijadas al sustrato de manera permanente, no obstante, los fondos sedimentarios han mostrado un mayor porcentaje de especies con cierta movilidad. Respecto al tipo de alimentación predominan las especies filtradoras y depositóras/suspensívoras en los fondos rocosos, mientras que las especies carnívoras y depredadoras se encuentran en mayor medida en fondos blandos, a excepción de algunas especies de erizos de mar como *A. lixula* o *P. lividus* (figura 16).







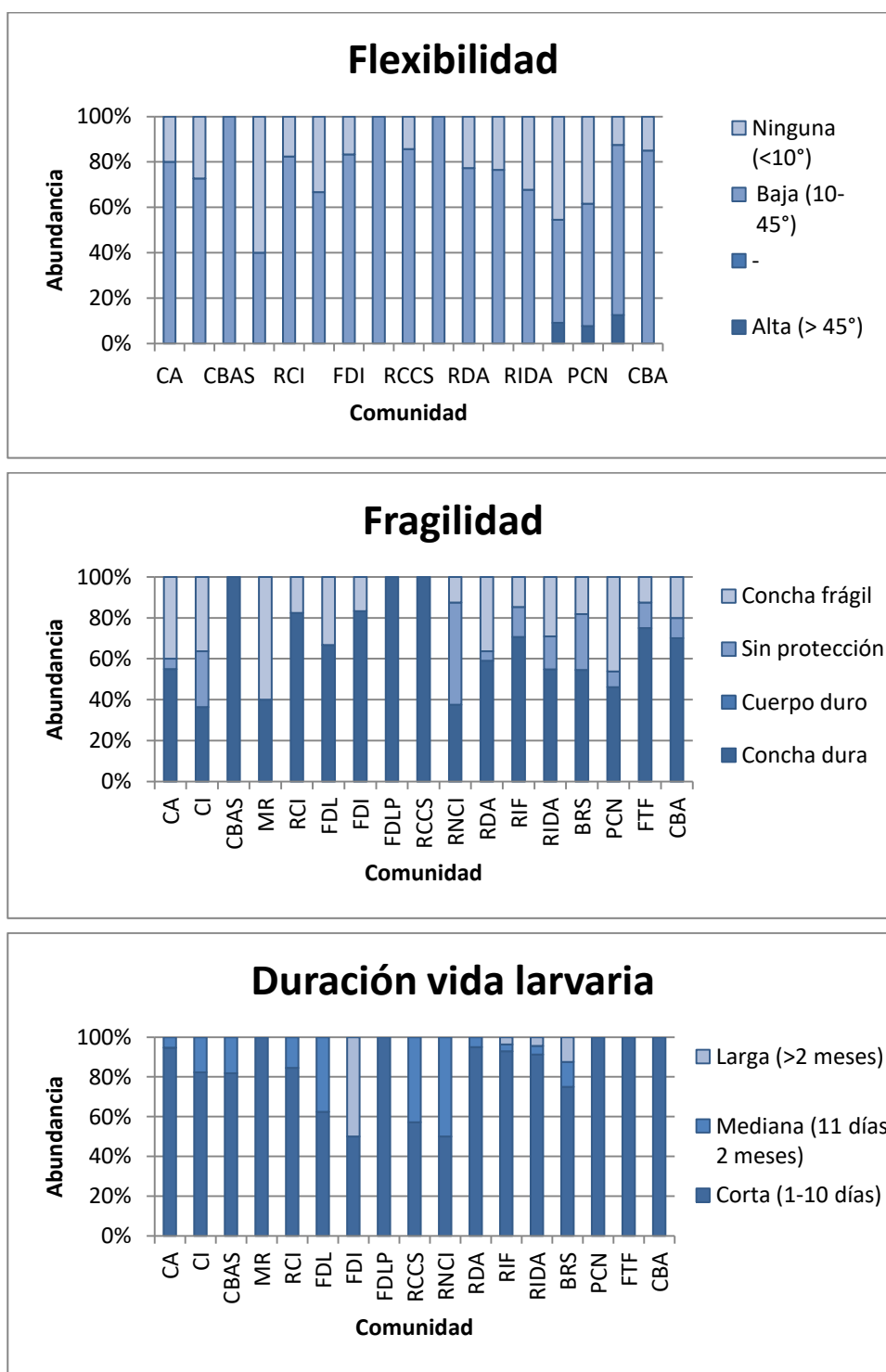


Figura 16. Composición funcional de los diferentes hábitats basada en las características funcionales de las especies. CA: Coralígeno con dominancia de algas; CI: Coralígeno con dominancia de invertebrados; CBAS: Cascajo con *A. villosa* y *S. pedunculatus*; MR: Fondo de maërl/rodolitos; RCI: Fondo de maërl/rodolitos con invertebrados; FDL: Fondo detrítico con laminariales; FDI: Fondo detrítico con invertebrados; FDLP: Fondo detrítico con *Leptometra phalangium*; RCCS: Roca circalitoral cubierta por sedimento; RNCI: Roca no concrecionada dominada por invertebrados; RDA: Roca circalitoral dominada por algas; RIF: Roca infralitoral

dominada por fucales; RIDA: Roca infralitoral dominada por algas; BRS: Blanquizar en roca superior; PCN: Praderas de *Cymodocea nodosa* ; FTF: Fondo de *Tricleocarpa fragilis*; CBA: Cantos y bloques dominados por algas.

5.4.3. Sensibilidad y/o vulnerabilidad de los hábitats bentónicos frente a las principales presiones y actividades con impacto sobre el lugar

El hábitat que mostró una mayor sensibilidad a la pesca de arrastre y de palangre de fondo fue la “Roca circalitoral no concrecionada dominada por invertebrados”, dado que alberga especies con elevados valores de tamaño, longevidad o fragilidad como las gorgonias, el coral rojo o esponjas como *Axinella* sp. o *Haliclona* sp. En general, todos los hábitats mostraron valores de sensibilidad a la pesca de arrastre elevados (entre 3 y 5) quedando los fondos no biogénicos de arenas y arenas fangosas como las zonas con menor sensibilidad. Los mapas de sensibilidad permiten ver dónde se distribuyen los hábitats más sensibles, las figuras 17 y 18 muestran estos valores de sensibilidad a la pesca de arrastre y palangre de fondo según los umbrales prevalencia y kappa. Las principales zonas sensibles se encuentran en el entorno más cercano al archipiélago y los bajos que se encuentran en el interior de la zona protegida.

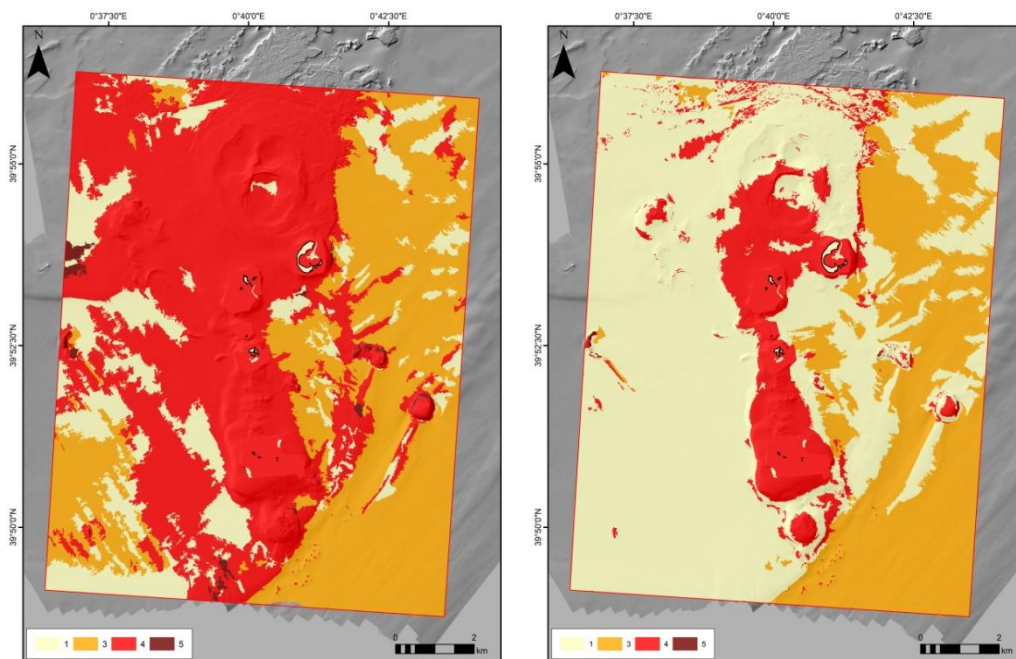


Figura 17. Sensibilidad de los hábitats bentónicos del entorno sumergido de las Islas Columbretes a la pesca de arrastre utilizando los umbrales de prevalencia (izquierda) y kappa (derecha).

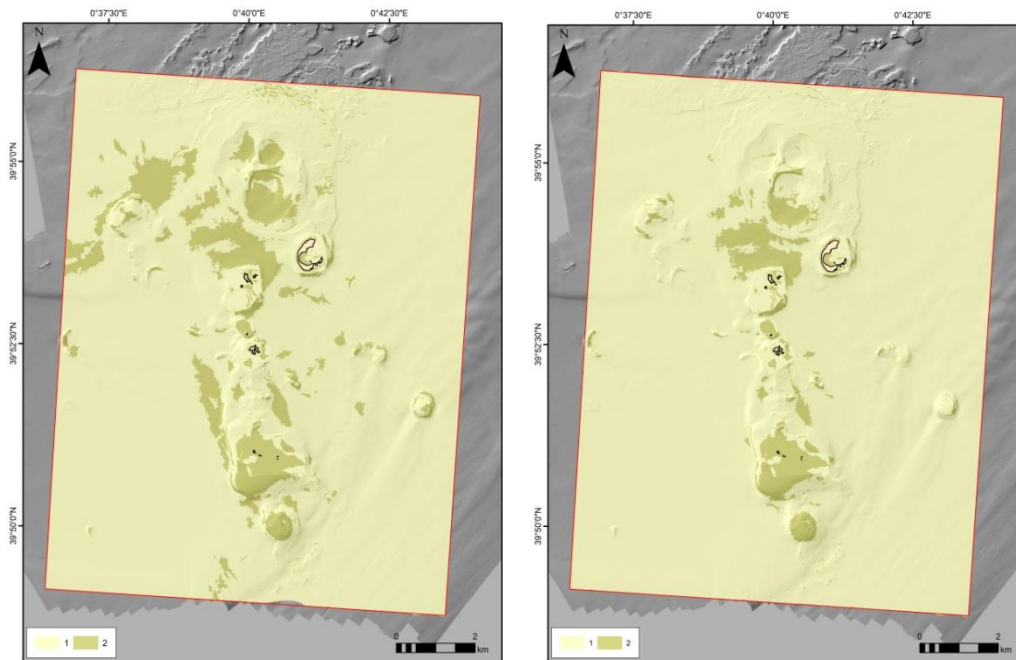


Figura 18. Sensibilidad de los hábitats bentónicos del entorno sumergido de las Islas Columbretes a la pesca de palangre de fondo utilizando los umbrales de prevalencia (izquierda) y kappa (derecha).

5.4.4. Grado de Conservación de los hábitats de interés comunitario

El resultado del análisis preliminar de los criterios relativos al grado de conservación de los hábitats de interés comunitario identificados en el área de estudio se muestra en la Tabla 7. El grado de conservación de las comunidades se divide en la conservación de la estructura, de las funciones y en la posibilidad de restaurar dicho hábitat. Estos rasgos fueron definidos según criterio experto para los hábitats 1110 “Bancos de arena cubiertos permanentemente por agua marina poco profunda” y 1170 “Arrecifes”. Adicionalmente se describió el estado del hábitat 1180 “Estructuras submarinas producidas por el escape de gases” y del hábitat 8330 “Cuevas marinas sumergidas y semisumergidas” pese a no estar representados por los hábitats identificados. Dado el criterio aplicado, se opta de manera general por una postura basada en el principio de precaución y con cierta incertidumbre.

Pese a que el entorno sumergido del archipiélago de las Islas Columbretes está sometido a presión antrópica, cuenta con varias medidas de protección desde finales de los años 80 que regulan las actividades que pueden desarrollarse en la zona. No obstante, muchas de estas limitaciones solo afectan al interior de la Reserva Marina y no al conjunto del LIC, por lo que el impacto de la actividad pesquera es visible en hábitats de interés comunitario situados entre los límites de ambas figuras de protección. El hábitat de “Roca circalitoral cubierta de sedimento” ha sido aquel en el que mayor cantidad de aparejos de pesca perdidos han sido identificados en las filmaciones realizadas.

