



PROYECTOS DE
INVESTIGACIÓN-
CONSERVACIÓN

Cartografía temática de praderas de angiospermas marinas para la obtención de información de los *stocks* de carbono azul en Andalucía

María Teresa Carreto¹, Agustín Barraji3n Domenech¹, Diego Moreno¹, Jos3 Miguel Rem3n¹, Julio De la Rosa¹, Manuel Fern3ndez-Casado¹, Mari Carmen Arroyo¹, Elena D3az-Almela² y Soledad Vivas¹.

¹ Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andaluc3a, c/Johan G. Gutenberg 1, 41092 - Sevilla

² Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CSIC), 17300 - Blanes, Spain

RESUMEN:

El Proyecto Life Blue Natura (LIFE14 CCM/ES/000957), cuyas actividades comenzaron en 2015, tiene como uno de sus objetivos principales cuantificar los dep3sitos y las tasas de secuestro de carbono de los h3bitats de las praderas de angiospermas marinas (Acci3n C1) y marismas de marea (Acci3n C2) en Andaluc3a (los resultados de esta segunda acci3n son objeto de otro trabajo en este mismo volumen). Previamente, dentro del Proyecto se acometi3 otro objetivo b3sico dirigido a elaborar una cartograf3a integrada actualizada de praderas (Acci3n A1) que completara la informaci3n previa y vinculara la distribuci3n y extensi3n de las formaciones de angiospermas marinas con el tipo de sustrato y la batimetr3a. Esta cartograf3a integrada ha resultado fundamental para avanzar en otras acciones del proyecto, como la estima de los *stocks* de carbono azul en Andaluc3a.

El presente trabajo se centra en la Acci3n A1 de cartograf3a y caracterizaci3n de h3bitats. Durante el Life Blue Natura, el Programa de gesti3n Sostenible del Medio Marino Andaluz (Junta de Andaluc3a) ha cartografiado 11 3reas con presencia de praderas que no pudieron incluirse en el Proyecto Life+ *Posidonia* Andaluc3a (LIFE 09 NAT/ES/000534) (2011-2015) al no pertenecer a la Red Natura 2000. Estas cartograf3as nuevas, o que han actualizado otras existentes, realizadas desde Almer3a a C3diz, han permitido aportar casi 1600 ha al inventario previo, lo que significa un 13,6% del total, destacando las 340 ha de *Posidonia oceanica* estudiadas en la ensenada de Almerimar (Almer3a), las 308 ha de

Cymodocea nodosa frente a la Universidad de Almería, y las 425 ha de *Zostera noltei* en el Parque Natural Bahía de Cádiz.

Se detallan las fuentes de información empleadas (cartografías, batimetrías, capas de tipos de fondos, etc.), el proceso de elaboración, así como los resultados de la cartografía integrada. De las 11.751 ha de praderas de angiospermas marinas que se conocen actualmente en Andalucía, 11.212 ha están dentro de espacios naturales protegidos, lo que representa el 95,41% del total. La mayoría son de *P. oceanica* con 7.097 ha (60,40% del total), seguida por *C. nodosa* con 4.179 ha (35,36%), por *Z. noltei* con 474 ha (4,03%) y por *Zostera marina* con 0,09 ha (0,0008%).

Una vez estuvo operativa la cartografía integrada, se incorporaron los datos del estudio de flujo y *stock* de CO₂ obtenidos en praderas andaluzas para el Life Blue Natura (Acción C1) por el equipo del Grupo de Ecología de Macrófitos Acuáticos (GAME, por sus siglas en inglés) del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Estos estudios se han realizado sobre *P. oceanica*, *C. nodosa* y *Z. noltei*, en 32 estaciones donde se recogieron 88 testigos (*cores*), 14 de ellos con *vibrocores*, a distintas profundidades y en diferentes tipologías de pradera (sanas y degradadas, sobre sedimento o sobre roca, etc.), empleando tanto técnicas de buceo autónomo, como instrumental del buque oceanográfico García del Cid, del CSIC.

Toda esta información se suma a obtenida por la Red POSIMED del estado de las praderas de *P. oceanica* con 35 estaciones fijas de seguimiento. Además, se han considerado 8 tramos de litoral para que los resultados se ajustaran al gradiente natural este-oeste existente en Andalucía. De esta forma se han podido obtener mapas temáticos de flujo, de *stock* de CO₂ y de biomasa del dosel foliar que constituyen uno de los principales logros del Life Blue Natura. Todos estos resultados son públicos y pueden consultarse en la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM), <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam>.

Palabras clave: *Posidonia*, cartografía, SIG, praderas en regresión, “mata muerta”, *stock* de carbono azul, flujos de carbono, sumidero CO₂

ABSTRACT:

The Life Blue Natura Project (LIFE14 CCM/ES/000957), whose activities began in 2015, has as one of its main objectives to quantify the carbon deposits and sequestration rates of seagrass meadows (Action C1) and tidal marsh habitats (Action C2) in Andalusia (the results of this second action are the subject of another work in this volume). Previously, within the Project, another basic objective was undertaken, focused on developing an updated integrated cartography of seagrass meadows (Action A1) that completes the previous cartographies and links the distribution and extension of this habitats with the type of substrate and bathymetry. This integrated cartography has been essential to complete other actions of the project, such as estimating blue carbon stocks in Andalusia.

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN-CONSERVACIÓN

The present document focuses on Action A1 of cartography and habitat characterization. During the development of Life Blue Natura, the Sustainable Management Program for the Andalusian Marine Environment has mapped 11 areas with the presence of seagrass meadows that were not included in the Life+ *Posidonia* Andalusia Project (2011-2015) for not belonging to the Natura 2000 network. These new cartographies, or those that have updated existing ones, carried out from Almería to Cádiz, have allowed to contribute almost 1600 ha of meadows to the existing inventory, which means 13.6% of the total, highlighting the 340 ha of *Posidonia oceanica* studied in the Almerimar bay (Almería), the 308 ha of *Cymodocea nodosa* off the University of Almería, and the 425 ha of *Zostera noltei* in the Bay of Cadiz Natural Park.

The sources of information used (cartographies, bathymetries, layers of types of bottoms, etc.), the elaboration process, as well as the results of the integrated cartography are detailed. Of the 11,751 ha of marine angiosperm meadows currently known in Andalusia, 11,212 ha are within protected natural areas, representing 95.41% of the total. Of all these meadows the majority are formed by *P. oceanica* with 7,097 ha (60.40% of the total), followed by *C. nodosa* with 4,179 ha (35.36%), by *Z. noltei* with 474 ha (4.03%) and by *Zostera marina* with 0.09 ha (0.0008%).

Once the integrated cartography was operational, the data from the CO₂ flux and stock study obtained in Andalusian meadows (Action C1, Life Blue Natura) were incorporated by the team Group of Aquatic Macrophyte Ecology (GAME) of the Higher Research Council Scientific (CSIC). These studies have been carried out on *P. oceanica*, *C. nodosa* and *Z. noltei*, in 32 stations where 88 cores were collected, 14 of them with vibrocorer, in a wide variety of depths, and in different typologies of meadows (healthy and degraded, on sediment or on rock, etc.), using both autonomous diving techniques and instruments from the oceanographic vessel García del Cid, of the CSIC.

All this information is added to that obtained by the POSIMED Network of the conservation status of the *P. oceanica* meadows with 35 fixed monitoring stations. In addition, 8 stretches of coastline have been considered so that the results fit the natural east-west gradient existing in Andalusia. In this way, thematic maps of flow, CO₂ stock and biomass of the foliar canopy have been obtained, which constitute one of the main achievements of Life Blue Natura. All these results are public and can be consulted in the Andalusian Environmental Information Network (REDIAM), <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam>.

Key words: *Posidonia*, cartography, GIS, seagrass meadows in regression, “dead matte”, blue carbon stock, carbon flows, CO₂ sink

1. INTRODUCCIÓN

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN- CONSERVACIÓN

Durante siglos, los esfuerzos cartográficos se han centrado en la representación geográfica de continentes y mares, incluyendo accidentes costeros, puertos, faros, fondeaderos naturales, batimetrías y, puntualmente, las características del fondo, indicando simplemente si es de arena, de roca, de fango o de otra naturaleza. En el último cuarto del siglo XX se avanzó considerablemente en Europa, y en concreto en el Mediterráneo, en las metodologías de representación para poder disponer de cartografías bionómicas del fondo marino, conocer la distribución de los distintos hábitats y poder realizar una gestión adecuada de espacios naturales protegidos. Así, se fueron utilizando distintos métodos para obtener información del fondo marino y representarla en el papel, como fotos aéreas, teledetección, métodos acústicos (sondas, sonar, etc.), e inspecciones submarinas (buceo, Remote Operated Vehicle-ROV, vídeo remolcado, etc.). En el medio terrestre resulta de gran ayuda el empleo de ortofotos (fotografías aéreas georreferenciadas), pero en el mar su utilidad se restringe notablemente a las zonas más someras, debido la turbidez del agua o a los brillos en superficie.

Está generalmente admitido que cada método tiene sus ventajas y sus inconvenientes y que para obtener un buen resultado cartográfico es necesario utilizar distintas aproximaciones (Colantoni, 1995). El método más efectivo para cartografiar praderas de *Posidonia oceanica* en grandes extensiones es el sonar de barrido lateral, apoyado siempre con buceo que permite identificar y confirmar la naturaleza del fondo, y con la ayuda de fotos aéreas en zonas someras, hasta unos -10 m (Meinesz et al., 1981; Cinelli et al., 1995; Pasqualini et al., 1998). En Francia se realizaron las primeras cartografías de *P. oceanica* en el Parque Nacional de Port-Cros y en la isla de Porquerolles (Augier y Boudouresque, 1967, Augier, 1981). Se ha avanzado mucho en la interpretación de las imágenes de sonar, por ejemplo, identificando la naturaleza de los rodales de arena dentro de las praderas de *P. oceanica* y definiendo mejor los bordes, los tipos de praderas, etc. (Pasqualini et al., 2000; Savini, 2011; Abadie et al., 2015; Pergent et al., 2017; Duman et al., 2019) o en el detalle de los resultados que permite realizar “microcartografías” de aplicación en el monitoreo (Rende et al., 2015). Existen multitud de variantes de estos métodos, como el uso en vertical del sonar de barrido lateral (vertical oriented Sidescan Sonar-SSSv) para obtener la altura del dosel de la pradera, como ha sido aplicado en Agua Amarga en el Parque Natural Cabo de Gata-Níjar, Almería (Sánchez-Carnero et al., 2012). La proliferación de cartografías obtenidas en todos los mares del mundo ha permitido hacer revisiones del estado de conocimiento global de las praderas mediante sistemas acústicos (Gumusay et al., 2019). También se están utilizando técnicas de teledetección con sensores hiperespectrales para obtener cartografías de praderas como la realizada en el Parque Natural Cabo de Gata-Níjar entre 2007 y 2009 (Cabello et al., 2009; Méndez et al., 2011), aunque por el momento tienen solo buenos resultados en fondos someros menores de 10 m de profundidad y en zonas de aguas claras. Actualmente ya se están utilizando imágenes de satélite para amplias zonas geográficas (Topouzelis et al., 2018). Sin duda en un futuro próximo se utilizarán cada vez más estas técnicas.

A finales del siglo XX se realizaron muchos esfuerzos en poder representar los datos obtenidos del fondo marino en el papel. Así, en 1983, Meinesz y colaboradores publicaron una propuesta de normalización de símbolos que permitía representar las principales biocenosis marinas y así poder elaborar cartografías bionómicas. En España es pionero el trabajo de Ramos (1985) de la cartografía bionómica de los fondos marinos de la isla de Tabarca, que fue una herramienta básica para la declaración de la zona como Reserva Marina y primer espacio protegido marino en España. Los trabajos en el mar, previos a la elaboración en el papel de las cartografías bionómicas, se realizaban generalmente

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN-CONSERVACIÓN

mediante transectos de buceo. Otro ejemplo es la cartografía bionómica de la región de Murcia realizada mediante buceo y GPS diferencial (Calvín *et al.*, 1999).