De igual manera, la actividad antrópica entendida como el tráfico de embarcaciones o actividades de recreo que se concentra en la bahía de la Isla Grande o Illa Grossa provoca un impacto sobre los hábitats que se localizan en esta área. En este sentido, las praderas de C.

nodosa que se encuentran en esta zona muestran una menor densidad de haces y un peor estado general en comparación a otros puntos del entorno del archipiélago.

Más allá de los impactos derivados de la actividad humana, los hábitats bentónicos se ven afectados por fenómenos naturales (olas de calor, tormentas). Algunos de ellos pueden afectar a las especies que estructuran las comunidades, los efectos del temporal Gloria (enero 2020) o de episodios de gran aumento de temperatura han sido visibles en filmaciones sobre especies de gran importancia ecológica como la gorgonia roja (*P. clavata*).

Gracias al nivel de protección existente dentro de la reserva marina de interés pesquero, y según el FND, la conservación de la estructura y funciones de los hábitats presentes en Islas Columbretes se clasificarían en la categoría de “perspectivas buenas”. Por el contrario, dado el impacto de la pesca en el resto del LIC, la conservación de la estructura y funciones se pueden clasificar como “medianas o desfavorables” para los hábitats que se ubican en las zonas más lejanas a los islotes.

Dada la profundidad a la que se encuentran la mayoría de los fondos de interés comunitario, se puede clasificar su posibilidad de restauración como “posible con un esfuerzo medio” o “difícil o imposible”.

Tabla 7. Evaluación preliminar del grado de conservación de cada hábitat de interés comunitario registrado en la zona de estudio, basado en el 'criterio experto'. CA: Coralígeno con dominancia de algas; CI: Coralígeno con dominancia de invertebrados; CBAS: Cascajo con *A. villosa* y *S. pedunculatus*; MR: Fondo de maërl/rodolitos; RCI: Fondo de maërl/rodolitos con invertebrados; FDL: Fondo detrítico con laminariales; FDI: Fondo detrítico con invertebrados; FDLP: Fondo detrítico con *Leptometra phalangium*; RCCS: Roca circalitoral cubierta por sedimento; RNCI: Roca no concrecionada dominada por invertebrados; RDA: Roca circalitoral dominada por algas; RIF: Roca infralitoral dominada por fucas; RIDA: Roca infralitoral dominada por algas; CBA: Cantos y bloques dominados por algas; BRS: Blanquizal en roca superior; FTF: Fondo de *Tricleocarpa fragilis*; PCN: Praderas de *Cymodocea nodosa*.

HÁBITATS BENTÓNICOS PRESENTES	DIRECTIVA HÁBITATS (ANEXO I)	SUPERFICIE DE OCUPACIÓN (%)		CONSERVACIÓN DE LA ESTRUCTURA	CONSERVACIÓN DE LAS FUNCIONES	POSIBILIDAD DE RESTAURACIÓN	GRADO DE CONSERVACIÓN	VALOR GLOBAL
		Umbral prevalencia	Umbral kappa					
CA	1170	0,69	0,89	Estructura excelente	Perspectivas excelentes	Restauración difícil o imposible	Excelente	Valor excelente
CI	1170	0,37	0,19	Estructura excelente	Perspectivas excelentes	Restauración difícil o imposible	Excelente	Valor excelente
CBAS	1110	3,34	2,54	Estructura excelente	Perspectivas excelentes	Restauración difícil o imposible	Excelente	Valor excelente
MR	1110	8,40	5,02	Estructura excelente	Perspectivas excelente	Restauración difícil o imposible	Excelente	Valor excelente

FDI	1110 Propuesto	3,57	0,22	Estructura excelente	Perspectivas excelentes	Restauración difícil o imposible	Excelente	Valor excelente
FDL	1110 Propuesto	0,32	0,36	Estructura excelente	Perspectivas excelentes	Restauración difícil o imposible	Excelente	Valor excelente
FDLP	1110	32,82	24,82	Estructura excelente	Perspectivas excelentes	Restauración difícil o imposible	Excelente	Valor excelente
RCI	1110	8,97	0,14	Estructura excelente	Perspectivas excelentes	Restauración difícil o imposible	Excelente	Valor excelente
RCCS	1170	21,91	2,91	Estructura bien conservada	Perspectivas buenas	Restauración difícil o imposible	Mediana o reducida	Valor bueno
RDA	1170	0,30	0,11	Estructura excelente	Perspectivas excelentes	Restauración posible con un esfuerzo medio	Excelente	Valor excelente
RNCI	1170	0,70	0,07	Estructura excelente	Perspectivas excelentes	Restauración posible con un esfuerzo medio	Excelente	Valor excelente
RIF	1170	0,54	0,54	Estructura excelente	Perspectivas excelentes	Restauración posible con un esfuerzo medio	Buena	Valor excelente
RIDA	1170	0,29	0,29	Estructura excelente	Perspectivas buenas	Restauración posible con un	Buena	Valor excelente

						esfuerzo medio		
CBA	1170	0,78	0,78	Estructura excelente	Perspectivas buenas	Restauración posible con un esfuerzo medio	Buena	Valor excelente
BRS	1170	<0,01	<0,01	Estructura excelente	Perspectivas excelentes	Restauración posible con un esfuerzo medio	Excelente	Valor excelente
FTF	1110	0,01	0,01	Estructura excelente	Perspectivas excelentes	Restauración posible con un esfuerzo medio	Excelente	Valor excelente
PCN	1110	0,08	0,08	Estructura excelente	Perspectivas excelentes	Restauración posible con un esfuerzo medio	Excelente	Valor excelente

6. Conclusiones y recomendaciones

En base a los resultados obtenidos y a la mejora del conocimiento sobre los hábitats bentónicos del entorno sumergido del archipiélago de las Islas Columbretes, las principales conclusiones y recomendaciones son las siguientes:

Clasificación de Hábitats

- De las 17 comunidades bentónicas biogénicas identificadas, 9 corresponden con el hábitat 1170 "Arrecifes" de acuerdo con el Anexo I de la Directiva Hábitats.
- El Comité Científico del proyecto LIFE IP INTEMARES en España, acordó que las comunidades identificadas en el entorno sumergido del archipiélago de las Islas Columbretes, "Fondos de maërl/rodolitos", "Fondos de maërl/rodolitos con dominancia de invertebrados", "Praderas de *C. nodosa*" y "Fondos de cascajo con *A. villosa* y *S. pedunculatus*" deben incluirse como hábitats vulnerables bajo la denominación 1110 "Bancos de arena cubiertos permanentemente por agua marina poco profunda" del Anexo I de la Directiva Hábitats pese a que se pueden desarrollar en zonas profundas. Los fondos detríticos profundos dominados por *L. phalangium* fueron igualmente designados como comunidad a tener en cuenta bajo esta denominación. En Columbretes estos fondos se encuentran en el área circalitoral y se incluyen, consecuentemente, en esta clasificación. La comunidad "Fondos de *T. fragilis*" se ha incluido bajo esta denominación. De esta manera, aumenta la superficie ocupada por el hábitat 1110 en el área de estudio.
- Los fondos detríticos dominados por invertebrados *F. quadrangularis*, *V. cynomorium*, *Pennatula* sp. o *Sabella* sp., entre otros, se proponen como hábitats vulnerables a ser incluidos dentro del hábitat 1110. Dada la fragilidad de las características de las especies identificadas (tamaño, crecimiento y longevidad), se considera oportuna su conservación. La inclusión de estas comunidades aumentaría la superficie del hábitat 1110 en el área de estudio.
- Se ha constatado la presencia de los hábitats 1180 "Estructuras submarinas causadas por emisiones de gases" y 8330 "Cuevas marinas sumergidas o semisumergidas" mediante métodos acústicos y químicos para el hábitat 1180 y mediante consulta bibliográfica para el 8330.

Distribución y Estado Ambiental de los Hábitats bentónicos

- En base a los umbrales de prevalencia y kappa utilizados en el este estudio, la superficie ocupada por un hábitat biogénico es de 83,06% y 38,87%, respectivamente.
- Los hábitats bentónicos vulnerables se extienden desde el entorno de los islotes hasta los 95 metros de profundidad.
- La distribución de los hábitats bentónicos en el área de estudio está muy ligada a la profundidad y al tipo de sustrato predominante. Las zonas rocosas someras y profundas albergan la mayor diversidad de hábitats y especies, ubicándose principalmente en el entorno de los islotes y los bajos presentes en el área del LIC. Las zonas aplaceradas muestran una mayor estabilidad en este aspecto siendo dominadas por fondos de rodolitos y fondos detríticos.

Gestión y Conservación

- Se han identificado diversos hábitats bentónicos con una importante componente biológica (n=17), algunos de ellos son vulnerables o albergan especies estructurantes que han sido reconocidas como indicadores de “Ecosistemas Marinos Vulnerables” según el Anexo I de las Directrices internacionales para la gestión de pesquerías profundas de alta mar (FAO, 2009).
- El hábitat 1170 ocupa un porcentaje del 25,58% (prevalencia) y del 5,78% (kappa). Respecto al total de la superficie ocupada por comunidades de arrecifes, según los umbrales, el 41,20% (prevalencia) o el 68,23% (kappa) se encuentra en el interior de la Reserva Marina y el resto entre los límites de la Reserva Marina y los del LIC.
- La mayoría del hábitat 1170 se encuentra en el entorno más cercano a los islotes a excepción de diversos bajos que se ubican más alejados del territorio emergido. Las zonas más cercanas a los islotes están dominadas por comunidades algales, excepto en las zonas de mayor pendiente y extraplomos que pueden estar dominadas por invertebrados. Los bajos rocosos están dominados por comunidades de coralígeno con especies de gran tamaño de algas ocrófitas o cnidarios.
- El hábitat 1110 ocupa un porcentaje del 53,62% (prevalencia) y del 32,61% (kappa). Respecto al total de la superficie ocupada por comunidades de bancos de arena cubiertos permanentemente por agua marina poco profunda, según los umbrales, el 43,27% (prevalencia) o el 38,64% (kappa) se encuentra en el interior de la Reserva Marina y el resto entre los límites de la Reserva Marina y los del LIC.
- La mayoría del hábitat 1110 se encuentra en las zonas aplaceradas entre los islotes, los fondos de maërl/rodolitos y cascajo predominan en estas áreas. A mayor profundidad encontramos una transición hacia fondos de carácter más arenoso y fangoso que en ocasiones están acompañados por invertebrados que pueden llegar a formar “campos” con gran abundancia de individuos.
- La presencia de estas comunidades sensibles y de los hábitats 8330 y 1180 confieren al entorno sumergido del archipiélago de las Islas Columbretes una singularidad única que lo convierte en un lugar prioritario para su conservación en el Mediterráneo Occidental.
- El grado de conservación de los hábitats de interés comunitario fue evaluado como excelente dado el reducido impacto de actividades antrópicas aunado a los esfuerzos de conservación que tienen lugar en el área de estudio desde hace más de tres décadas.
- El entorno sumergido del archipiélago de las Islas Columbretes, en relación a las comunidades bentónicas, cumple con la mayoría de los criterios que justifican su integración en la Red de Áreas Marinas Protegidas de España (RAMPE; RD 1599/2011) y que a continuación se detallan:
 - (i) representatividad del hábitat 1170 en las diferentes unidades geomorfológicas (colada lava norte, bajos, fondos aplacerados entorno de las islas, etc.), que engloba una diversidad de hábitats bentónicos biogénicos.
 - (ii) su carácter único o raro, típico de elevaciones submarinas donde se producen dinámicas y procesos ecológicos singulares.

(iii) su importancia para hábitats en peligro o declive demostrado por la elevada extensión ocupada por hábitats biogénicos vulnerables.

(iv) su grado de naturalidad, típico de unidades geológicas alejadas de costa - *offshore*- como es el caso de este archipiélago volcánico, donde el desarrollo de determinadas actividades que impactan sobre el lecho marino se ven limitadas.

(v) su vulnerabilidad-sensibilidad y lenta recuperación, avalada por la presencia de numerosos hábitats caracterizados por la presencia de fauna y flora sésil de gran tamaño, de vida larga, y por lo tanto, sensibles a cambios ambientales o actividades como la pesca.

(vi) su contribución a la conectividad al incluir diferentes unidades geomorfológicas y territorio emergido *off-shore* que facilita la migración, la distribución geográfica, la dispersión larvaria de especies sésiles y el intercambio genético entre poblaciones de diferentes lugares.

(vii) su importancia para el desarrollo de alguna de las fases del ciclo biológico de ciertas especies, basado en la elevada cobertura del área por hábitats biogénicos con especies estructurantes que proporcionan sustrato, cobijo y una gran variedad de recursos para diferentes grupos faunísticos.