Los primeros trabajos cartográficos sobre praderas marinas en Andalucía son de 1995-1996 en espacios protegidos de Almería (Luque y Templado, 2004), empleando para el levantamiento de información inmersiones con equipo autónomo. Poco después, en 1999 se realizó la cartografía del frente litoral del Estrecho empleando sonar y buceo (García-Gómez *et al.*, 2004). La cartografía de fondos en los Acantilados de Maro-Cerro Gordo (2000-2001) se realizó empleando un sonar de barrido lateral tanto para la caracterización del medio físico como de las comunidades bentónicas (Rey Salgado *et al.*, 2001). Más recientemente (2011-2015), en el marco del proyecto Life+ *Posidonia* Andalucía, se llevó a cabo la cartografía de angiospermas marinas dentro de la Red Natura 2000, en toda Andalucía oriental, utilizando sonar de barrido lateral y vídeo remolcado (Agencia de Gestión Agraria y Pesquera de Andalucía-AGAPA) con el apoyo de buceo de los técnicos del Programa de Gestión Sostenible del Medio Marino Andaluz en zonas someras (Mendoza *et al.*, 2014; Arroyo *et al.*, 2015; Ruiz *et al.*, 2015).

Además de estos proyectos regionales, existen otras cartografías realizadas a mayor escala con información relativa al medio físico y biológico, y en concreto de las praderas de angiospermas marinas, como el proyecto ESPACE (Sanz *et al.*, 2003), o la Ecocartografía del Litoral del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2008).

En el año 2004, la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía impulsó el Programa de Gestión Sostenible del Medio Marino Andaluz. Uno de los objetivos fundamentales desde sus inicios es el seguimiento de las praderas marinas. Además de un seguimiento anual de *P. oceanica* con estaciones fijas, este equipo técnico ha realizado diferentes cartografías de detalle de angiospermas marinas, mediante buceo, a lo largo de todo el litoral andaluz.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han supuesto en los últimos años un gran avance en cuanto al almacenamiento, organización, análisis y manejo de información cartográfica, con programas que cada vez son más potentes e intuitivos. Aunque los resultados no son tan rápidos y precisos como en el caso de las fotografías aéreas, los avances tecnológicos en cartografías submarinas ofrecen hoy un gran detalle y precisión de los fondos marinos, y se aplican ya en distintos ámbitos de la investigación y de la gestión costera.

Buena parte de los esfuerzos cartográficos marinos que se han realizado en el Mediterráneo y en Andalucía han tenido como objetivo las angiospermas marinas y, sobre todo, *Posidonia*, una planta extraordinaria cuyas praderas constituyen el hábitat más valioso del litoral. Se ha hablado mucho, y con razón, de la importancia tanto de la especie (incluida en el Anexo II del Convenio de Barcelona y en los Listados Español y Andaluz de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial), como del hábitat que es capaz de formar: las praderas de *P. oceanica* (1120 de la Directiva Hábitats, 92/43/CEE). Se trata del único hábitat marino considerado como prioritario en Europa. Además de ser una especie endémica del Mediterráneo, sus praderas tienen un papel fundamental en el litoral, puesto que lo protegen contra la erosión, tienen una elevada producción primaria, liberan gran cantidad de oxígeno, albergan una gran diversidad de flora y fauna, incluidas especies de peces y cefalópodos de interés comercial, retienen los sedimentos y hacen que las aguas sean más limpias y transparentes (Luque y Templado, 2004). Por otro lado, es una especie muy longeva que puede vivir durante cientos o miles de años, acumulando en sus suelos parte de ese carbono que ha ido asimilando, y evitando que se encuentre libre en forma de CO₂ en la atmósfera (Mateo *et al.*, 1997). Algunos de los ecosistemas marinos que secuestran

gran cantidad de carbono durante miles de años son las marismas y las praderas de angiospermas marinas (Duarte y Cebrián, 1996; Duarte *et al.*, 2005).

Las praderas de *P. oceanica* se han estudiado desde muchos puntos de vista. Se hace referencia aquí sólo a las características que tienen relación con los esfuerzos cartográficos, como los distintos tipos de praderas, los diferentes tipos de sustrato donde vive, sus cambios relacionados con la profundidad, su importancia como bioindicador, etc. Cada tipología de pradera muestra adaptaciones a sustratos y/o a profundidades distintas. Así, existen praderas muy someras (a veces las hojas llegan a la superficie del agua) que muestran “enanismo” y son de menor talla que las más profundas, aunque con una densidad de haces muy superior (Sánchez Lizaso, 1993). Por lo general, la densidad de haces decrece con la profundidad según disminuye la cantidad de luz que llega al fondo. Así, praderas a profundidades medias (10-15 m) pueden tener entre 400 y 700 haces, mientras que praderas profundas (20 m o más) tienen 200-300 haces (Sánchez-Lizaso, 2004c). La penetración de la luz en el agua, variable según las zonas geográficas, determina la profundidad límite a la que se pueden desarrollar las praderas (Duarte, 1991). Por ello, en las aguas transparentes de Almería las praderas de *P. oceanica* alcanzan unos 30 m de profundidad, mientras que en el extremo occidental de su distribución entre Málaga y Cádiz solo viven a 5-6 m (Moreno y Guirado, 2003; Moreno *et al.*, 2004; Arroyo *et al.*, 2015). Además, en la zonación marina, la presencia de angiospermas (o algas fotófilas) determina el límite inferior del piso infralitoral o zona bien iluminada, con respecto al piso siguiente más profundo, el circalitoral (Templado *et al.*, 2012).

Las praderas de *P. oceanica* se consideran biocenosis propias de fondos blandos (Pérès, 1967; Gamulin-Brida, 1967; Augier, 1982) puesto que todas las “hierbas” marinas comparten ancestros de origen terrestre con rizomas y raíces para fijarse a los sedimentos. Solo algunas de estas especies de angiospermas marinas, como *P. oceanica*, se han adaptado secundariamente a vivir sobre roca, como sucede en muchos puntos de Andalucía entre los que se puede mencionar el Parque Natural Cabo de Gata-Níjar (García-Raso *et al.*, 1992) y la Zona de Especial Conservación (ZEC) de Calahonda (García Raso *et al.*, 2010). No se puede descartar que estos enclaves de *P. oceanica* sobre sustrato duro, que en el mar de Alborán en muchas ocasiones están cerca de la costa, sean relictos de una presencia más extensa en un pasado reciente en el que las praderas de constituyeran la comunidad clímax, como lo siguen siendo ahora en el conjunto del Mediterráneo (Sánchez-Lizaso, 2004a), y que se hayan mantenido acantonadas sobre las rocas después de fuertes periodos de erosión. La vida sobre las rocas es posible para *P. oceanica* debido a la robustez de la planta en su conjunto, en comparación con otras angiospermas marinas, y también porque las raíces no tienen un papel fundamental en la captación de nutrientes, sino que actúan como un anclaje al sustrato (Sánchez-Lizaso, 2004b), que puede ser rocoso. También se ha observado que las praderas sobre roca soportan un mayor hidrodinamismo ya que resisten mejor el embate de las olas que si estuvieran enraizadas en sedimento (Vacchi *et al.*, 2017).

La complejidad y extensión de las praderas de *P. oceanica* es enorme. Además de ser una especie muy plástica que puede vivir sobre sustratos muy diversos, como ya se ha comentado, ocupa también un amplio rango batimétrico, desde la misma orilla hasta unos 30 metros de profundidad en el caso de Andalucía (Moreno y Guirado, 2003). La especie, que vive por toda la cuenca mediterránea, tiene su límite de distribución occidental en Andalucía entre las provincias de Málaga y Cádiz (Moreno *et al.*, 2004; Arroyo *et al.*, 2015). Precisamente en Andalucía se observa un acentuado gradiente este-oeste debido a las diferentes condiciones físicas de cada zona (temperatura, transparencia, hidrodinamismo, etc.), de forma que las praderas de Almería, donde tienen kilómetros de extensión y llegan

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN-CONSERVACIÓN

a -30 m, son muy diferentes a las de Málaga occidental, que son muy someras y raramente sobrepasan los 6 m de profundidad.

Una característica fundamental de *P. oceanica*, no observada en otras especies, es que la planta además de crecer en horizontal ampliando la extensión de la pradera, puede también hacerlo en vertical, sobre restos de rizomas y hojas de la misma planta, así como de los sedimentos retenidos, construyendo un entramado muy resistente que ha recibido el nombre de “mata” (del francés “matte”, ver Boudouresque y Meinesz, 1982; Boudouresque et al., 2015), y que puede tener hasta 4 metros de potencia y miles de años de edad (Mateo et al., 1997; Sánchez-Lizaso, 2004c). La acumulación milenaria de los restos orgánicos de la “mata”, que se han estimado de media de 0,175 cm/año, son muy variables y dependen de factores locales (Mateo et al., 1997), pero en conjunto constituyen un considerable stock de carbono (Mateo et al., 1997; Lo Iacono et al., 2008). Esta “mata” es importante por muchas razones, entre las que destacan la protección de las playas de la erosión costera y el secuestro de carbono que contribuye a la mitigación de la emisión de CO₂ a la atmósfera (Boudouresque et al., 2015).

Muchos son los impactos que pueden afectar a las praderas de *P. oceanica*, entre los que destacan las obras litorales, la contaminación, los vertidos, la pesca de arrastre, los dragados, el anclaje de embarcaciones, etc. (Pèrés y Picard, 1975). Un buen número de características de *P. oceanica* (su longevidad, su tamaño, la extensión de las praderas, ser una especie estenohalina, etc.) hacen que sea un excelente bioindicador (Augier, 1985; Pergent et al., 1995; Pergent-Martini et al., 2005; Montefalcone et al., 2006; Romero et al., 2008; Montefalcone, 2009; Cozza et al., 2019). Una de las propiedades singulares de *P. oceanica* es que al morir la planta por alguna causa y perder las hojas, suele quedar intacto el estrato de rizomas leñosos (la “mata”). Esta capa de entramado de restos vegetales y sedimento que queda donde antes hubo una pradera viva, recibe el nombre de “mata muerta” y está considerada como una biocenosis diferente que se denomina *Thanato-Posidonetum oceanicae* Augier y Boudouresque, 1975 (Augier, 1982; Meinesz et al., 1983). A finales del siglo XX se elaboraron cartografías locales donde se ilustraban porciones de fondo marino ocupadas por “mata muerta” de *P. oceanica* y que correspondían con zonas en regresión (Augier, 1981) y se utilizó la “mata muerta” de *P. oceanica* como un indicador del estado de los fondos (Pergent et al., 1995; Francour et al., 1999). Para poder evaluar la degradación de las praderas resulta muy útil determinar la proporción de pradera viva y de mata muerta que existen en una localidad. En Andalucía se realizó una cartografía bionómica para evaluar el impacto del vertido de la factoría DSM Deretil (Villaricos, Almería) (Moreno et al., 1999) y se desarrolló el “Índice de Conservación” (IC) en base a la cobertura de pradera viva en comparación con la totalidad de pradera existente en un punto dado (la suma de pradera viva y de “mata muerta”) (Moreno et al., 2001). Actualmente, la preocupación por la degradación de las praderas de *P. oceanica* está permitiendo realizar nuevos esfuerzos de levantamiento de datos y de recopilación, integrando toda la información en Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Telesca et al., 2015). Hasta ahora ha sido difícil conocer la potencia de la “mata” con las metodologías habituales que trabajan en la pradera superficial. Solo recientemente se han obtenido imágenes del sustrato por debajo de las praderas gracias a sistemas sísmico-acústicos, para conocer si está compuesto por roca, sedimentos, “mata”, etc. (Lo Iacono et al., 2008; Tomasello et al., 2009; Monnier et al., 2020).