Metodología

- La metodología empleada para predecir la distribución de los hábitats bentónicos permite obtener una zonificación clara que incluye la zona donde se localiza el hábitat de interés comunitario 1170- Arrecifes, por lo que se presenta como una metodología válida para su empleo en otras zonas de la Red Natura 2000. Esta metodología, basada en el principio de "*assemble first, predict later*" ("primero agrupar y luego predecir"), identifica en primer lugar las comunidades biológicas y los hábitats para posteriormente modelar y predecir su distribución.
- La mayor disparidad en los porcentajes de ocupación según el umbral utilizado (prevalencia y kappa) se encuentra en el hábitat "Roca circalitoral cubierta de sedimento" siendo un 21,91% y un 2,91%, respectivamente. En este sentido se considera más realista el porcentaje derivado del umbral kappa. El umbral prevalencia ha utilizado un porcentaje mínimo de probabilidad de presencia muy bajo provocando que el hábitat ocupe zonas en las cuales no se desarrolla. Por otra parte, el hábitat "Fondos detríticos dominados por *L. phalangium*" muestra grandes porcentajes de distribución independientemente del umbral utilizado, no obstante, se asume que la homogeneidad de variables en el área de estudio y los efectos de la toma de datos con la sonda multihaz son los causantes de esta distribución tan amplia. Por ello, deberían contemplarse más variables para obtener un modelado del hábitat más preciso, posiblemente, la inclusión del efecto de las corrientes podría definir mejor la distribución de esta especie. Con el objetivo de corregir algunos de estos errores se ha realizado un tercer mapa que combina los datos obtenidos mediante los modelos de distribución con el conocimiento del personal científico involucrado en el proyecto.

- La composición funcional de los hábitats biogénicos se ha analizado a raíz de los transectos de vídeo y de buceo. A través de datos derivados de campañas de pesca (LANCO) se ha constatado la presencia de más especies, sobretodo en fondos sedimentarios, que las identificadas en los transectos. Pese a que estos datos no se han añadido debido a la heterogeneidad de técnicas de muestreo y diferente resolución indican una mayor riqueza y diversidad de los fondos blandos del entorno sumergido del archipiélago.
- Los modelos realizados en la zona de estudio, a pesar de que las métricas de evaluación dan buenos resultados, deben ser interpretados con cautela y tener en cuenta en todo momento que son sólo aproximaciones espaciales. La calidad de los datos de reflectividad y batimetría, con marcas claras de las líneas de navegación, genera efectos espúreos de las variables derivadas como la pendiente y especialmente la orientación de la pendiente, lo cual tiene un claro efecto en los modelos, que en muchas ocasiones no encuentran correlaciones significativas con las variables explicativas. Además la incertidumbre ligada a los datos provenientes de inmersiones con escafandra autónoma o vídeo remolcado sin baliza de posicionamiento limita la capacidad del modelado.

Necesidades futuras

- Favorecer e incentivar los estudios para determinar la evolución de los hábitats de cara a que las medidas de gestión sean dinámicas y se adapten a posibles cambios en un océano cambiante.
- La obtención de datos ambientales de alta resolución en el entorno más cercano de los islotes, profundidades entre 0 y 40 metros, permitirá aplicar modelos de distribución al conjunto del área protegida unificando la metodología.
- Las variables ambientales obtenidas a gran resolución (1x1m) pueden servir para estudios de gran detalle en zonas de especial interés del archipiélago como las surgencias localizadas al sur de los islotes del Carallot.
- Soporte al desarrollo de un estudio preciso sobre el principal foco de emisiones localizado en el sur del archipiélago. Gracias a un análisis llevado a cabo en colaboración con expertos en la materia de diferentes centros oceanográficos se espera obtener una descripción holística de esta zona con una mayor precisión y profundidad.
- Potenciar el rol de las Reservas Marinas y en especial las Islas Columbretes como un laboratorio natural para conocer la dinámica del ecosistema y la interacción entre las diferentes comunidades.

7. Referencias bibliográficas

Akaike, H., 1973. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In Petrov, B. N., Csáki, F., 2nd International Symposium on Information Theory (pp. 267–281), Tsahkadsor, Armenia, USSR, September 2-8, 1971, Budapest: Akadémiai Kiadó.

Ancochea, E., Huertas, M.J., 2021. Age of volcanoes of the Columbretes Islands (Western Mediterranean). *Journal of Iberian Geology*. <https://doi.org/10.1007/s41513-021-00166-z>

Aparicio, A., García, R., 1995. El volcanismo de las Islas Columbretes (Mediterráneo Occidental). Quimismo y mineralogía. Boletín Geológico y Minero. Vol. 106-5 (468-488).

Barberá, C., Mallol, S., Vergés, A., Cabanellas-Reboredo, M., Díaz, D., Goñi, R. 2017. Maërl beds inside and outside a 25-year-old no-take area. *Marine Ecology Progress Series*, 572, 77–90. <https://doi.org/10.3354/meps12110>.

Bremner, J., Rogers, S.I., Frid, C.L.J., 2006. Methods for describing ecological functioning of marine benthic assemblages using biological traits analysis (BTA). *Ecological Indicators*, 6(3), 609-622. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2005.08.026>

Cabanellas-Reboredo, M., Mallol, S., Barberá, C., Vergés, A., Díaz, D., Goñi, R., 2017. Morpho- demographic traits of two maërl-forming algae in beds with different depths and fishing histories. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 1-13. <https://doi.org/10.1002/aqc.2827>

Castellón, A., Font, J., García-Lafona, E., 1990. The Liguro-Provençal-Catalan current (NW Mediterranean) observed by Doppler profiling in the Balearic Sea. *Scientia Marina* 54(3): 269-276.

Cohen, J., 1960. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20, 37–46. <https://doi.org/10.1177/001316446002000104>

Davies C.E., Moss, D., 1998. EUNIS Habitat Classification. Final Report to the European Topic Centre on Nature Conservation, European Environment Agency, with further revisions to marine habitats. November 1998.

Davies, C.E., Moss, D., 2004. EUNIS Habitat Classification. Marine Habitat Types: Proposals for Revised Criteria, July 2004. Report to the European Topic Centre on Nature Protection and Biodiversity, European Environment Agency. July 2004.

De la Torriente, A., Serrano, A., González-Irusta, J.M., Sánchez, F., 2020. Informe sobre la caracterización, cartografiado y estado de conservación de los hábitats bentónicos del SECO DE LOS OLIVOS Montaña submarina incluida en el LIC-ESZZ16003 “Sur de Almería – Seco de los Olivos” (Demarcación Estrecho Gibraltar-Alborán). https://intemares.es/sites/default/files/habitats_seco_de_los_olivos.pdf

De la Torriente Diez, A., González-Irusta, J.M., Serrano, A., Aguilar, R., Sánchez, F., Blanco, M., Punzón, A., 2022. Spatial assessment of benthic habitats vulnerability to bottom fishing in a Mediterranean seamount. *Marine Policy*, 135, 104850. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104850>

Directiva 92/43/CEE del Consejo de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres (Diario Oficial nº L 206 de 22/07/1992).

Erena, S.L., 2014. Espacio marino de Illes Columbretes. Proyecto LIFE+INDEMARES. Ed. Fundación Biodiversidad del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 86 pp.

Food and Agriculture Organization of the UN (FAO), 2009. International guidelines for the management of deep-sea fisheries in the high seas. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Fielding, A.H., Bell, J.F., 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation*, 24, 38–49. <https://doi.org/10.1017/S0376892997000088>

Fleiss, J.L., 1991. The Measurement of Interrater Agreement. In *Statistical Methods for Rates and Proportions* (pp. 212–304). New York: John Wiley and Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/0471445428>

Flemming, B.W., 2012. Comment on “Large-scale bedforms along a tideless outer shelf setting in the western Mediterranean” by Lo Iacono et al. (2010) in *Continental Shelf Research* vol. 30, pp. 1802-1813. *Continental Shelf Research*, 52,203-207. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2012.11.012>

Freeman, E.A., Moisen, G.G., 2008. A comparison of the performance of threshold criteria for binary classification in terms of predicted prevalence and kappa. *Ecological Modelling*, 217, 48-58. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.05.015>

García-Carrascosa, A.M., 1991. El bentos de los alrededores de las Islas Columbretes. Elementos para su cartografía bionómica. Pp. 466-499 en: *Islas Columbretes. Contribución al Estudio de su Medio Natural* (Matilla et al.) C.O.P.U.T. Generalitat Valenciana, Valencia.

Gaston, K.J., Spicer, J.I., 2004. *Biodiversity: An Introduction*. Blackwell Publishing, Oxford, UK. (Second Edition) ISBN 1 4051 18571.

González-García, E., Mateo-Ramírez, A., Urra, J., Farias, C., Marina, P., Lozano, P., López-González, P.J, Megina, C., Enrique García Raso, J., Gofas, S., López, E., Moreira, J., López-González, N., Sánchez-Leal, R.F., Fernández-Salas, L.M., Rueda, J.L., 2020. 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*, 160-161, 101892. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2020.101892>.

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>

Gonzalez-Mirelis, G., Buhl-Mortensen, P., 2015. Modelling benthic habitats and biotopes off the coast of Norway to support spatial management. *Ecological Informatics*, 30, 284–292. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2015.06.005>

Goñi, R., Reñones, O., Quetglas, A., Mas, J., 2001. Effects of protection on the abundance and distribution of red lobster (*Palinurus elephas*, Fabricius 1787) in the marine reserve of Columbretes Islands (Western Mediterranean) and surrounding areas. *Actas de las I Jornadas Internacionales sobre Reservas Marinas*. Secretaría General de Pesca, Publicaciones Especiales, 117:134

Goñi, R., Quetglas, A., Reñones, O., 2006. Spillover of spiny lobsters (*Palinurus elephas*) from a marine reserve to an adjoining fishery. *Marine Ecology Progress Series*, 308, 207–219. <http://doi.org/10.3354/meps308207>

Goñi, R., Hilborn, R., Díaz, D., Mallol, S., Adlerstein, S., 2010. Net contribution of spillover from a marine reserve to fishery catches. *Marine Ecology Progress Series* 400:233–243. <https://doi.org/10.3354/meps08419>

Goñi, R., Mallol, S., Díaz, D., Mora, J., Mateo, A., Muñoz, A., 2013. Estudio integral de la langosta roja (*Palinurus elephas*) en las Islas Baleares para el diseño de un sistema de gestión pesquera sostenible. Informe final 2013 proyecto LANBAL. Proyecto LANBAL (2010-2013). IEO- COB/LANBAL/13-1, 90 pág.

Hastie, T.J., and Tibshirani, R.J., 1990. Generalised additive models (p. 335). London, UK: Chapman and Hall.

Hijmans R.J., 2020. terra: geographic data analysis and modeling. <https://CRAN.R-project.org/package=raster>, R package version 3.3-13.

Jones, C.G., Lawton, J.H., Shachak, M., 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, 69, 373–386. <http://dx.doi.org/10.2307/3545850>.

Linares, C., Navarro, L., Aspillaga, E., Kersting, D., Hereu, B., Teixidó, N., Vidal, M., Ballesteros, E., Cebrián, E., Garrabou, J., Díaz, D., Amblás, D., Canals, M. 2012. Caracterización de las comunidades profundas dominadas por especies longevas (*Paramuricea clavata*, algas fucales y laminariales) en la Reserva Marina de las Islas Columbretes y su entorno. Informe final área. LIFE+INDEMARES (LIFE07/NAT/E/000732). Departamento de Ecología, Universidad de Barcelona. Coordinación: Fundación Biodiversidad, Madrid, 134 pp.

Linares, C., Vidal, M., Canals, M., Kersting, D.K., Amblas, D., Aspillaga, E., Cebrián, E., Delgado-Huertas, A., Díaz, D., Garrabou, J., Hereu, B., Navarro, L., Teixidó, N., Ballesteros, E., 2015. Persistent natural acidification drives major distribution changes in marine benthic

ecosystems. *Proceedings Real Society B*, 282: 20150587.
<https://doi.org/10.1098/rspb.2015.0587>.

Lo Iacono, C., Guillen, J., Puig, P., Ribó, M., Ballesteros, M., Palanques, A., Farrán, M., Acosta, J., 2010. Large-scale bedforms along a tideless outer shelf setting in the western Mediterranean. *Continental Shelf Research*, 30(17), 1802-1813.
<https://doi.org/10.1016/j.csr.2010.08.005>

Mallol, S., Barberá, C., Vergés, A., Díaz, D., Muñoz, A., Oliver, L., Goñi, R., 2014. Cumulative impact of fishing on maërl species. XVIII Simposio Ibérico de Estudios de Biología Marina. Libro de resúmenes: 170.

MarLIN, 2006. BIOTIC - Biological Traits Information Catalogue. Marine Life Information Network. Plymouth: Marine Biological Association of the United Kingdom. [Cited 11/10/21] Available from www.marlin.ac.uk/biotic

Martí, J., Mitjavila, J., Roca, E., Aparicio, A., 1992. Cenozoic magmatism of the Valencia Trough (western Mediterranean): relationship between structural evolution and volcanism. *Tectonophysics*, 203, 145-165. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(92\)90221-Q](https://doi.org/10.1016/0040-1951(92)90221-Q)

Martínez-Abraín, A., Ferris, V., Belenguer, R., 2002. Is growing tourism activity affecting the distribution or number of breeding pairs in a small colony of the Eleanora's Falcon. *Animal Biodiversity and Conservation*, 25 (2), 47-51.
<https://raco.cat/index.php/ABC/article/view/57499>

Meléndez Hevia, I., 2004. *Geología de España: Una historia de seiscientos millones de años*. Editorial Rueda, 277 pp. ISBN: 9788472071445.

Montefalcone, M., Tunesi, L., Ouerghi, A., 2021. A review of the classification systems for marine benthic habitats and the new updated Barcelona Convention classification for the Mediterranean. *Marine Environmental Research*, 169: 105387.
<https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2021.105387>

Moran, P.A.P., 1950. Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika* 37 (1/2), 17-23.

Muñoz, A., Lastras, G., Ballesteros, M., Canals, M., Acosta, J., Uchupi, E., 2005. Seafloor morphology of the Ebro Shelf in the region of the Columbretes Islands, Western Mediterranean. *Geomorphology*, 72 (1-4), 1-18.
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.04.012>

Palanques, A., Drake, D.E., 1990. Distribution and dispersal of suspended particulate matter on the Ebro continental shelf, northwestern Mediterranean Sea. *Marine Geology*, 95(3-4), 193-206. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(90\)90116-2](https://doi.org/10.1016/0025-3227(90)90116-2)

Pèrès, J., Picard, J., 1964. Nouveau Manuel de Bionomie benthique de la Mer Méditerranée. Recueil des Travaux de la Station Marine d'Endoume, 31(47), 1-137.

Sánchez, F., Rodríguez, J. M., 2013. Politolana, a new low cost towed vehicle designed for the characterization of the deep-sea floor. A: "Martech 2013 5th International Workshop on Marine Technology". Girona: SARTI, 2013.

Shannon, C.E., 1948. A mathematical theory of communication. The Bell System Technical Journal 27, 379-423.

Stobart, B., Warwick, R., González, C., Mallol, S., Díaz, D., Reñones, O., Goñi, R., 2009. Long term and spillover effects of a marine protected area on an exploited fish community. Marine Ecology Progress Series, 384: 47-60. <https://doi.org/10.3354/meps08007>

Templado, J., Calvo, M. (Eds.), 2002. Flora y Fauna de la Reserva Marina de Islas Columbretes. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, 263 pp.

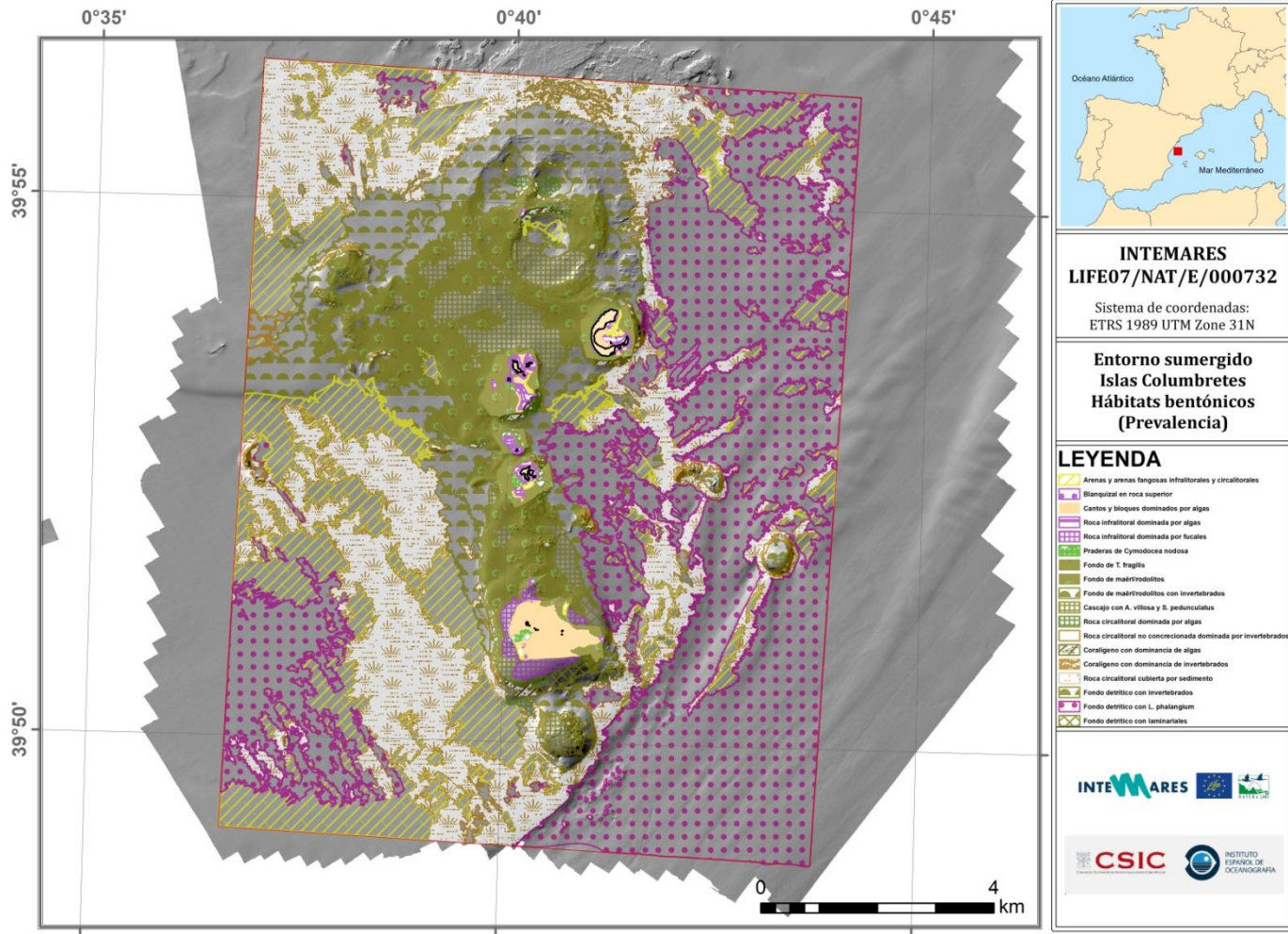
Templado, J., Ballesteros, E., Galparsoro, I., Borja, A., Serrano, A., Martín, L., Brito, A., 2012. Guía Interpretativa: Inventario Español de Hábitats y Especies Marinos. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (España).

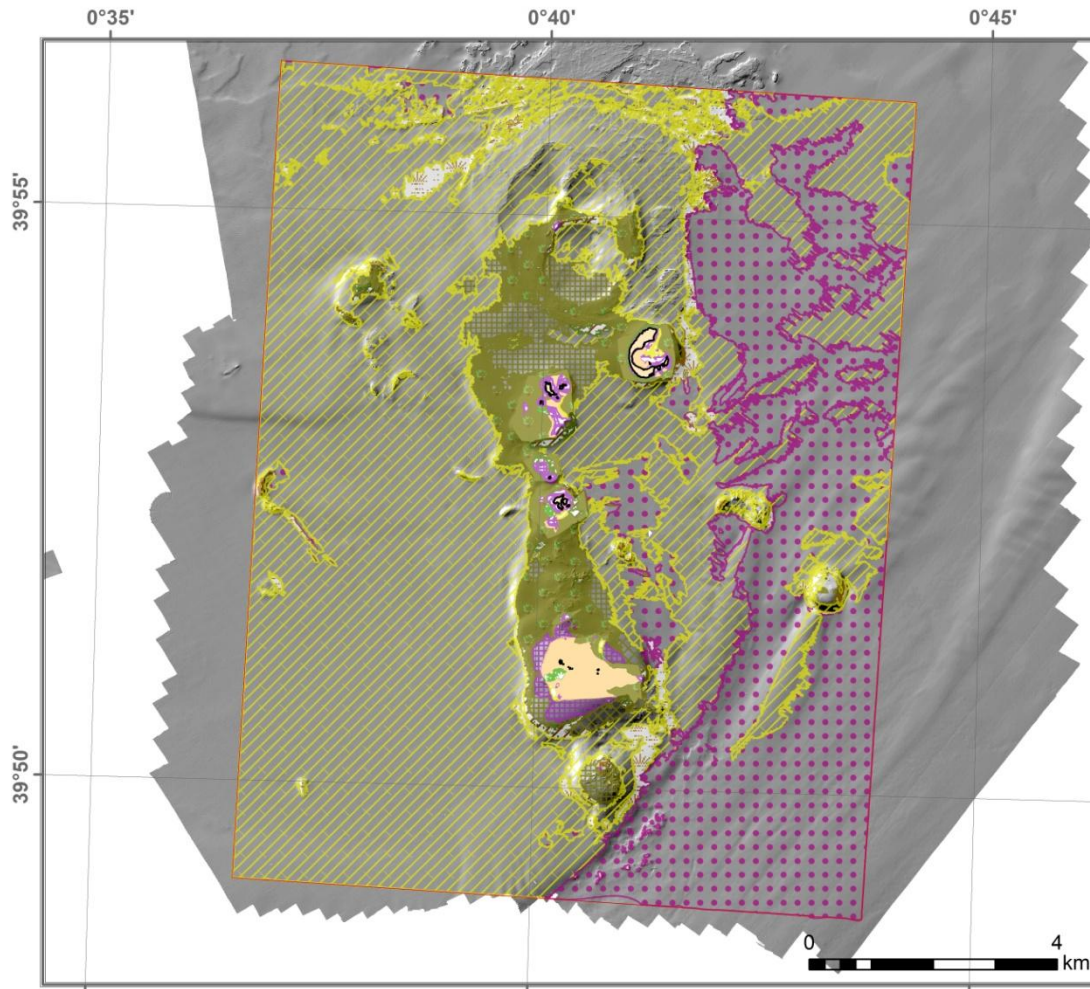
Teruel, L., Viñals, M.J., Morant, M., 2014. Análisis del turismo active en la Comunitat Valenciana. En XVIII Congreso AECIT: Turismo: liderazgo, innovación y emprendimiento.

WoRMS Editorial Board, 2022. World Register of Marine Species. Available from <http://www.marinespecies.org> at VLIZ. Accessed 2022-10-10. <https://doi.org/10.14284/170>

Wright, D. J., Lundblad, E. R., Larkin, E. M., Rinehart, R. W., Murphy, J., Cary-Kothera, L., Draganov, K., 2005. *ArcGIS Benthic Terrain Modeler*. Corvallis, Oregón, Universidad Estatal de Oregón, Davey Jones Locker Seafloor Mapping/Marine GIS Laboratory y NOAA Coastal Services Center. Accesible on-line en: <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=bodobe66fd33440d97e8c83d220e7926>.