Por otro lado, se han realizado importantes esfuerzos en establecer redes de seguimiento de *P. oceanica* con estaciones fijas, que ofrecen series de datos muy valiosas del estado de las praderas (Sánchez-Lizaso, 2009). En las costas mediterráneas españolas, en las distintas Comunidades Autónomas, existen equipos de seguimiento que en muchos casos son mixtos

con personal técnico y también con buceadores voluntarios experimentados, que se integran en la red POSIMED (Red Mediterránea de Control de *P. oceanica*), similar a las que existen también en Italia y en Francia. Actualmente se encuentran activas las siguientes redes de estaciones en el litoral español: Cataluña desde 1994 (Sánchez Rosas y Olivella i Prats, 2009), Comunidad Valenciana desde 2001 (Codina Soler *et al.*, 2009), Baleares desde 2002 (Álvarez *et al.*, 2009), Murcia desde 2005 (Ruiz *et al.*, 2009 y 2010), Andalucía desde 2009 (Moreno, 2009) y Melilla (2009). La Red POSIMED Andalucía, afianzada definitivamente por el Life+ *Posidonia*, posee en la actualidad 35 puntos de seguimiento con estaciones en Almería, Granada y Málaga. La información de la Red es obtenida conjuntamente por técnicos del Programa del Medio Marino (Junta de Andalucía) y por voluntarios buceadores (coordinados por la asociación Hombre y Territorio). Los descriptores empleados son los utilizados en otras redes, como la densidad de haces (marco de 20x20 cm), la cobertura lineal (25 m) y la obtenida por cuadrícula de 50x50 cm, la aplicación del Índice de Conservación (IC), la longitud de hoja, el enterramiento, la densidad de inflorescencias, etc. Además, 13 de estas estaciones andaluzas poseen marcos fijos para el estudio demográfico, que se realiza desde 2012 (Life+ *Posidonia* Andalucía) (Junta de Andalucía, 2017, 2018, 2019).

Las praderas, en especial las de *P. oceanica*, constituyen un *stock* de carbono formidable, dada la extensión y la potencia de las mismas, y pueden ayudar a mitigar el cambio climático al secuestrar CO₂ (Mateo *et al.*, 1997; Pergent *et al.*, 2014; Boudouresque *et al.*, 2015, Marbá *et al.*, 2015). Aunque existen otros productores primarios marinos más importantes (fitoplancton, algas bentónicas, manglares, etc.), las praderas de angiospermas marinas y las marismas son las que almacenan un mayor *stock* de carbono (Duarte y Cebrián, 1996; Duarte *et al.*, 2005).

Gracias al Life Blue Natura, en una actuación liderada por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), se han podido obtener por primera vez en Andalucía testigos (*cores*), en ocasiones de varios metros de longitud, de la “mata” de distintas praderas en Almería y Granada, mediante buceo y con el B/O García del Cid (CSIC). En total se han tomado muestras en 32 estaciones y 88 *cores* (14 de ellos *vibrocores*). Esta información pionera en Andalucía constituye un avance muy significativo en el conocimiento de los flujos de carbono y del *stock* almacenado en las praderas de *P. oceanica*. Parte de los resultados de esta acción del Life Blue Natura se recogen en Mateo *et al.* (2019) y Piñeiro-Juncal *et al.*, (2021, en este mismo volumen).

La tendencia actual en el Mediterráneo, una vez que se dispone de mapas del fondo marino, es obtener datos más precisos y de mayor calidad de cada polígono, integrando la naturaleza del fondo, el grosor de la “mata” de *P. oceanica*, el estado de las praderas utilizando estaciones de seguimiento, etc., todo ello en distintos rangos batimétricos entre 5 y 30 m de profundidad. Esto permite obtener una estima del secuestro de carbono por parte de las praderas en grandes extensiones de fondo marino (Valette, 2018; Valette-Sansevin *et al.*, 2019; Monnier *et al.*, 2020). El secuestro de carbono por parte de las praderas marinas podría estar subestimado, si solo se considera la biocenosis en sí misma y la “mata”, ya que existe una exportación de producción primaria a otros ecosistemas litorales y a zonas profundas (Duarte y Krause-Jensen, 2017).

La integración de la información existente, normalmente de distintos orígenes, de capas cartográficas con la distribución de las praderas, de estaciones de seguimiento que evalúan el estado de las mismas, y las estimas del sumidero de carbono retenido en la “mata”, están permitiendo tener los primeros datos del *stock* real de carbono almacenado por las angiospermas marinas (Pergent *et al.*, 2019). El esfuerzo realizado por el Life Blue Natura en Andalucía, integrando la información levantada en el proyecto anterior (Life+ *Posidonia*

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN-CONSERVACIÓN

Andalucía) y el esfuerzo coordinado de distintos equipos de trabajo (AGAPA y AMAYA), constituyen un avance de conocimiento considerable y reúnen toda la información disponible en una cartografía integrada de las praderas de angiospermas marinas de Andalucía.

En el presente trabajo se detalla cómo se ha realizado el cruce de la información distribución y de las distintas tipologías de praderas (viva, degradada y mata muerta), junto a las características de las distintas praderas (tipo de sustrato, batimetría, presencia de potencia de “mata”, etc.), para disponer de una cartografía integrada necesaria para la gestión y para otros objetivos del Proyecto Life Blue Natura. Este resultado ha permitido llevar a cabo el escalado regional y poder estimar los flujos y los *stocks* de carbono en Andalucía, acción liderada por el CSIC (Mateo *et al.*, 2019), incorporando a la cartografía integrada los valores del estado de las praderas obtenidos en las estaciones de seguimiento POSIMED (Junta de Andalucía, 2017, 2018 y 2019) y de los registros de carbono de las praderas a través de una tabla matriz elaborada por el equipo del CSIC.

Finalmente, hay que destacar que el impulso regional que supuso la aprobación del “Plan Cartográfico de Andalucía 2009-2012” (Acuerdo de 16/09/2008, BOJA 215 de 29/10/2008), desarrollado a partir del Decreto 141/2006, de 18 de julio, por el que se ordena la actividad cartográfica en la Comunidad Autónoma de Andalucía (BOJA 154 de 09/08/2006), permitió crear el marco adecuado para actualizar los datos existentes y modernizar los servicios públicos para que la información estuviera disponible. Actualmente, la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM) tiene como objetivo la integración, normalización y difusión de toda la información sobre el medio ambiente andaluz generada en la Comunidad Autónoma. La REDIAM, que fue creada por la Ley 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental (GICA) y ordenada por el Decreto 347/2011, de 22 de noviembre, permitirá que todos los resultados obtenidos en este trabajo sean accesibles a toda la sociedad.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

En el complejo proceso de integrar toda la información disponible previa y la obtenida durante el Life Blue Natura han contribuido muchas personas de distintos equipos. En el trabajo cartográfico (Acción A1), realizado durante 2016 y 2018, han participado por un lado el equipo del Programa de Gestión Sostenible del Medio Marino Andaluz, con los barcos “Punta Polacra” e “Isla de Tarifa”, el equipo de técnicos (biólogos-buceadores) y los expertos en Sistemas de Información Geográfica (SIG). Por otro lado, el equipo del Grupo de Ecología de Macrófitos Acuáticos (GAME) del Centro de Estudios Avanzados de Blanes del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CEAB-CSIC), liderado por Miguel Ángel Mateo, se ha centrado en conocer los flujos y el *stock* de las distintas praderas de la Acción C1 (Mateo *et al.*, 2019), para poder integrar posteriormente la información en la cartografía durante 2018 y 2019. El trabajo coordinado entre los dos equipos ha permitido avanzar en el objetivo que aquí nos ocupa, el cartográfico y la obtención de mapas temáticos de Andalucía. A continuación se detallan los métodos empleados en cada apartado del proceso.

Cartografías específicas de praderas marinas para el Life Blue Natura

Se eligieron las zonas donde era conocida la presencia de importantes praderas de angiospermas marinas y que no fueron cartografiadas durante el anterior Proyecto Life+ *Posidonia* Andalucía por estar fuera de la Red Natura 2000. Estas nuevas cartografías (Acción A1)

se realizaron mediante inmersión con equipo de buceo autónomo, con una boya con GPS en superficie para geoposicionar todo el recorrido y facilitar la digitalización de los datos. Estas inmersiones fueron realizadas por los técnicos (biólogos buceadores) del Programa de Gestión Sostenible del Medio Marino Andaluz. Se utilizó un reloj de buceo con la hora sincronizada con el GPS, para anotar la hora, la profundidad y las características del fondo en todo momento, manteniendo la boya tensa y vertical encima del punto de información. Se realizaron fotografías del fondo y de las praderas detectadas. Además, se utilizaron torpedos submarinos (Fig. 1 A) para cubrir áreas más extensas y para realizar bordeos de las praderas (el *track* o camino resultante del recorrido efectuado coincide con el límite de la pradera y genera polígonos muy precisos). También se utilizaron fotografías aéreas en algunas cartografías someras.

En determinadas zonas, como en el Parque Natural Bahía de Cádiz, y debido a la dificultad para trabajar en las zonas mesolitorales de sustrato fangoso, se realizaron inspecciones en apnea y trabajo en gabinete, utilizando un software libre de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y ortofotos en detalle.

Las zonas cartografiadas durante el proyecto Life Blue Natura, once en total, fueron las siguientes (2016-2018):

1. **Zona de la Universidad-Puerto de Almería (Almería).** Zona situada fuera de la Red Natura 2000 y no cartografiada en el Life+ *Posidonia* Andalucía. Destaca por la extensión de las praderas de *Cymodocea nodosa*.
2. **Áreas degradadas y mata muerta en Roquetas-Aguadulce (Almería).** El estado de conservación de las praderas es muy relevante para el Life Blue Natura para conocer cómo afecta a la degradación del *stock* de carbono. La gran degradación de las praderas de esta zona propició la actualización de esta cartografía.
3. **Ensenada de Almerimar (Almería).** Existen extensas praderas de *P. oceanica* que quedan fuera de la ZEC Fondos Marinos de Punta Entinas-Sabinar por lo que era necesario actualizar la cartografía.
4. **Zona de Guardias Viejas - Balanegra (Almería).** En esta zona se encuentran las praderas de *P. oceanica* más occidentales de la provincia y no se conocían con exactitud, de ahí la necesidad de realizar una nueva cartografía.
5. **Zona de Punta Negra - Casarones (Granada).** Actualización de cartografía fuera de Red Natura 2000.
6. **Actualización de la cartografía en la Punta de la Torrecilla (Málaga),** fuera de Red Natura 2000. La cartografía anterior era muy poco exacta por lo que se consideró conveniente realizar una actualización.
7. **Cartografía de *P. oceanica* en la ZEC de Calahonda y el entorno del Puerto de Cabopino (Málaga).** El conocimiento cartográfico de las fanerógamas de la zona no era completo ni exacto por lo que se actualizó en su totalidad. Fuera de la ZEC se conocían zonas sin cartografiar cuya localización exacta y extensión eran desconocidas.
8. **Cartografía en la ZEC El Saladillo-Punta de Baños,** zona de Guadalmanza y ZEC Fondos Marinos de la Bahía de Estepona (Málaga). La distribución y extensión de *P. oceanica* en la primera zona era casi desconocida por lo que era necesario cartografiar la zona. Para Estepona se utilizaron las fotografías aéreas disponibles.

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN-CONSERVACIÓN

9. **Ensenadas de Bolonia y Valdevaqueros, y praderas de Los Lances (Cádiz).** Este tramo del Parque Natural del Estrecho era conocido, pero se consideró oportuna su actualización debido al tiempo transcurrido desde su realización.
10. **Caño de Sancti Petri (Cádiz).** Se actualizó la cartografía de *Zostera noltei* en el tramo final del caño.
11. **Bahía de Cádiz.** Se actualizaron los polígonos de *Z. noltei* en el saco interno de la bahía de Cádiz.



Figura 1: Obtención de datos para la cartografía de praderas en Andalucía durante el Proyecto Life Blue Natura. **A)** Transecto de buceo con torpedo y boya con GPS para caracterizar una pradera de *Posidonia oceanica* Almerimar, Almería (24/05/2018). **B)** Escalón en un borde de pradera somera de *Posidonia oceanica* en el que se hace evidente la potencia de más de un metro de altura de la “mata”. Agua Amarga, Parque Natural Cabo de Gata-Níjar, Almería (14/04/2016). **C)** Sondeo manual mediante buceo con gavilla metálica de 1,5 m para conocer el tipo de sustrato bajo la “mata muerta” de *Posidonia oceanica*, en la búsqueda de las estaciones más idóneas para la obtención de testigos (*cores*) de la campaña del B/O García del Cid del CSIC, en los escalones de “mata muerta” de Roquetas de Mar por fuera del Monumento Natural Arrecife Barrera de *Posidonia* (07/06/2016). **D)** Obtención de un testigo (*core*) de forma manual mediante buceo en una pradera de *Cymodocea nodosa* a 9 m de profundidad en El Alquíán, Almería (07/10/2016). **E).** Utilización del *vibrocorer* para obtener testigos (*cores*) de varios metros de profundidad dentro del sustrato de la “mata” de *Posidonia oceanica* en Roquetas de Mar, durante la campaña de muestreo del CSIC del Life Blue Natura a bordo del B/O García del Cid, (17/10/2017). A, C, D y E: Diego Moreno / Programa de Gestión Sostenible de Medio Marino / Junta de Andalucía). B: Agustín Barrajón / Programa de Gestión Sostenible de Medio Marino / Junta de Andalucía).