ANEXOS





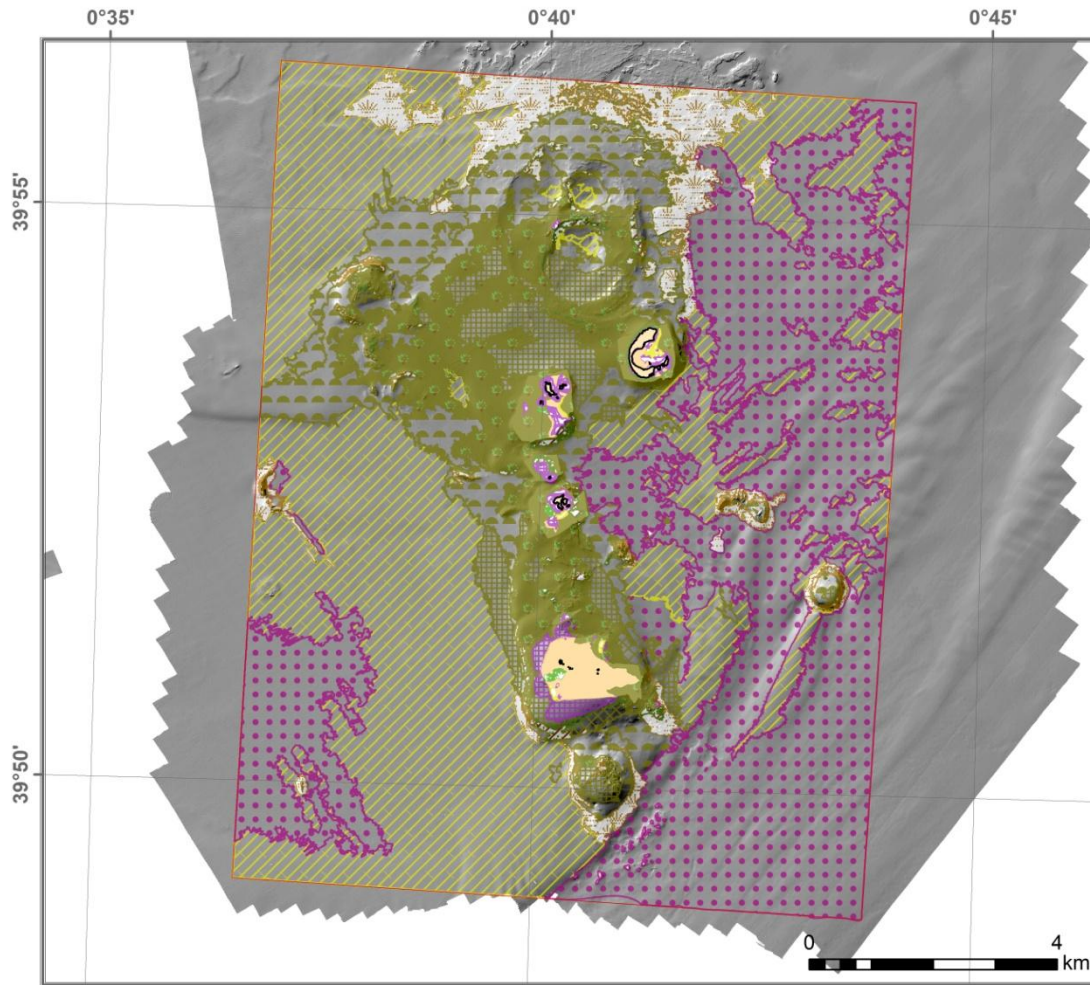
INTEMARES
LIFE07/NAT/E/000732

Sistema de coordenadas:
 ETRS 1989 UTM Zone 31N

**Entorno sumergido
 Islas Columbretes
 Hábitats bentónicos
 (Kappa)**

LEYENDA

-  Arenas y arenas fangosas infralitorales y circalitorales
-  Blanquezal en roca superior
-  Cantos y bloques dominados por algas
-  Roca infralitoral dominada por algas
-  Roca infralitoral dominada por forales
-  Praderas de *Cymodocea nodosa*
-  Fondo de *T. fragilis*
-  Fondo de maerírodolitos
-  Fondo de maerírodolitos con invertebrados
-  Cascajo con *A. villosa* y *S. pedunculatus*
-  Roca circalitoral dominada por algas
-  Roca circalitoral no conectada dominada por invertebrados
-  Corallígeno con dominancia de algas
-  Corallígeno con dominancia de invertebrados
-  Roca circalitoral cubierta por sedimento
-  Fondo detritico con invertebrados
-  Fondo detritico con *L. phalangium*
-  Fondo detritico con laminariales



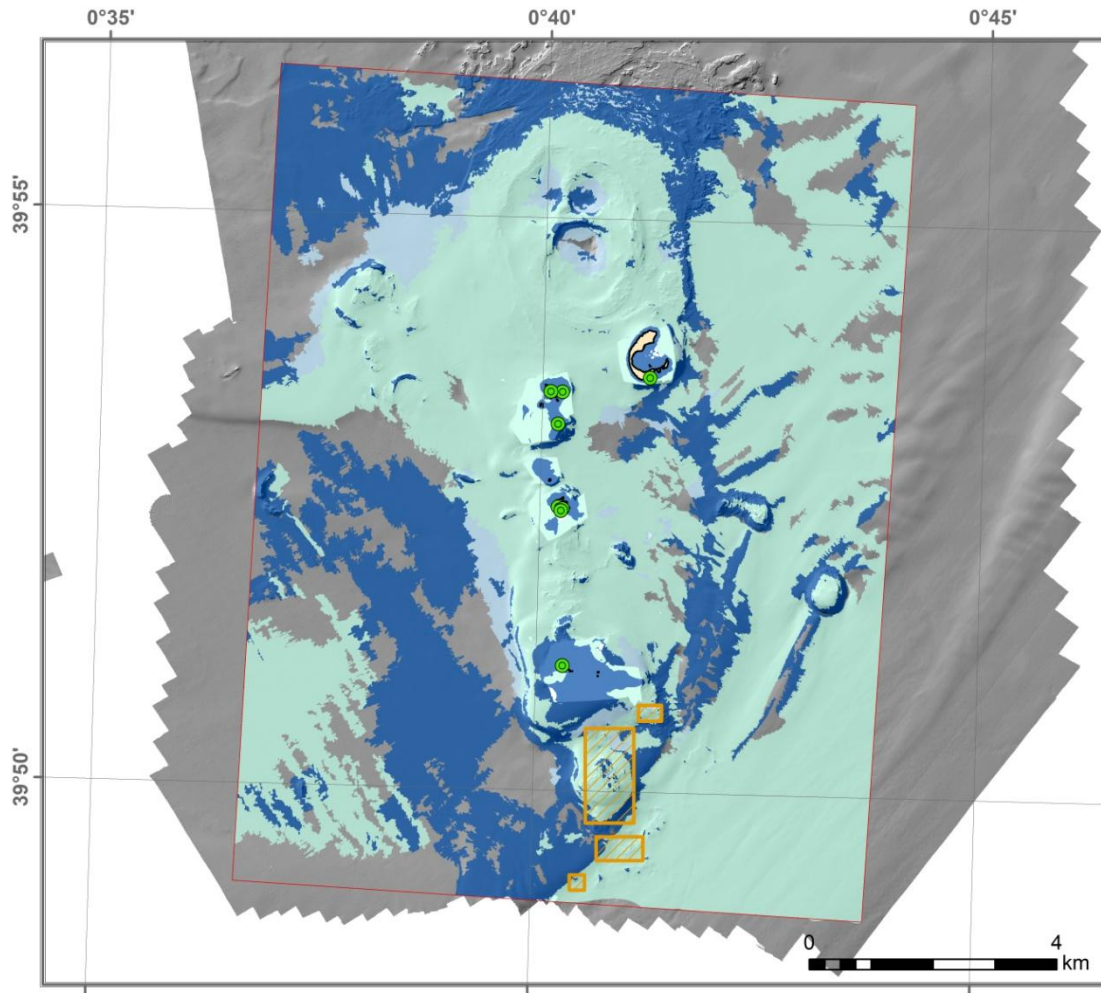
INTEMARES
LIFE07/NAT/E/000732

Sistema de coordenadas:
 ETRS 1989 UTM Zone 31N

Entorno sumergido
Islas Columbretes
Hábitats bentónicos
(Mixto)

LEYENDA

-  Arenas y arenas fangosas infralitorales y circalitorales
-  Blanquear en roca superior
-  Cantos y bloques dominados por algas
-  Roca infralitoral dominada por algas
-  Roca infralitoral dominada por fucales
-  Praderas de Cymodocea nodosa
-  Fondo de T. fragilis
-  Fondo de maiírodolitos
-  Fondo de maiírodolitos con invertebrados
-  Cascajo con A. villosa y S. pedunculatus
-  Roca circalitoral dominada por algas
-  Roca circalitoral no concrecionada dominada por invertebrados
-  Coralígeno con dominancia de algas
-  Coralígeno con dominancia de invertebrados
-  Roca circalitoral cubierta por sedimento
-  Fondo detritico con invertebrados
-  Fondo detritico con L. platangium
-  Fondo detritico con laminariales








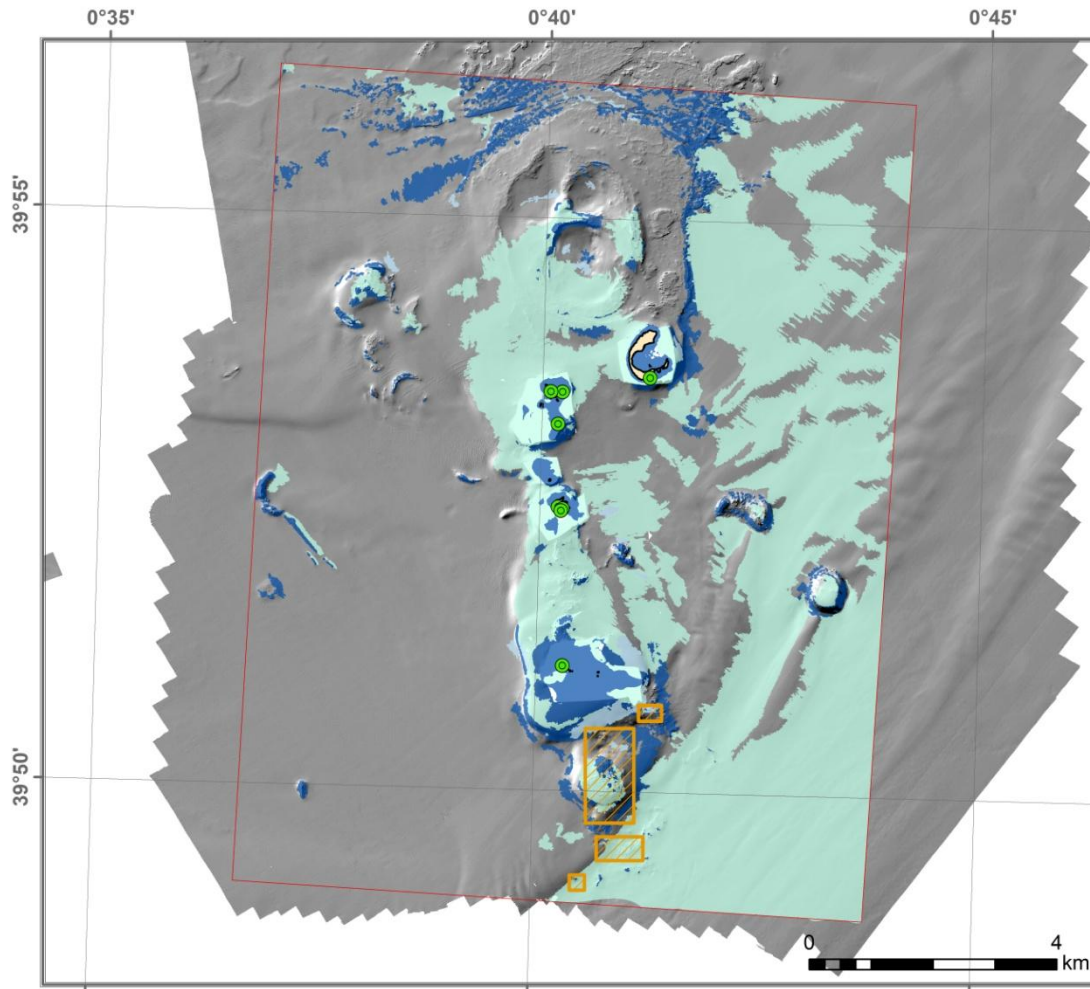
**INTEMARES
LIFE07/NAT/E/000732**

Sistema de coordenadas:
ETRS 1989 UTM Zone 31N

**Entorno sumergido
Islas Columbretes
Hábitats bentónicos
(Prevalencia)**

LEYENDA






	1110
	1110 (P)
	1170
	1180
	8330

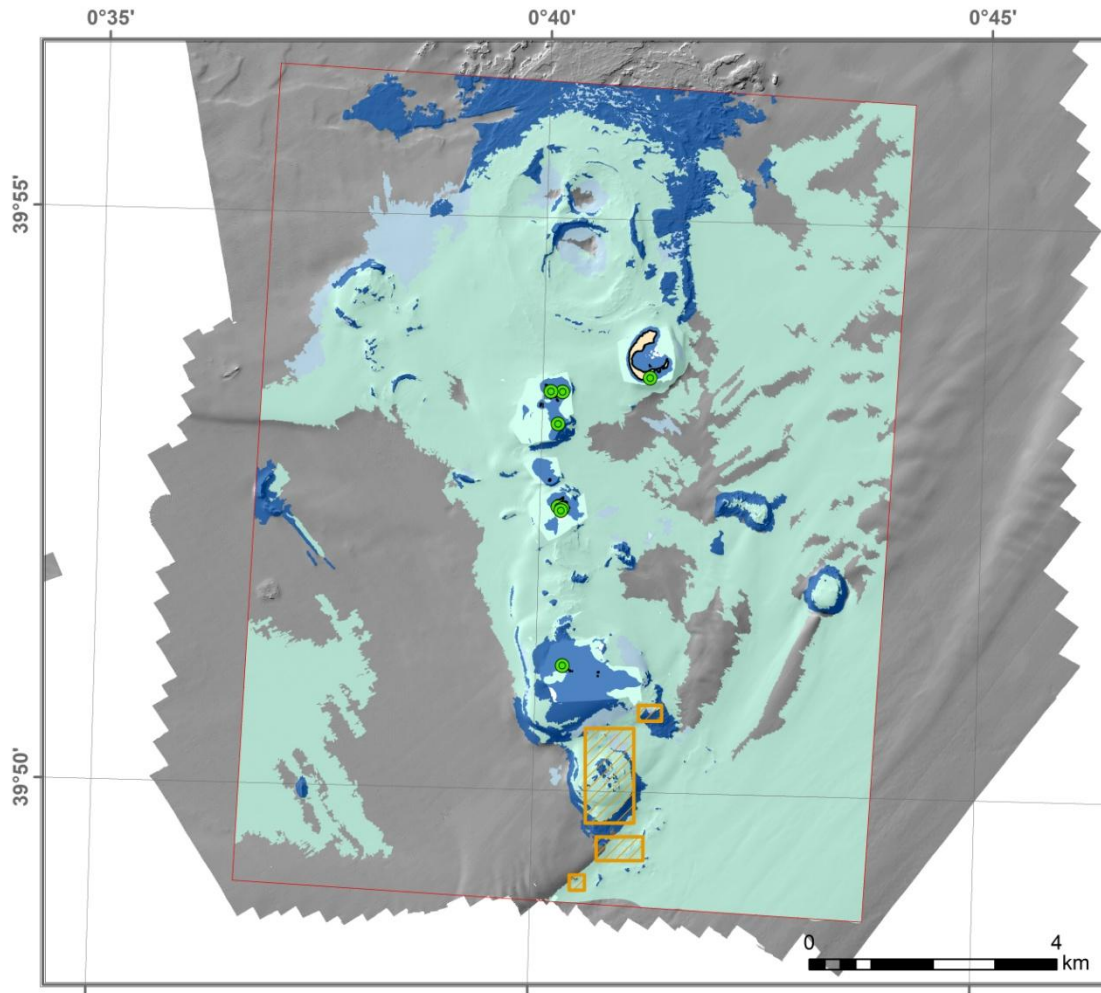


INTEMARES
LIFE07/NAT/E/000732
 Sistema de coordenadas:
 ETRS 1989 UTM Zone 31N

Entorno sumergido
Islas Columbretes
Hábitats bentónicos
(Kappa)

LEYENDA

	1110
	1110 (P)
	1170
	1180
	8330



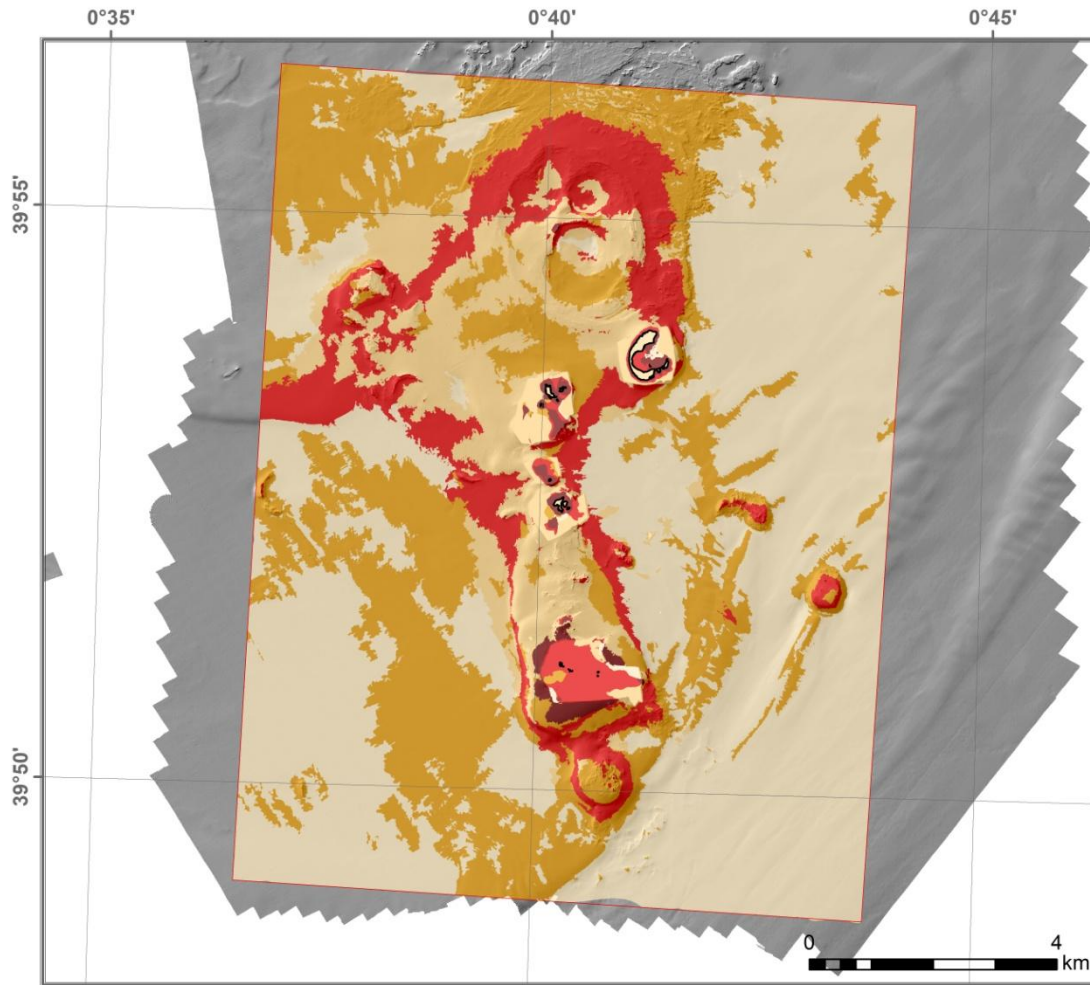
INTEMARES
LIFE07/NAT/E/000732

Sistema de coordenadas:
 ETRS 1989 UTM Zone 31N

Entorno sumergido
Islas Columbretes
Hábitats bentónicos
(Mixto)

LEYENDA

- 1110
- 1110 (P)
- 1170
- 1180
- 8330



INTEMARES
LIFE07/NAT/E/000732

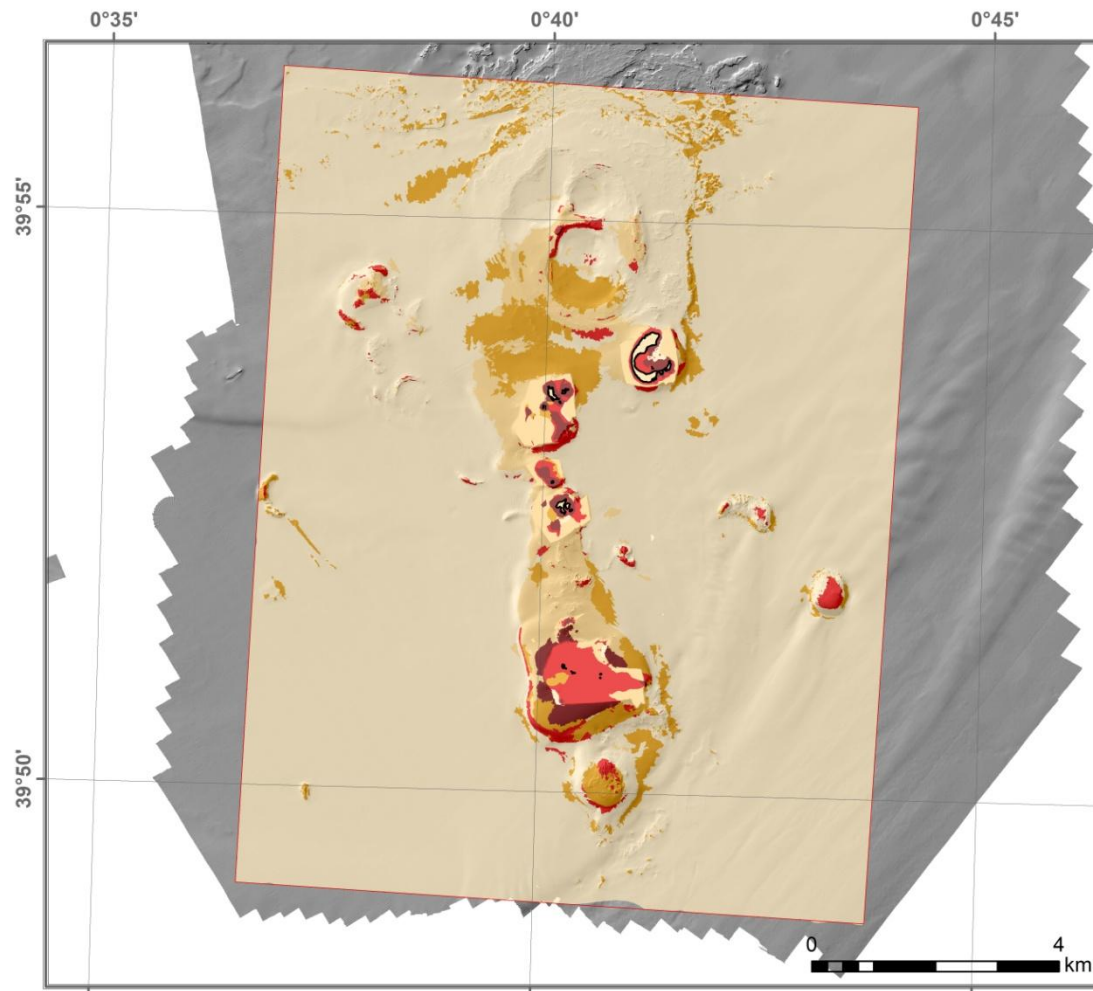
Sistema de coordenadas:
 ETRS 1989 UTM Zone 31N

Entorno sumergido
Islas Columbretes
Hábitats Bentónicos
(Prevalencia)

LEYENDA

Riqueza específica de especies

	0 - 1
	2 - 6
	7 - 13
	14 - 22
	23 - 34



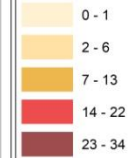
INTEMARES
LIFE07/NAT/E/000732

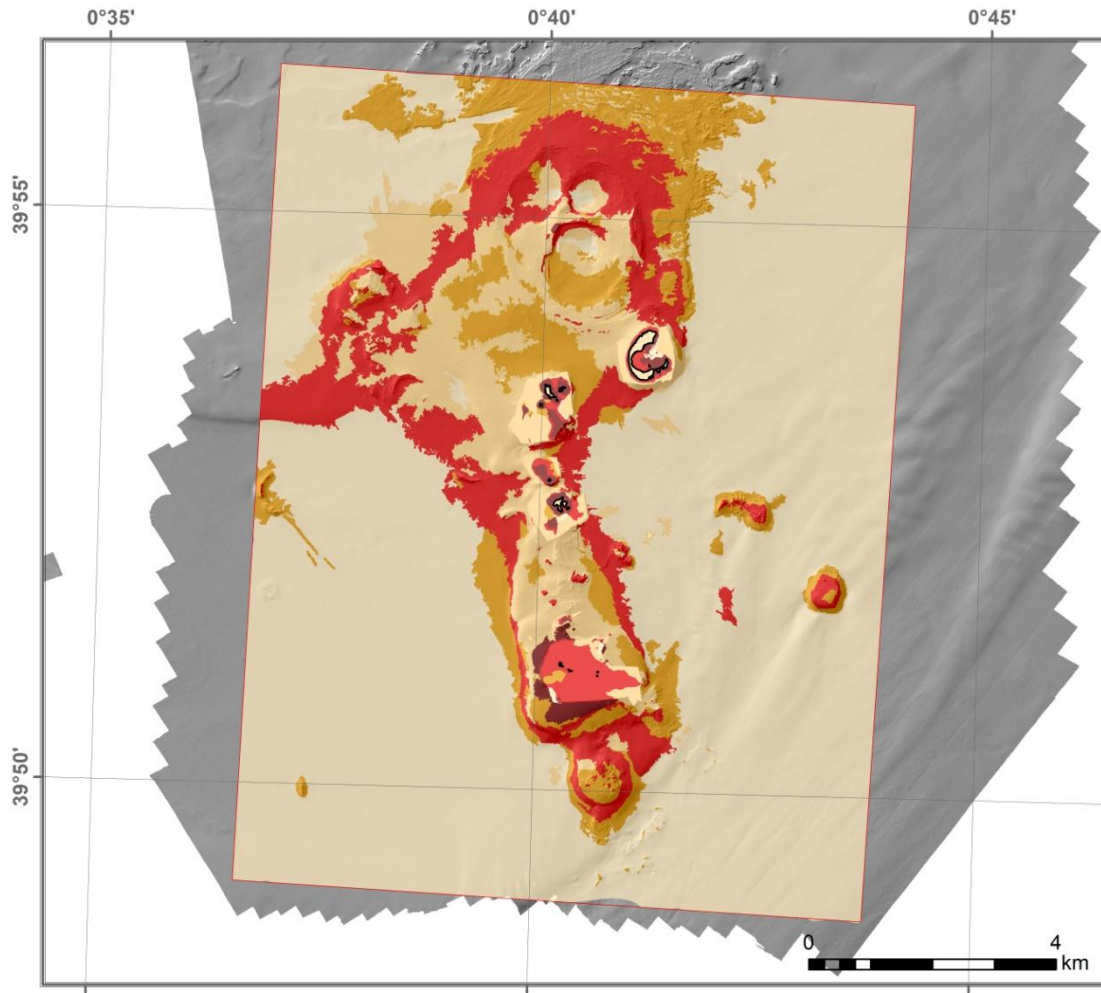
Sistema de coordenadas:
ETRS 1989 UTM Zone 31N