Con los datos levantados durante las inmersiones se llevó a cabo la digitalización de las praderas observadas con ayuda de un software específico para el GPS (MapSource) y, posteriormente, con los programas de *software* de Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcGis y QGis.

Para poder crear la capa se debe solventar antes la siguiente problemática encontrada:

- » Configuración de diversas capas al sistema de referencia de coordenadas ETRS89 UTM zona 30N.
- » Eliminación de registros vacíos de información.
- » Eliminación de polígonos con escasa superficie.
- » División de polígonos multiparte a polígonos individuales.
- » Eliminación de astillas y huecos creados durante el editado de las capas (correcciones topológicas).
- » Supresión de solapamientos (correcciones topológicas).
- » Corregir polígonos y capas que se encontraban desplazados geográficamente.
- » Normalización de nombres
- » Normalización de muchos de los datos para hacerlos interoperables. La capa resultante debe de ajustarse a un modelo de datos preestablecido para su posterior integración en la REDIAM.
- » Suavizado de gran parte de la cartografía existente para evitar polígonos cuadrados o puntiagudos.
- » Se añaden campos de observaciones, donde se incluyen diversas apreciaciones técnicas.

Cartografía integrada

Una vez elaboradas las nuevas cartografías, se pudo acometer la elaboración de una cartografía actualizada en la que estuviera integrada toda la información disponible de distintas fuentes. El objetivo fundamental de esta cartografía era obtener una capa única lo más actualizada posible y relacionar la distribución y extensión de las praderas de angiospermas marinas con el tipo de sustrato existente y la profundidad.

El primer paso fue recopilar toda la información previa ya levantada por otros proyectos. No existe ninguna capa vectorial que ofrezca la suficiente precisión, fiabilidad y cobertura a nivel de todo el litoral andaluz para todos estos parámetros, por lo que se seleccionaron en cada caso las más convenientes y posteriormente se fusionaron en una capa única, manteniendo el origen de cada capa en la tabla de atributos. Toda la información empleada se encuentra en el repositorio de la REDIAM.

A continuación se detallan las fuentes empleadas:

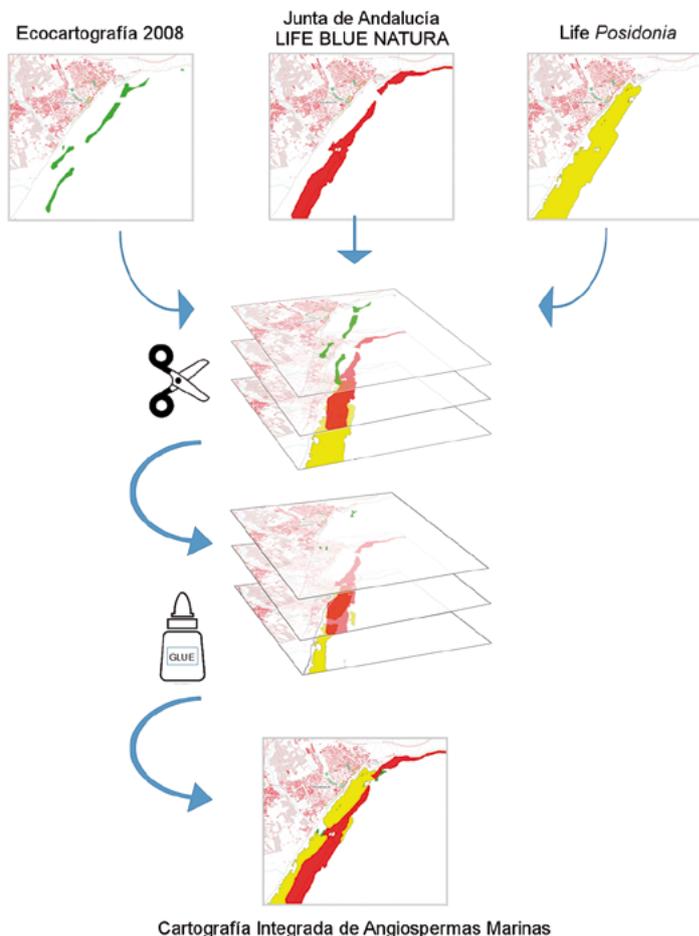
- **Life+ Posidonia Andalucía (2011-2015)**. Es la cartografía de referencia seleccionada en Andalucía oriental para todas las praderas marinas dentro de la Red Natura 2000. Es muy reciente y fiable y permite trabajar a una escala muy precisa. Fue realizada por la Agencia de Gestión Agraria y Pesquera de Andalucía (AGAPA) con apoyo puntual de buceo de los técnicos del Programa de Gestión del Medio Marino Andaluz en zonas someras.

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN-CONSERVACIÓN

- **Programa de Gestión Sostenible del Medio Marino (2004-2019).** Además de la cartografía realizada expresamente para el proyecto Life Blue Natura, se han tenido en cuenta otros trabajos previos llevados a cabo por este equipo. Se trata de cartografías centradas en angiospermas marinas que no cubren grandes áreas pero en cambio tienen una gran precisión y sus datos proceden de visualización directa en el fondo obtenida preferentemente mediante buceo.
- **Ecocartografías del litoral español.** Estos trabajos, que comenzaron en el año 2000 impulsados por el Ministerio competente en materia de medio ambiente, se basan en estudios de ingeniería marítima y ecología del litoral y se han llevado a cabo progresivamente por toda la costa española. En el caso de Andalucía, entre 2004 y 2012 se realizaron cartografías desde Almería hasta Cádiz. Se trata de una de las cartografías de referencia a nivel nacional para el medio marino, con información muy variada y detallada de la franja litoral, incluyendo angiospermas marinas y tipo de sustrato (roca, sedimentos, etc.).
- **Cartografía de fanerógamas marinas de la Universidad de Cádiz (UCA).** La cartografía realizada por la Universidad de Cádiz en 1990 en la bahía de Cádiz ha sido una fuente de información básica para la zona.

Existen más fuentes de información sobre angiospermas marinas, creadas con diversos proyectos y que también se pueden consultar en la REDIAM, pero sólo se han utilizado las anteriormente descritas por ser las más actualizadas y las que mayor fiabilidad o precisión ofrecían en el momento de realización de la cartografía integrada (Fig. 2).

Figura 2: Esquema del proceso de fusión de las cartografías disponibles seleccionadas y obtención de una única capa integrada y actualizada.



En un segundo paso, a esta información recopilada anterior al Life Blue Natura se incorporan todas las cartografías realizadas durante este proyecto, obteniendo una cartografía integrada muy actualizada que será la base para la evaluación de los flujos y del *stock* de carbono almacenado en las praderas.

Una vez examinada la información de cada fuente cartográfica, se seleccionó con criterio experto para cada zona geográfica concreta qué fuente debía prevalecer sobre las otras. Así se fueron seleccionando los polígonos, de entre las distintas fuentes, que representan más fielmente la distribución actual de las distintas angiospermas.

La creación de una capa única normalizada (Fig. 3), sin solapamientos de polígonos, donde se integre toda esta información es fundamental, no solo desde el punto de vista estético, sino porque los polígonos resultantes incluyen tablas de atributos con distinta información relativa a su origen, hábitat al que pertenece o superficie que ocupa, entre otros, y que permiten por ejemplo asignar valores relativos al *stock* y flujo de carbono y operar con ellos.

Cuando los polígonos seleccionados se solapaban, se recortaron mediante herramientas SIG según la prevalencia de la información, evitando así que se den áreas superpuestas que distorsionarían los resultados de un posible análisis de la información que integra la capa.

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN-CONSERVACIÓN

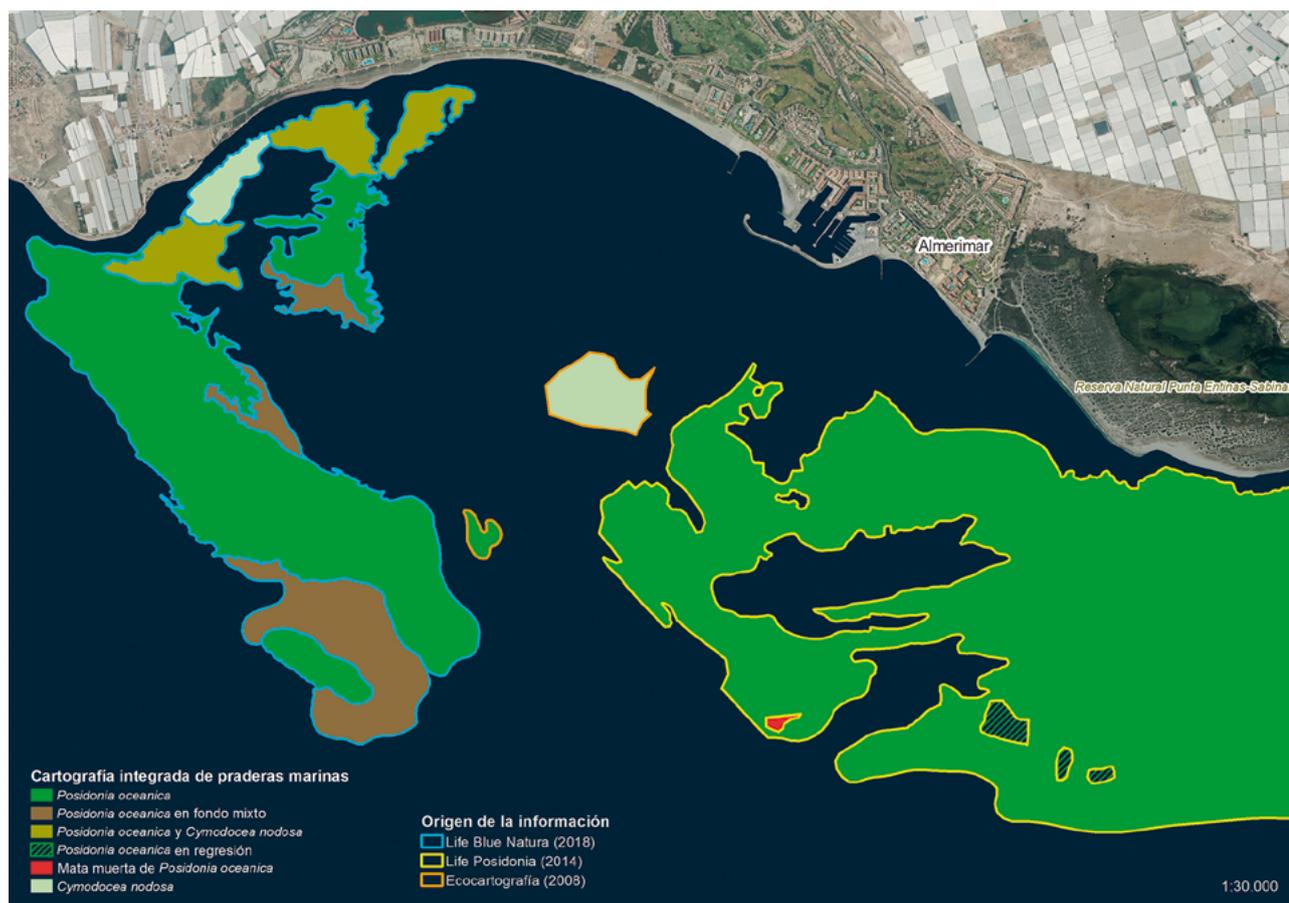


Figura 3: Detalle de cómo la cartografía integrada fusiona las capas de otras fuentes con las obtenidas por el life Blue Natura en la ensenada de Almerimar (Almería). Se observa la distribución de las distintas especies de angiospermas marinas presentes, la tipologías de las praderas y el origen de cada polígono: Proyecto Life+ *Posidonia* Andalucía (polígonos bordeados de amarillo), Ecocartografía (bordeados de naranja) y Life Blue Natura (bordeados de azul).