Entorno sumergido
Islas Columbretes
Hábitats Bentónicos
(Kappa)

LEYENDA

Riqueza específica de especies





INTEMARES
LIFE07/NAT/E/000732

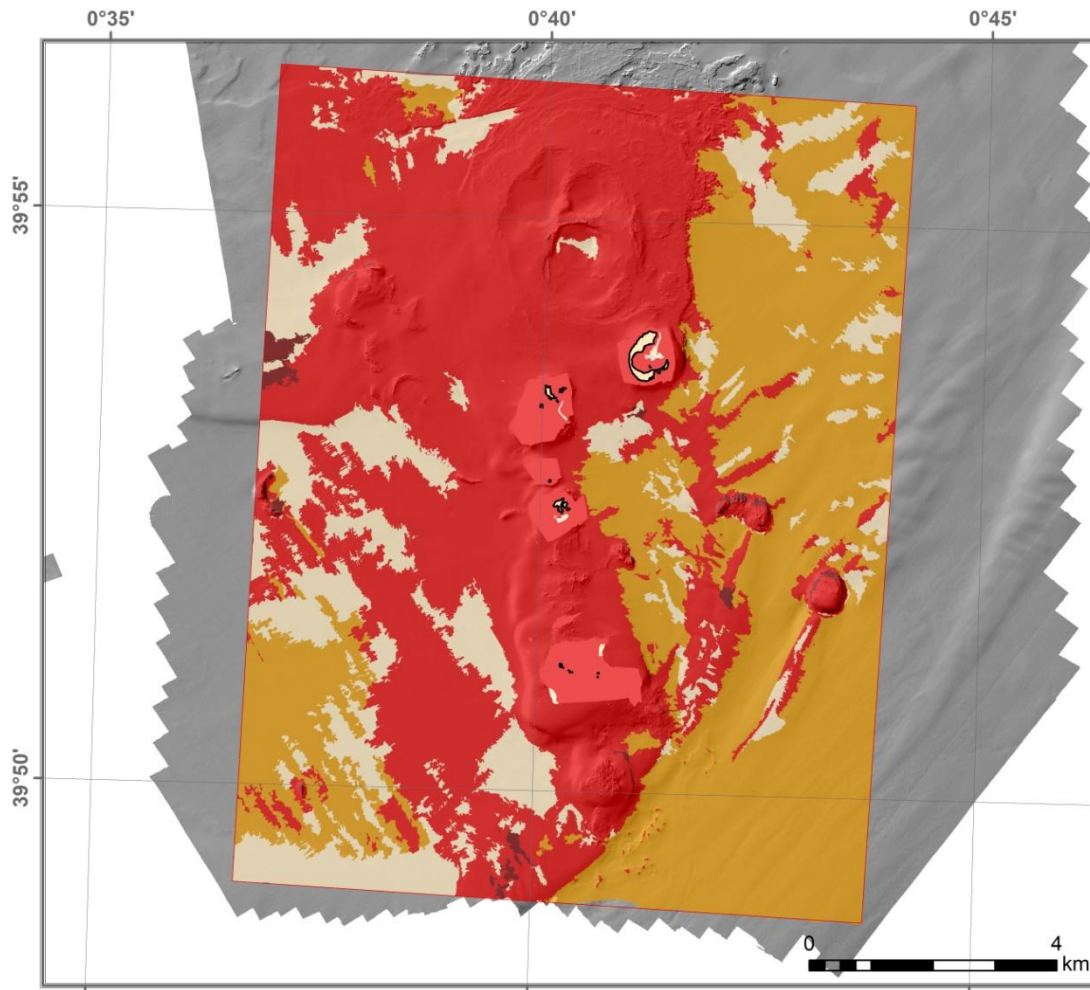
Sistema de coordenadas:
ETRS 1989 UTM Zone 31N

Entorno sumergido
Islas Columbretes
Hábitats Bentónicos
(Mixto)

LEYENDA

Riqueza específica de especies

0 - 1
2 - 6
7 - 13
14 - 22
23 - 34



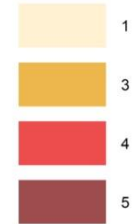
INTEMARES
LIFE07/NAT/E/000732

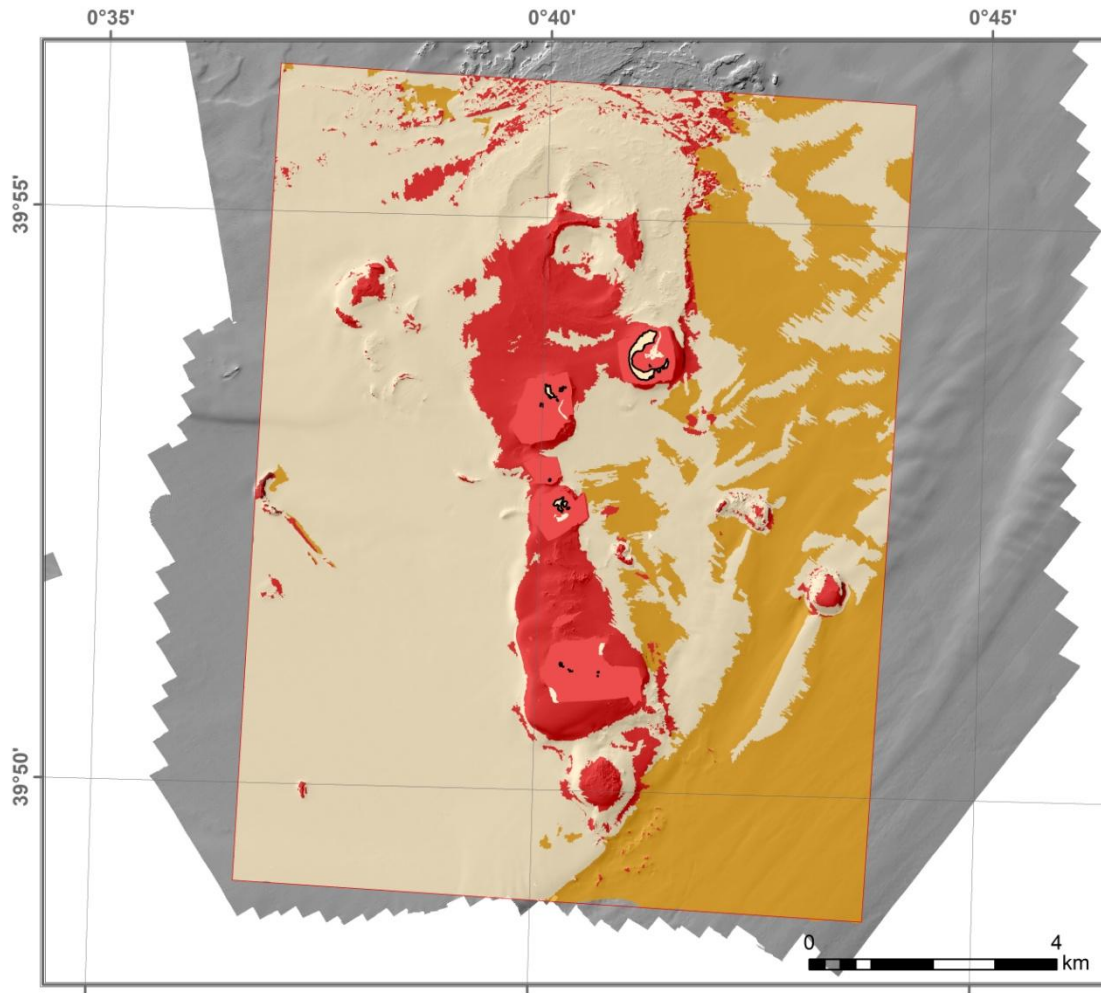
Sistema de coordenadas:
ETRS 1989 UTM Zone 31N

Entorno sumergido
Islas Columbretes
Hábitats bentónicos
(Prevalencia)

LEYENDA

Sensibilidad arrastre









INTEMARES
LIFE07/NAT/E/000732

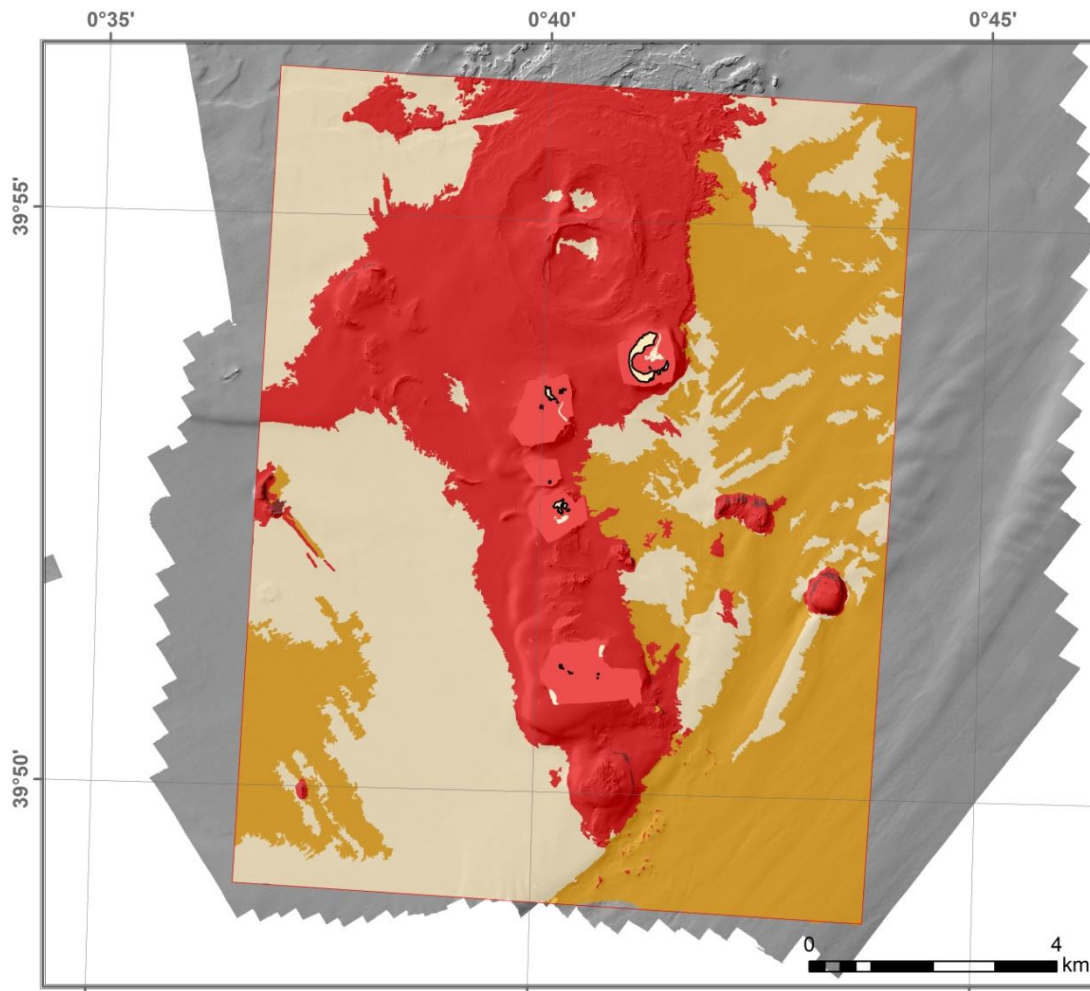
Sistema de coordenadas:
 ETRS 1989 UTM Zone 31N

Entorno sumergido
Islas Columbretes
Hábitats bentónicos
(Kappa)

LEYENDA

Sensibilidad arrastre

	1
	3
	4
	5



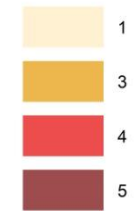
INTEMARES
LIFE07/NAT/E/000732

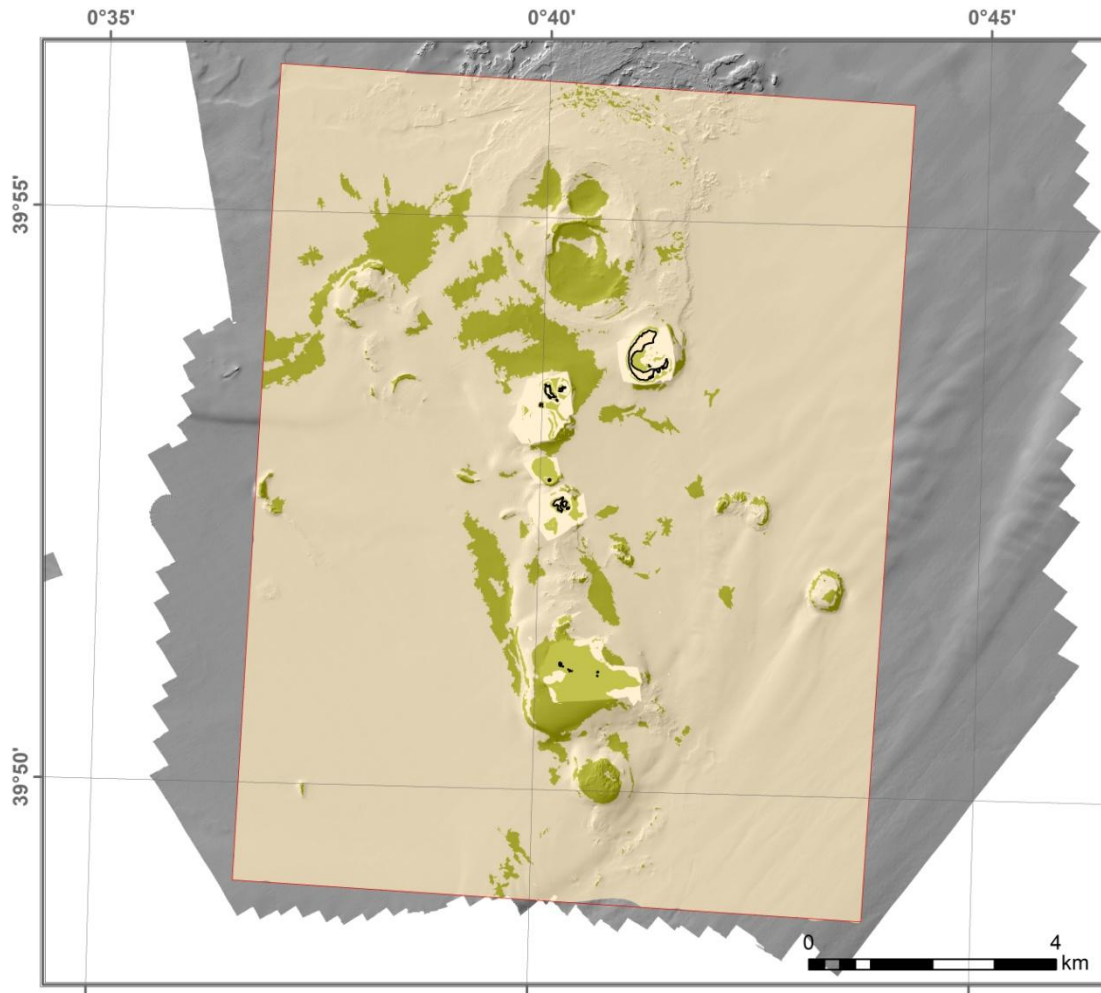
Sistema de coordenadas:
 ETRS 1989 UTM Zone 31N

Entorno sumergido
Islas Columbretes
Hábitats bentónicos
(Mixto)

LEYENDA

Sensibilidad arrastre





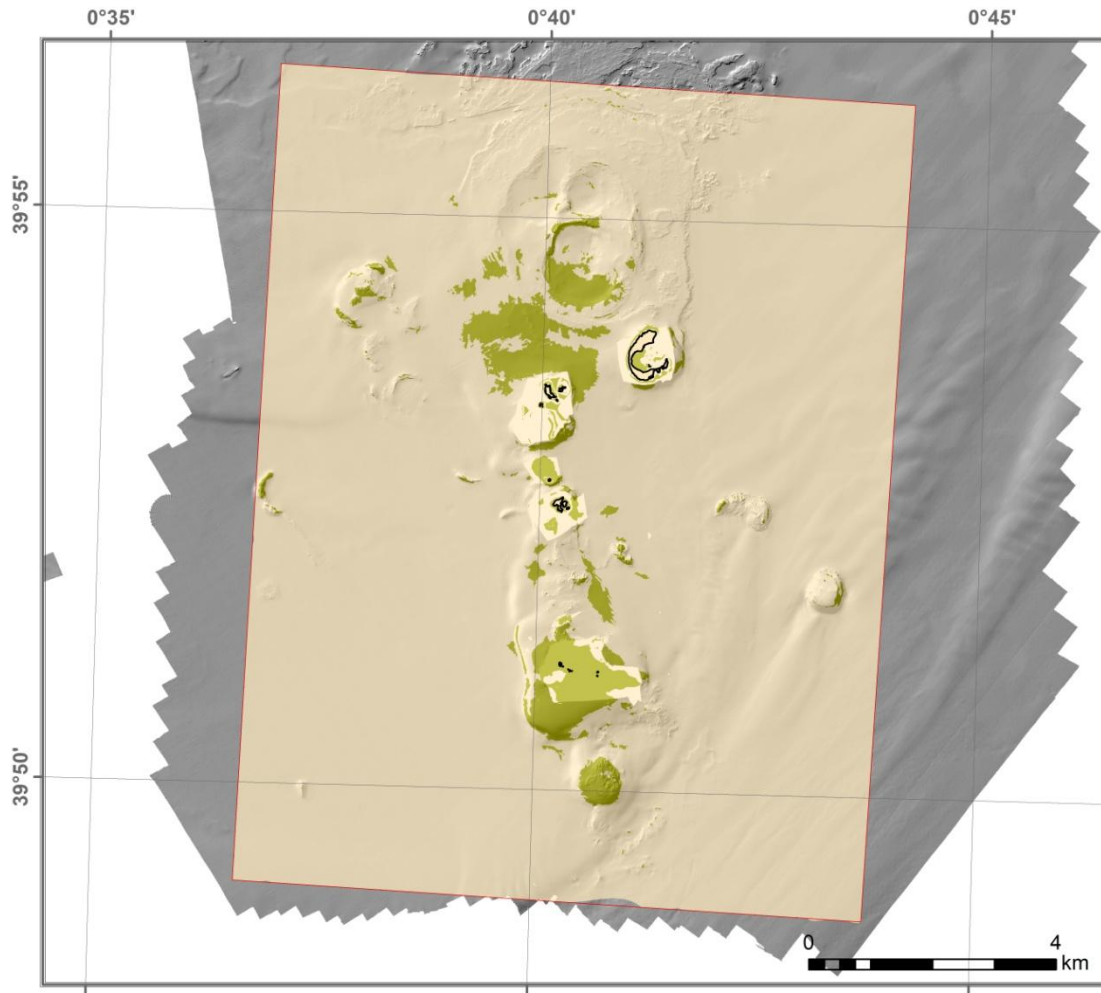
INTEMARES
LIFE07/NAT/E/000732

Sistema de coordenadas:
ETRS 1989 UTM Zone 31N

Entorno sumergido
Islas Columbretes
Hábitats Bentónicos
(Prevalencia)

LEYENDA

- Sensibilidad palangre fondo**
- 1
 - 2



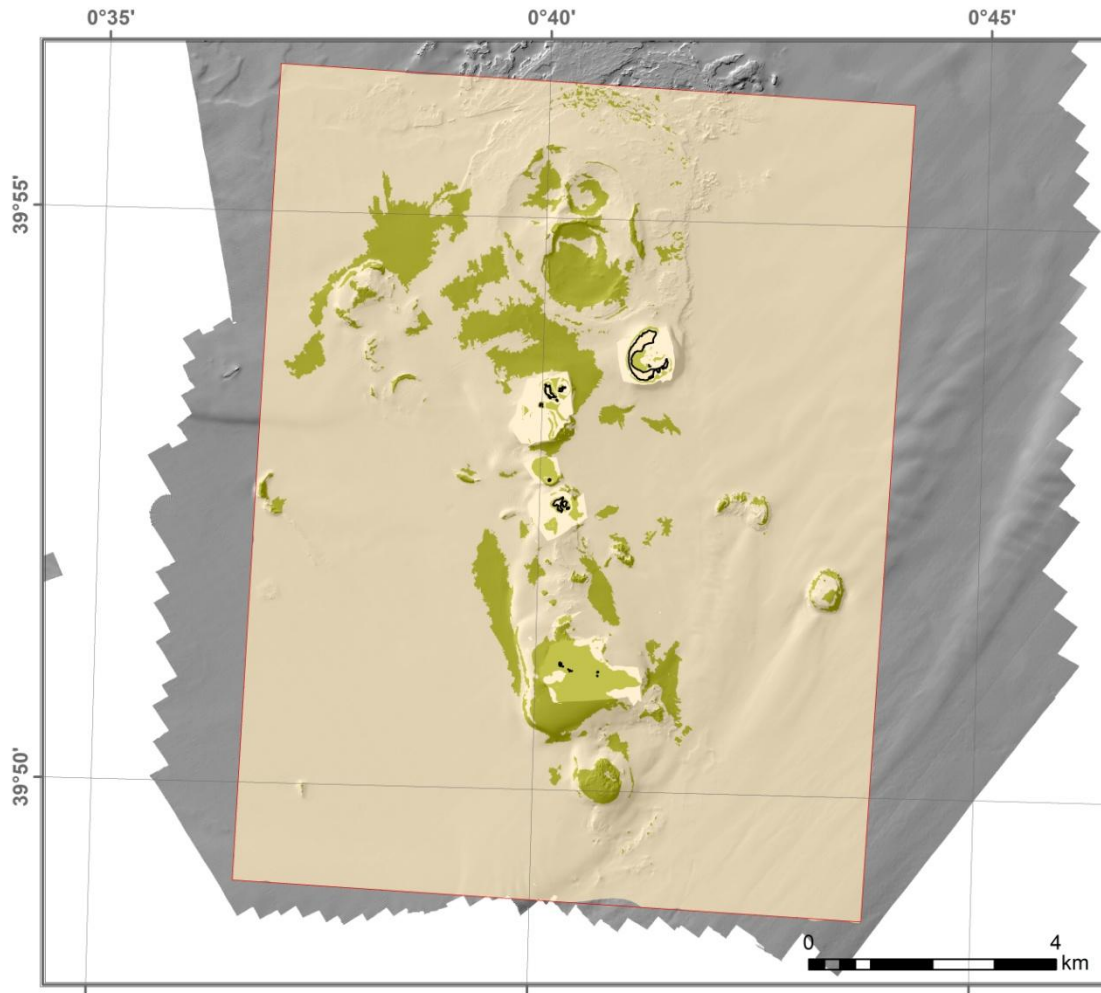
INTEMARES
LIFE07/NAT/E/000732

Sistema de coordenadas:
ETRS 1989 UTM Zone 31N

Entorno sumergido
Islas Columbretes
Hábitats Bentónicos
(Kappa)

LEYENDA

- Sensibilidad palangre fondo**
- 1
 - 2



INTEMARES
LIFE07/NAT/E/000732

Sistema de coordenadas:
 ETRS 1989 UTM Zone 31N

Entorno sumergido
Islas Columbretes
Hábitats Bentónicos
(Mixto)

LEYENDA

Sensibilidad palangre fondo

	1
	2