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN-CONSERVACIÓN

Identificado el origen de la información fue necesario crear un nuevo campo que recogiera una denominación común para las biocenosis de angiospermas de las distintas fuentes. Se creó para ello una tabla de equivalencias de biocenosis. Cabe indicar que en la misma denominación de la biocenosis viene reflejada de manera intrínseca y resumida, el estado de conservación/salud de la pradera en sí. Así nos encontramos, por ejemplo, biocenosis de “*Posidonia oceanica*”, “*Posidonia oceanica* en regresión”, “Mata muerta de *Posidonia oceanica*”, etc.

Una vez obtenida la capa única, se hizo un repaso final eliminando solapamientos con la línea de costa de 2013, caracterizada en formato vectorial (disponible en la REDIAM) y se simplificó la tabla de atributos del SIG.

Batimetría

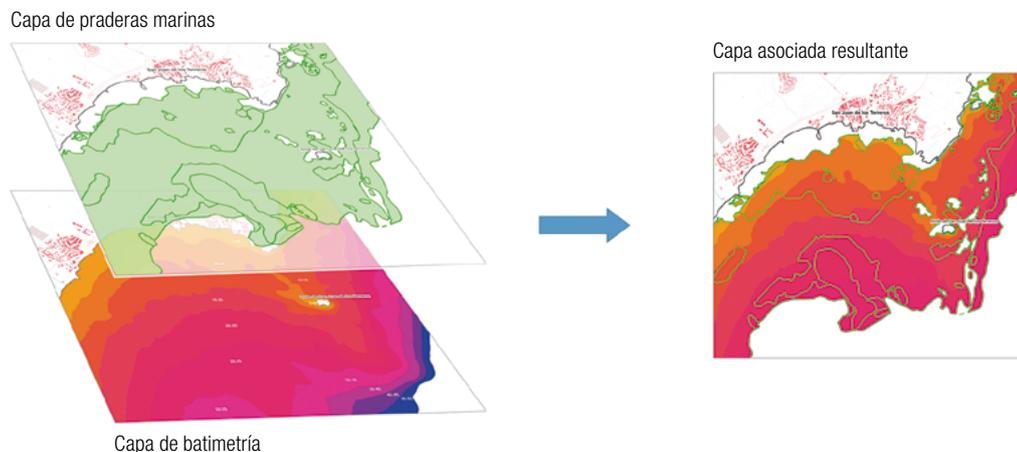
Como los valores de *stocks* y flujos de CO₂ de las distintas angiospermas marinas varían con la profundidad en la que se encuentran, ya que la biología y estructura de las praderas presentan variaciones muy significativas asociadas a este parámetro, fue necesario dividir la capa de la integrada de angiospermas en nuevos polígonos donde se reflejara un valor de profundidad. En este caso era necesaria una batimetría precisa, que llegara a los 30 m de profundidad, que es el límite inferior de presencia de angiospermas marinas en Andalucía, con isóbatas al menos cada 5 m, para poder trabajar en rangos de profundidad. De entre todas las fuentes de información de batimetría consultadas existentes en la REDIAM, se decidió usar las siguientes:

- **Ecocartografía del litoral español (1:5.000)**, que incluye una capa batimétrica muy precisa (metro a metro). Contempla el litoral de Almería, Granada, Málaga y Cádiz. Se seleccionan las cotas -5, -10, -15, -20, -25, y -30.
- **Batimetría del litoral andaluz (1:50.000)**, para la costa de Huelva. Es la batimetría más precisa disponible para esta zona. Contempla las isóbatas a intervalos de 5 m. Para el rango de profundidad de las angiospermas presentes en esta provincia tiene precisión suficiente, ya que estas no pasan de los 5 m de profundidad.
- **Línea de costa 2013 (unidades fisiográficas litoral andaluz)**, para utilizar como cota 0, por ser la que refleja de manera más actualizada la línea de costa andaluza, dentro de las fuentes de información disponibles.

Para poder dividir la capa de la integrada de angiospermas en los rangos batimétricos establecidos (0, 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25 y 25-30), se realizaron lo siguientes procesos mediante herramientas SIG:

- » 1º Selección de las cotas establecidas para el rango de las distintas fuentes de información y para las zonas donde se cruza con la capa de integrada de angiospermas. Estas son las polilíneas 0, -5, -10, -15, -20, -25 y -30. Muchas de ellas se depuran mediante herramientas SIG, ya que, entre otras cosas, contenían errores topológicos.
- » 2º A partir de esas polilíneas de cotas se crean polígonos que abarquen las áreas donde se encuentran las angiospermas. Asociada a esa capa de polígonos se creó un campo de atributos donde se refleja la información de “rango de profundidad” para cada polígono concreto, en vez del valor de una cota determinada. Por ejemplo, el polígono resultante que se encuentra entre las cotas -10 y -15 tendrá un valor de rango “10-15”.

- » 3° Estos polígonos se cruzaron con la capa de la integrada, resultando así una nueva capa poligonal integrada de angiospermas, más dividida, donde se encuentran reflejados los rangos batimétricos de profundidad y el origen de la fuente utilizada (Fig. 4).



PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN-CONSERVACIÓN

Figura 4: Esquema de la obtención de una capa nueva como resultado del cruce de la información de la cartografía integrada y la batimetría.

Sustrato

En cuanto al sustrato, se conoce que hay variación en los valores de *stocks* y flujos de CO₂ de las praderas de angiospermas marinas en función del tipo de fondo donde éstas se asientan. El valor del depósito es mayor en las que se encuentran sobre sedimentos y sobre “mata” (Fig. 1 B), que en las que se encuentran fijadas a fondos rocosos. Al igual que con la batimetría, se hace necesario dividir la capa anteriormente creada en nuevos polígonos donde, además de las distintas biocenosis de angiospermas y sus rangos batimétricos, se refleje también el sustrato sobre el que se asientan dichas angiospermas. Para ello, se aportan datos obtenidos mediante buceo (Fig. 1 C) y se recopila toda la información disponible en la REDIAM.

De entre todas las fuentes de información de sustrato existentes en las distintas cartografías disponibles se decide usar las siguientes:

- **Proyecto SPACE (Estudio de la Plataforma Continental Española, año 2000).** A pesar de ser más antiguo que el resto de fuentes consultadas, este proyecto ofrece detallada información especialmente del medio físico y geológico marino, y por ello se ha utilizado de manera prioritaria en la realización de la cartografía integrada. Este proyecto ha sido realizado por el Instituto Español de Oceanografía (IEO) y abarca el litoral de Almería, Granada y la mitad del de Málaga (zona oriental).
- **Ecocartografías del litoral español.** A pesar de ser más reciente, no se utilizó esta fuente de manera prioritaria ya que no distingue con precisión el tipo de sustrato donde existen praderas de angiospermas marinas.
- **Unidades litológicas marítimas y terrestres.** Es una capa mucho menos precisa y sólo se ha utilizado en aquellos casos en los que no estuviera disponible alguna de las anteriores fuentes de información, como en el caso de Huelva y en la zona límite de Almería con Murcia.

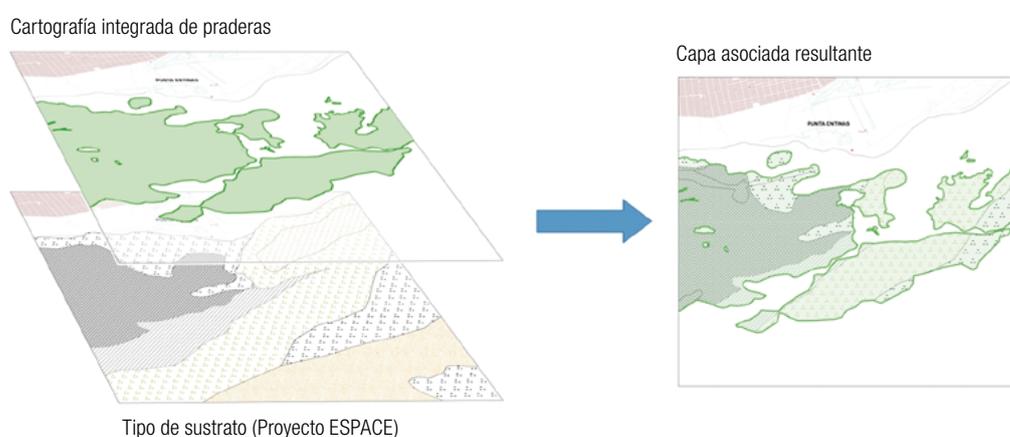
El proceso se podría resumir de la siguiente manera: mediante herramientas SIG se cruza primero la capa anteriormente creada (integrada+rangos batimétricos), con la capa de “calidad” del proyecto SPACE, integrando la información de ambas capas en una nueva unificada. Posteriormente, para las zonas donde no alcanza el proyecto SPACE, se

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN-CONSERVACIÓN

vuelve a cruzar con las capas de morfología de fondos marinos de las distintas ecocartografías (Granada-Almería, Málaga y Cádiz). Por último, donde no existiera ninguna de las dos fuentes de información anteriores, se utilizan las capas de unidades litológicas marítimas y terrestres.

Tras los cruces, la información de sustrato queda reflejada en una nueva capa (que se revisa y depura) (Fig. 5) con todos los atributos de las capas de origen. Para obtener esta capa se crea una tabla de equivalencias entre los sustratos de las distintas fuentes de información, resumiendo todas las tipologías en 11 clases: limos y arcillas, fango, arenas y margas, arena fina, arena, arena gruesa, sedimentos variados, conglomerado, cantos y bloques, y roca. Además, se crean campos nuevos que simplifican y homogenizan esta información para todos los polígonos, al igual que se hizo para las biocenosis de angiospermas. Se crean por tanto 2 campos nuevos, uno para recoger el origen de la información y otro, para recoger una denominación común y simplificada de las distintas clases de sustrato.

Figura 5: Esquema de la incorporación de la información disponible del tipo de sustrato a la cartografía integrada y a la batimetría. El resultado obtenido del cruce de estas capas permite discriminar con mucho más detalle las distintas tipologías de praderas existentes en Andalucía.



Tramos de litoral

Para que se pueda reflejar en las cartografías la diversidad natural existente en el litoral andaluz, el equipo GAME-CSIC definió una serie de tramos en los que las praderas de angiospermas marinas y las condiciones físicas de la costa y de las aguas son más o menos homogéneos. Con ello no se pretende definir una regionalización ecológica sino más bien aplicar a la información disponible de una forma operativa el gradiente este-oeste que existe en Andalucía. En total se definieron 8 tramos distintos (7 marinos y el 8º para las zonas de estuarios y marismas) que reflejan no solo la variabilidad en función de las condiciones ambientales (masas de agua, naturaleza del litoral, etc.), muy acentuadas entre Almería y Huelva, sino también las presiones humanas que son también distintas en las distintas zonas de la costa. Esta información se traslada a la capa anteriormente creada mediante un campo nuevo denominado “TRAMO”.

A continuación se indican los tramos definidos, en los que el equipo del CSIC obtuvo muestras y estimas de almacén y flujo de carbono (Tabla 1 y Figura 6):

- » **Tramo 1:** en el Levante almeriense, desde el límite con Murcia hasta la desembocadura del río Alías, al norte de Carboneras. Tiene praderas de *P. oceanica* y *C. nodosa*, en su mayoría sobre fondos blandos, con densidades normales, aunque con algunas zonas degradadas, con altas extensiones de mata muerta, a veces cubierta por *C.*

nodosa. En este tramo se obtuvieron estimas del almacén y flujo de carbono en la pradera de *P. oceanica* saludable de Terreros, en diferentes rangos de profundidad, así como en un claro de arena, y en una pradera en Villaricos a 15-16m de profundidad, que se encuentra en fuerte regresión. También se estimó el carbono en una pradera saludable de *C. nodosa* en Palomares, a 10-11 metros de profundidad.

- » **Tramo 2:** zona a caballo entre el Mediterráneo y el extremo oriental del mar de Alborán. Incluye praderas desde Carboneras (incluidas las del Monumento Natural y ZEC Islote de San Andrés) hasta el límite suroccidental del Parque Natural Cabo de Gata-Níjar. Se trata de praderas generalmente monoespecíficas de *C. nodosa* en sustratos sedimentarios y de *P. oceanica* sobre fondos blandos o rocosos, pero con desarrollo arrecifal, y en general saludables, con densidades normales a altas. En este tramo se muestreó en la pradera saludable de *P. oceanica* de Agua Amarga, a 3 profundidades.
- » **Tramo 3:** en el mar de Alborán, desde el límite suroccidental del Parque Natural Cabo de Gata-Níjar hasta la desembocadura del río Adra. Incluye todas las praderas de la bahía de Almería que quedan fuera del Parque Natural, que generalmente crecen sobre fondos blandos. Se muestrearon las praderas de *C. nodosa* en El Alquíán y Roquetas, y de *P. oceanica* en Roquetas, en distintos estados de salud. La zona incluye las praderas del Poniente Almeriense frente a Punta Entinas y la ensenada de Almerimar-Guardias Viejas (muestreada), así como las de Balanegra, sobre fondos blandos o lajas de rocas, con desarrollo arrecifal variable. Las praderas de este tramo muestran densidades y coberturas normales a subóptimas, dependiendo de las zonas, al estar sometidas a diversas presiones antrópicas. También hay zonas de pradera degradada y mata muerta, a veces parcial o totalmente sustituidas por *C. nodosa*.
- » **Tramo 4:** mar de Alborán, desde la desembocadura del río Adra hasta Almuñécar. Incluye las praderas de Granada como las existentes en Cala Chinchas, Melicena, Castillo de Baños, El Lance y Castell de Ferro, fundamentalmente constituidas por *P. oceanica*. Además, hay extensiones detectadas de mata muerta de esta especie que a veces están parcialmente cubiertas por algas fotófilas. En este tramo se tomaron testigos de sedimento y de biomasa en la pradera de Melicena, en zona vegetada y no vegetada.
- » **Tramo 5:** desde Almuñécar en Granada a la desembocadura del río Vélez en Málaga. Incluye las praderas marinas del levante malagueño (del Paraje Natural Acanalados de Maro-Cerro Gordo y de Nerja), que viven en general sobre fondos blandos, y algunas sobre fondos rocosos, como la de Nerja. Se encuentran praderas de *P. oceanica* clasificadas como estables, en regresión o de mata muerta, así como pequeñas extensiones de *C. nodosa*. Son praderas someras, y las estaciones POSIMED muestran niveles normales a subóptimos de densidad de haces, con coberturas bajas, y crecientes extensiones de mata muerta. La pradera de Maro-Cerro Gordo muestra también densidades y coberturas subóptimas, pero las coberturas de mata muerta registradas por la red de seguimiento POSIMED-Andalucía parecen estar decreciendo, lo que indica que la pradera se encontraría en recuperación. En cambio, la mancha de *P. oceanica* frente a Nerja muestra densidades de haces muy altas, por encima de lo normal para su profundidad, aunque podría constituir un relicto en recuperación de praderas antiguamente más extensas. En este tramo no se pudo muestrear, por lo que se utilizaron las estimas generales y para los tramos aledaños, según tipología.
- » **Tramo 6:** área más occidental del mar de Alborán, desde la punta de Velez-Málaga hasta Gibraltar. Incluye las praderas relictas y matas muertas del poniente malagueño: Calahonda-Calaburras (localidad muestreada), El Saladillo, Guadalmanza, Estepona y Punta Chullera, el actual límite occidental de distribución de *P. oceanica*

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN-CONSERVACIÓN

(Moreno *et al.*, 2004; Arroyo *et al.*, 2015). La mayoría de las praderas vivas actuales de esta zona crecen sobre roca, sin prácticamente desarrollo arrecifal (caso de Calaburras). Hay extensiones detectadas de mata muerta, que a veces están parcialmente cubiertas por *C. nodosa*. Aquí se muestreó la mata muerta de Calahonda y la biomasa de manchas de *P. oceanica* sobre roca.

- » **Tramo 7:** zona atlántica, desde Gibraltar hasta el norte de la playa de la Barrosa, en Sancti Petri (Cádiz). Incluye praderas de mar abierto de *C. nodosa* que no se pudieron muestrear por mal tiempo, pero se mantiene el tramo diferenciado, de cara al escalado.
- » **Tramo 8:** estuarios y marismas de la zona atlántica. Este tramo incluye las praderas marinas de *C. nodosa* y *Z. noltei* cartografiadas en lagunas costeras y en caños de marea, como la laguna de Santibáñez y los caños del Parque Natural Bahía de Cádiz (Cádiz) y del Paraje Natural Marismas del Odiel (Huelva), cuyos sedimentos y biomasa fueron muestreados para estimar sus flujos y reservas de carbono orgánico.

Tabla 1: Tramos de costa y de ambientes marinos definidos en el presente trabajo en función de las características físicas de los distintos mares que las bañan, de la naturaleza del litoral y de la presencia de las distintas especies de angiospermas marinas.

Mar	Provincia	N.º	Tramo
Mediterráneo		1	Fondos Marinos del Levante Almeriense
Alborán	Almería	2	Isla de San Andrés (Carboneras) y Parque Natural Cabo de Gata-Níjar
		3	Bahía de Almería y Poniente Almeriense hasta río Adra
		4	Zona más occidental de Almería y costa granadina hasta Almuñécar
	Málaga	5	Zona más occidental de Granada incluyendo Paraje Natural Acantilados de Maro-Cerro Gordo (Granada y Málaga), hasta Vélez-Málaga
		6	Desde Vélez-Málaga hasta el límite con Cádiz en Punta Chullera
	Atlántico	Cádiz	7
Huelva		8	Estuarios, caños de marismas y lagunas de Cádiz y Huelva

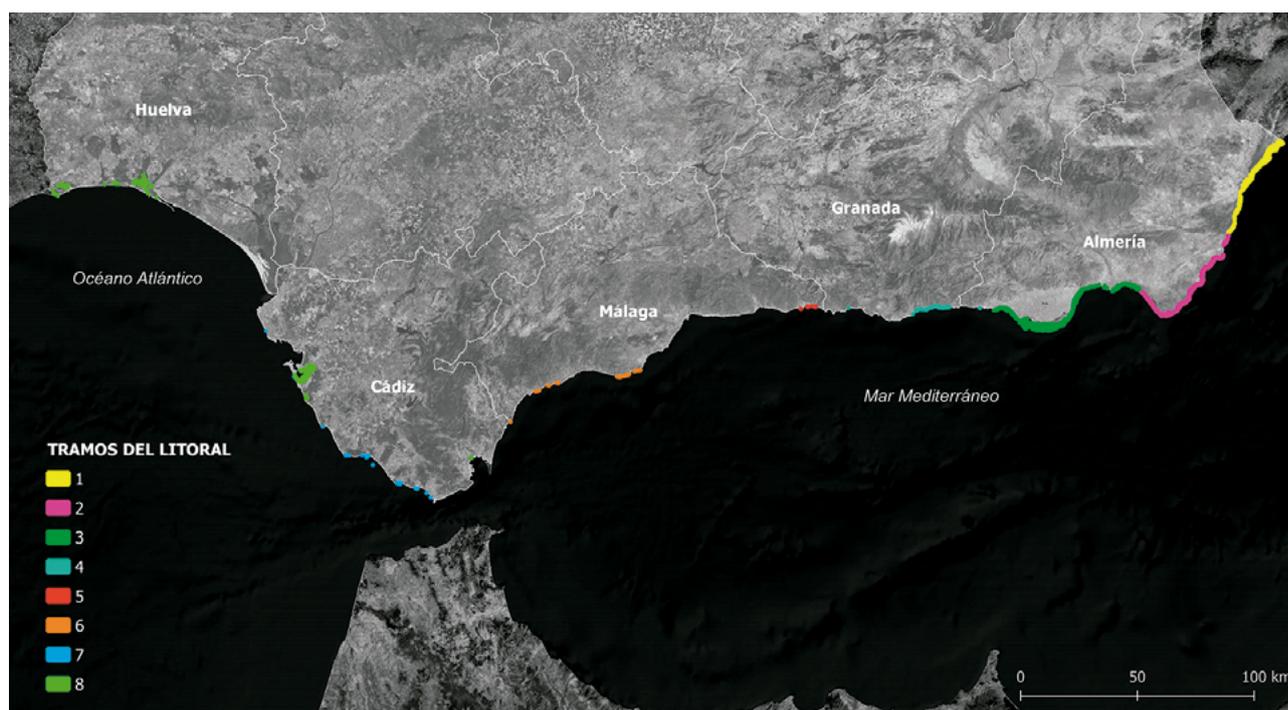


Figura 6: Mapa con los tramos de costa definidos en el presente trabajo, ordenados de este a oeste. Se muestran las zonas de presencia de praderas de angiospermas marinas en cada tramo.

Tabla matriz y mapas de flujo y de stock de CO₂

La información obtenida por el equipo del CSIC durante el proyecto Life Blue Natura en el estudio de las reservas y flujos de carbono en las praderas (Acción C1), incluyendo la “mata”, con testigos (*cores*) de varios metros de profundidad obtenidos mediante buceo (Fig. 1 D) o con el B/O García del Cid de 37 m de eslora (Fig. 1 E), han sido la base para elaborar la tabla matriz de CO₂ (Mateo *et al.*, 2019). Además, se ha contado con la información disponible recopilada por el Programa de Gestión Sostenible del Medio Marino Andaluz de los trabajos realizados sobre las praderas andaluzas desde 2004, destacando la obtenida en la elaboración de las cartografías ya comentadas (con información de los escalones de gran potencia de “mata”, extensiones de “mata muerta” o pradera degradada, etc.), y la recabada por la Red POSIMED con 35 estaciones de seguimiento y que permiten conocer el estado de conservación de las praderas (Junta de Andalucía, 2017, 2018 y 2019).

El equipo del CSIC ha utilizado un diseño muestral que puede permitir determinar el efecto de los siguientes factores en las reservas y flujos de carbono de las praderas marinas:

- » Especie (*P. oceanica*, *C. nodosa*, *Z. noltei*).
- » Zona geográfica (Mediterráneo, Alborán, Atlántico mar abierto y Atlántico aguas costeras interiores).
- » Estado vital (pradera saludable, en regresión, mata muerta, en (re)colonización, claro de arena).
- » Sustrato (blando / rocoso).
- » Profundidad (somera, intermedia, profunda).

Se considera que el orden de importancia de los factores explorados para determinar las reservas y flujos de carbono de las praderas marinas es, de mayor a menor:

Especie ≥ Sustrato ≥ Zona geográfica ≥ Vitalidad ≥ Profundidad

Dado el gran número de factores explorados, la vasta superficie a muestrear, a que no se daban todas las combinaciones de los factores, así como las limitaciones de tiempo y recursos del estudio, éste no ha sido saturado. Quiere decir que no todos los factores se estudiaron para cada especie y tramo. Los dos últimos factores (sustrato y profundidad), así como algunos estados del factor estado vital, sólo se exploraron en algunas localidades de *P. oceanica*.

Los valores resultantes de la tabla matriz se trasladaron a continuación a los correspondientes campos creados al efecto en la capa vectorial cartográfica. Este proceso ha permitido cruzar esta valiosa información y obtener mapas temáticos de *stock*, flujo de CO₂ y biomasa del dosel, para todas las praderas de angiospermas marinas de Andalucía. La tabla matriz utilizada y los detalles sobre su elaboración pueden consultarse en Díaz-Almela y Carreto (2021) y su anexo, disponible en la REDIAM como Información adicional de Sumideros de Carbono en Praderas de *Posidonia oceanica*, Proyecto LIFE Blue Natura.

**PROYECTOS DE
INVESTIGACIÓN-
CONSERVACIÓN**

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos durante la realización de este trabajo se presentan y se discuten a continuación.

Cartografías específicas de praderas marinas para el Life Blue Natura

El proyecto Life+ *Posidonia* Andalucía supuso un avance sin precedentes en el conocimiento de las praderas de *P. oceanica* en la Comunidad Andaluza. Sin embargo, el ámbito de actuación del Life+ *Posidonia* estaba restringido a la Red Natura 2000 (Mendoza *et al.*, 2014), por lo que no se pudo cubrir todo el territorio. Por ello, en el proyecto posterior, el Life Blue Natura, se ha realizado un gran esfuerzo para rellenar los huecos y realizar cartografías en zonas con presencia conocida de angiospermas marinas fuera de la Red Natura 2000.

En total durante el Life Blue Natura se han prospectado 7.115 ha de fondo marino en 11 zonas estudiadas a lo largo del litoral andaluz (Tabla 2), detectando en ellas un total de 1.599 ha de praderas de angiospermas marinas. Esta aportación corresponde a un 13,61% del total de superficie conocida de este tipo de hábitats en Andalucía. Aunque el porcentaje es pequeño era fundamental poder disponer de información actualizada de todas las praderas andaluzas, incluidas las de otras especies menores como *C. nodosa* y *ζ. noltei*. En el futuro se seguirán realizando pequeñas cartografías de zonas del litoral para actualizar la información disponible. Las praderas de fanerógamas son sistemas vivos que evolucionan con el tiempo y que sufren directamente los impactos de la actividad humana en el litoral, por lo que será necesario ir actualizando los datos en un proceso continuo y dinámico.

Entre las nuevas cartografiadas destacan por su extensión las dos realizadas en la bahía de Almería donde se trabajó en dos zonas, la 1 (Universidad-Puerto de Almería) con 1.600 ha cubiertas y 398 ha praderas, fundamentalmente de *C. nodosa*, y la 2 (área de Roquetas-Aguadulce), con 87 ha prospectadas y 51 ha de *P. oceanica* degradada o de mata muerta (Tabla 2, Fig. 7). También son destacables, por la gran superficie estudiada, la zona 3 (Ensenada de Almerimar, Almería) con 1.200 ha de fondo marino de las que 520 ha son de praderas, con dominancia de *P. oceanica* (Tabla 2, Fig. 3), y la zona 11 (Bahía de Cádiz), con 1.527 ha prospectadas y presencia exclusiva de *ζ. noltei* en un total de 425 ha (Tabla 2, Fig 8).

Cartografía integrada

En la capa resultante de la fusión de las capas de diversas fuentes y de las zonas estudiadas durante el Life Blue Natura se integra toda la información actualizada de praderas de angiospermas marinas conocidas en Andalucía. En esta cartografía integrada se reúnen, por tanto, además de la distribución de las distintas especies de angiospermas marinas, la tipología de las praderas que forman, como por ejemplo si están en regresión o si hay presencia de mata muerta de *P. oceanica*. En la tabla de atributos del GIS, en el apartado de biocenosis (campo INTEGR), algunas opciones tienen más de una especie, tipo de sustrato o biocenosis, en las zonas que ya se han comentado donde el fondo es un parcheado sin un hábitat uniforme. Además, en esta capa se reflejan todos los atributos relevantes originarios de las distintas fuentes de información: Cartografía Regional (incluido el Life Blue Natura), Ecocartografías y Life+ *Posidonia* Andalucía.

Tabla 2: Resultados de las cartografías realizadas de angiospermas marinas por el Equipo del Programa de Gestión Sostenible del Medio Marino Andaluz durante el Proyecto Life Blue Natura. 1. Zona Universidad-Puerto de Almería (Almería). 2. Áreas degradadas y mata muerta en Roquetas-Aguadulce (Almería). 3. Ensenada de Almerimar (Almería). 4. Tramo Guardias Viejas-Balanegra (Almería). 5. Zona Punta Negra-Casarones (Granada). 6. Actualización de la cartografía en la Punta de la Torrecilla (Málaga). 7. Cartografía de *Posidonia oceanica* en el ZEC de Calahonda y el entorno del Puerto de Cabopino (Málaga). 8. Cartografía en el ZEC El Saladillo-Punta de Baños, zona de Guadalmanza y ZEC Fondos Marinos de la Bahía de Estepona (Málaga). 9. Ensenada de Bolonia y Valdevaqueros (Cádiz). 10. Caño de Sancti Petri (Cádiz). 11. Bahía de Cádiz. Se muestran los valores en hectáreas (ha) de la superficie total de fondo marino prospectado, la cantidad (ha) de cada biocenosis o especie detectada, así como los porcentajes y totales.

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN-CONSERVACIÓN

Provincia	N.º Zona Blue Natura	Superficie prospectada (ha)	Biocenosis / Especie	Superficie pradera por biocenosis/especie (ha)	% de pradera en la zona	Superficie total de praderas (ha)	% total de praderas en la zona
Almería	1	1.600	<i>Cymodocea nodosa</i>	308,74	19,3%	398,80	24,9%
			Mata muerta <i>Posidonia oceanica</i>	1,73	0,1%		
			<i>Posidonia oceanica</i>	88,33	5,5%		
	2	87	Mata muerta <i>Posidonia oceanica</i>	23,62	27,2%	51,17	58,8%
			<i>Posidonia oceanica</i> en regresión	27,55	31,7%		
	3	1.200	<i>Cymodocea nodosa</i>	15,15	1,3%	520,93	43,4%
			Mata muerta <i>Posidonia oceanica</i>	1,33	0,1%		
			<i>Posidonia oceanica</i>	340,96	28,4%		
			<i>Posidonia oceanica</i> en fondo mixto	99,66	8,3%		
	4	850	<i>Posidonia oceanica</i>	63,83	5,3%	520,93	43,4%
Granada	5	400	<i>Cymodocea nodosa</i>	29,00	3,4%	29,00	3,4%
			Mata muerta <i>Posidonia oceanica</i>	2,37	0,6%		
			<i>Posidonia oceanica</i> en regresión	68,03	17,0%		
Málaga	6	233	<i>Posidonia oceanica</i>	0,36	0,2%	0,36	0,2%
			<i>Cymodocea nodosa</i>	0,23	0,1%		
	7	328	Mata muerta <i>Posidonia oceanica</i>	1,26	0,4%	6,51	2,0%
			<i>Posidonia oceanica</i>	5,02	1,5%		
8	314	<i>Posidonia oceanica</i>	3,60	1,1%	3,60	1,1%	
Cádiz	9	554	<i>Cymodocea nodosa</i>	89,43	16,1%	89,43	16,1%
	10	22	<i>Zostera noltei</i>	2,20	10,0%	2,20	10,0%
	11	1.527	<i>Zostera noltei</i>	425,77	27,9%	425,77	27,9%
Totales		7.115		1.599,22		1.599,22	

1. Tramo Universidad-Puerto de Almería (Almería). 1.600 ha.
2. Áreas degradadas y mata muerta en Roquetas-Aguadulce (Almería). 87 ha.
3. Ensenada de Almerimar (Almería). 1.200 ha.
4. Tramo Guardias Viejas-Balanegra (Almería). 850 ha.
5. Tramo Punta Negra - Casarones (Granada). 400 ha.

6. Actualización de la cartografía en la Punta de la Torrecilla (Málaga). 233 ha.
7. Cartografía de *Posidonia* en el ZEC de Calahonda y el entorno del Puerto de Cabopino (Málaga). 328 ha.
8. Cartografía en el ZEC El Saladillo-Punta de Baños, zona de Guadalmanza y ZEC Fondos Marinos de la Bahía de Estepona (Málaga). 314 ha.

9. Ensenada de Bolonia y Valdevaqueros (Cádiz). 554 ha.
10. Caño de Sancti Petri (Cádiz). Se llevó a cabo la actualización de los polígonos de *Zostera noltei* en este tramo. 22 ha.
11. Bahía de Cádiz. Se llevó a cabo la actualización de los polígonos de *Zostera noltei* en esta zona. 1.527 ha.

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN-CONSERVACIÓN

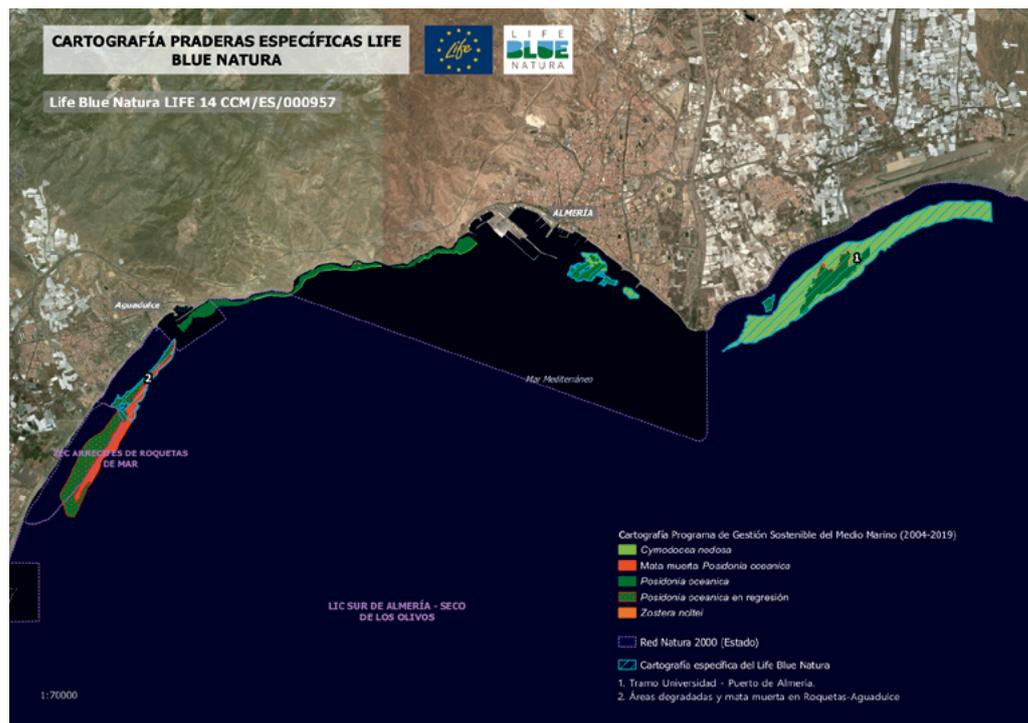


Figura 7: Cartografías de praderas de angiospermas marinas realizadas por el equipo del Programa de Gestión Sostenible del Medio Marino Andaluz en la bahía de Almería fuera de la Red Natura 2000 y no incluidas en el Life+ Posidonia Andalucía (el LIC de Bahía de Almería-Seco de los Olivos se propuso en 2014, es decir, posteriormente al inicio del Life + Posidonia Andalucía). Se incluyen en esta figura dos zonas cartografiadas en el Life Blue Natura: 1. Zona de la universidad y del puerto de Almería, a ambos lados del delta del río Andarax, y 2. Áreas degradadas de Posidonia oceanica y de “mata muerta” de esta misma especie en la zona de Roquetas y Aguadulce. No se muestran polígonos que provengan de otras fuentes de información.



Figura 8: Cartografía de actualización de los polígonos de Zostera noltii realizada por el equipo del Programa de Gestión Sostenible del Medio Marino Andaluz en el Parque Natural Bahía de Cádiz, durante el Proyecto Life Blue Natura. No se muestran polígonos que provengan de otras fuentes de información.

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN-CONSERVACIÓN

El total de hectáreas de fondo marino con praderas que se conoce actualmente en Andalucía es de 11.751 ha, de las que 7.097 ha son de *P. oceanica* (60,40%), seguida por *C. nodosa* con 4.179 ha (35,36%) (Tabla 3). En determinadas zonas las praderas no son mono-específicas y continuas, dándose el caso de praderas mixtas en las que conviven dos especies (muy típico de *C. nodosa* y *Z. noltei*), o de la existencia de un auténtico puzzle con manchas de *P. oceanica* y otras de *C. nodosa*, que ocupa los rodales de arena de los canales intermata. Además, hay otras zonas con praderas de *P. oceanica* degradadas o muertas en las que viven otras especies como *C. nodosa* o incluso el alga invasora *Caulerpa cylindracea* (Tabla 3), por lo que es muy difícil asignar a especies concretas todos los polígonos cartográficos.

Tabla 3: Resultados de la cartografía integrada en el que se incluye también la información levantada durante el Life Blue Natura. Se muestra la superficie actualizada en hectáreas de las praderas en Andalucía de cada una de las biocenosis o especies consideradas en las fuentes cartográficas, y el total regional agrupado por especies (*Posidonia oceanica*, *Cymodocea nodosa*, *Zostera noltei* y *Zostera marina*). Se indican también los porcentajes. Nota: aunque existen fondos mixtos o parcheados en los que hay varias especies, para el total específico se ha seleccionado la que es dominante.

Tipo de biocenosis / Especie	Superficie (ha)	%	Superficie total (ha)	%
Mata muerta de <i>Posidonia oceanica</i>	131,25	1,12	7.097,90	60,40
<i>Posidonia oceanica</i>	5.197,76	44,23		
<i>Posidonia oceanica</i> en fondo mixto	99,66	0,85		
<i>Posidonia oceanica</i> en regresión	629,62	5,36		
<i>Posidonia oceanica</i> y <i>Caulerpa cylindracea</i>	42,19	0,36		
<i>Posidonia oceanica</i> y <i>Cymodocea nodosa</i>	939,78	8,00		
<i>Posidonia oceanica</i> , <i>Cymodocea nodosa</i> y <i>Zostera sp.</i>	57,64	0,49		
<i>Cymodocea nodosa</i>	4.179,05	35,56	4.179,14	35,56
<i>Cymodocea nodosa</i> y mata muerta de <i>P. oceanica</i>	0,09	0,00	474,07	4,03
<i>Cymodocea nodosa</i> y <i>Zostera noltei</i>	0,34	0,00		
<i>Zostera noltei</i>	473,73	4,03		
<i>Zostera marina</i>	0,09	0,00	0,09	0,0008
Total Resultado	11.751,20	100,00	11.751,20	100,00

En el análisis de la información cartográfica de praderas por provincias (Tabla 4) se observa que Almería es la que tiene más diversidad de biocenosis y especies, y también de superficie ocupada por praderas de angiospermas marinas, con más de 10.500 ha (un 89,66% del total de Andalucía), de las cuales unas 5.000 ha son de praderas mono-específicas de *P. oceanica* (42,57% del total) y más de 3.700 ha de formaciones mono-específicas de *C. nodosa* (31,59%). En la parte mediterránea de Andalucía, incluido el mar de Alborán, se observa un gradiente de reducción según nos acercamos al Estrecho, con cada vez menos cantidad de praderas, puesto que en Granada se conocen 227 ha de praderas (un 1,93% del total de la comunidad) y en Málaga solo 51 ha (el 0,44%). En el Atlántico, donde no vive *P. oceanica*, domina *Z. noltei* en estuarios y marismas. En Cádiz además está presente *C. nodosa* y algunas manchas relictas de *Zostera marina* (la presencia de esta última especie resulta de difícil localización y cuantificación ya que está completamente rodeada de *C. nodosa*). Cádiz con 891 ha es la provincia atlántica con más praderas, un 7,59% del total de Andalucía. Huelva, con solo 45 ha conocidas de *Z. noltei* (un 0,38% de las praderas de Andalucía) es la provincia con menor superficie de angiospermas marinas y también con menor diversidad ya que ésta es la única especie presente (Tabla 4).

Este resultado, obtenido gracias al esfuerzo de distintos proyectos y equipos de trabajo, realizado durante muchos años, es equivalente al que se están obteniendo en otros puntos

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN-CONSERVACIÓN

del Mediterráneo, como por ejemplo en Córcega (Valette-Sansevin *et al.* 2019; Pergent *et al.*, 2019), donde han identificado más de 53.000 ha de *P. oceanica* (muy abundante hasta -40 m debido a la elevada transparencia de las aguas y con praderas de hasta 5 km de anchura en la costa este por ser la plataforma poco profunda) y solo 1.690 ha de *C. nodosa*.

Tabla 4: Resultados de la cartografía integrada. Superficie en hectáreas de los distintos tipos de praderas de angiospermas marinas presentes en Andalucía, por provincias. Se incluyen porcentajes y totales.

Provincia	Biocenosis / Especie	Superficie (ha)	%	Total (ha)	% Total
Almería	<i>Cymodocea nodosa</i>	3.711,77	31,59	10.536,34	89,66
	<i>Cymodocea nodosa</i> y <i>Zostera noltei</i>	0,34	0,00		
	Mata muerta de <i>Posidonia oceanica</i>	123,42	1,05		
	<i>Posidonia oceanica</i>	5.002,20	42,57		
	<i>Posidonia oceanica</i> en fondo mixto	99,66	0,85		
	<i>Posidonia oceanica</i> en regresión	559,35	4,76		
	<i>Posidonia oceanica</i> y <i>Caulerpa cylindracea</i>	42,19	0,36		
	<i>Posidonia oceanica</i> y <i>Cymodocea nodosa</i>	939,73	8,00		
	<i>Posidonia oceanica</i> , <i>Cymodocea nodosa</i> y <i>Zostera sp.</i>	57,64	0,49		
	<i>Zostera noltei</i>	0,04	0,00		
Granada	<i>Cymodocea nodosa</i>	4,18	0,04	227,25	1,93
	Mata muerta de <i>Posidonia oceanica</i>	5,26	0,04		
	<i>Posidonia oceanica</i>	147,55	1,26		
	<i>Posidonia oceanica</i> en regresión	70,27	0,60		
Málaga	<i>Cymodocea nodosa</i>	0,40	0,00	51,13	0,44
	<i>Cymodocea nodosa</i> y mata muerta de <i>P. oceanica</i>	0,09	0,00		
	Mata muerta de <i>Posidonia oceanica</i>	2,57	0,02		
	<i>Posidonia oceanica</i>	48,01	0,41		
	<i>Posidonia oceanica</i> y <i>Cymodocea nodosa</i>	0,06	0,00		
Cádiz	<i>Cymodocea nodosa</i>	462,69	3,94	891,41	7,59
	<i>Zostera marina</i>	0,09	0,00		
	<i>Zostera noltei</i>	428,63	3,65		
Huelva	<i>Zostera noltei</i>	45,06	0,38	45,06	0,38
Total		11.751,20	100,00	11.751,20	100,00

Batimetría

Al cruzar la batimetría ya actualizada y depurada con otras capas de información, como las biocenosis de la cartografía integrada, se obtienen multitud de polígonos menores correspondientes a los distintos hábitats y profundidades. Estos polígonos resultantes son muy importantes para conocer la distribución de las distintas praderas de angiospermas a lo largo del gradiente que existe desde la superficie hacia más fondo hasta llegar a su límite de profundidad que depende de la transparencia de las aguas y, por tanto, de la cantidad de luz que pueden recibir (Duarte, 1991). Precisamente la cantidad de luz que llega a las hojas y que depende de la transparencia de las aguas y de la profundidad, es la que condiciona la densidad de haces de las distintas praderas andaluzas (Sánchez-Lizaso, 2004c; Junta de Andalucía, 2017 y 2018).

Los resultados obtenidos permiten conocer en más detalle cómo se comportan las praderas andaluzas de cada una de las especies de angiospermas marinas en función de la profundidad. Así, por ejemplo, *P. oceanica*, que en Andalucía llega hasta unos 30 m de

profundidad, no se distribuye de forma homogénea en ese rango batimétrico. Seleccionando, por ejemplo, las zonas con pradera de *P. oceanica* monoespecífica y saludable (Tabla 5), se ha obtenido que la mayor parte de las mismas (más del 71%) se encuentran en profundidades medias, entre 5 y 20 m en Almería, provincia donde este tipo de pradera es mucho más abundante (96,24%) que en el resto de Andalucía. Estas praderas monoespecíficas de *P. oceanica* también son más abundantes en un rango batimétrico medio en Granada y Málaga pero en estos casos siempre en zonas más someras por ser las aguas más turbias según nos acercamos hacia el Estrecho: entre 5 y 15 m (más del 88%) en Granada, y en el rango de 5-10 m (46,24%) en Málaga. Es interesante observar que las praderas de *P. oceanica* en regresión se han detectado solo en Almería y en Granada (Tabla 6). En Málaga la presencia de la especie es tan escasa que es posible que la regresión que pueda sufrir, lleve casi automáticamente aparejada la desaparición de las manchas. En Almería es muy destacable que las praderas que presentan más hectáreas en regresión, 184 ha (casi el 33% del total) son las más profundas y se sitúan entre -25 y -30 m, lo que podría asociarse a actividades ilegales de pesca de arrastre y/o a una reducción de la calidad del agua, por contaminación difusa con exceso de nutrientes; aunque también podría ser un artefacto del método y que la señal del sonar (en concreto en la Ecocartografía de 2008) de praderas no muy densas y con poca cobertura (que es lo que se puede esperar en zonas profundas) se haya interpretado como que se encuentran en regresión. Las praderas en regresión en Granada se encuentran mayoritariamente (61,87%) entre 10 y 15 m, que para esta provincia son praderas “profundas” porque apenas hay presencia de la especie entre -15 y -25 m (Tabla 6). Es necesario investigar más la posible recesión general de las praderas profundas en Andalucía y sus causas, un fenómeno detectado en otras zonas del Mediterráneo, incluso sin presiones aparentes (Mayot *et al.*, 2006; Astruch *et al.*, 2017).

La existencia de “mata muerta” es más o menos frecuente dentro de las praderas y se evalúa en las estaciones de seguimiento con las medidas de cobertura, pero con frecuencia no tiene entidad para una representación cartográfica. Solo cuando la presencia de “mata muerta” es continua y muy extensa es cuando puede generar polígonos y ser representadas en las cartografías. En Almería, la provincia con más praderas vivas pero también con más extensión de “mata muerta”, se conocen 123 ha y de ellas más del 42% se encuentra entre 10 y 15 m de profundidad (Tabla 7). Las áreas más importantes de “mata muerta”

Tabla 5: Resultados de la cartografía integrada. Cruce de información de praderas monoespecíficas de *Posidonia oceanica* y la batimetría, por provincias. Se muestran las hectáreas de cada rango batimétrico con presencia de la especie, con porcentajes y totales.

Provincia	Biocenosis / Especie	Rango (m)	Superficie (ha)	%	Total (ha)	Total %
Almería	<i>Posidonia oceanica</i>	0-05	285,48	5,71	5002,20	96,24
		05-10	1119,38	22,38		
		10-15	1352,24	27,03		
		15-20	1113,92	22,27		
		20-25	864,98	17,29		
		25-30	266,19	5,32		
Granada	<i>Posidonia oceanica</i>	0-05	15,70	10,64	147,55	2,84
		05-10	63,97	43,35		
		10-15	66,25	44,90		
		15-20	1,63	1,10		
Málaga	<i>Posidonia oceanica</i>	0-05	13,84	28,84	48,01	0,92
		05-10	22,20	46,24		
		10-15	11,96	24,92		
Total					5197,76	100,00

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN-CONSERVACIÓN

Tabla 6: Resultados de la cartografía integrada. Cruce de información de praderas de *Posidonia oceanica* en regresión y la batimetría, por provincias. Se muestran las hectáreas de cada rango batimétrico con presencia de este tipo de fondo, así como los porcentajes y totales.

Provincia	Biocenosis / Especie	Rango (m)	Superficie (ha)	%	Total (ha)	Total %
Almería	<i>Posidonia oceanica</i> en regresión	0-05	1,36	0,24	559,35	88,84
		05-10	28,45	5,09		
		10-15	144,51	25,84		
		15-20	71,45	12,77		
		20-25	129,12	23,08		
		25-30	184,46	32,98		
Granada	<i>Posidonia oceanica</i> en regresión	0-05	1,02	1,45	70,27	11,16
		05-10	23,64	33,65		
		10-15	43,47	61,87		
		15-20	2,04	2,91		
		20-25	0,08	0,12		
Total					629,62	100,00

Tabla 7: Resultados de la cartografía integrada. Cruce de información de superficies de fondo marino de “mata muerta” de *Posidonia oceanica* y la batimetría, por provincias. Se muestran las hectáreas de cada rango batimétrico con presencia de este tipo de fondo, el porcentaje y el total.

Provincia	Biocenosis / Especie	Rango (m)	Superficie (ha)	%	Total (ha)	Total %
Almería	Mata muerta de <i>Posidonia oceanica</i>	0-05	0,90	0,73	123,42	94,03
		05-10	13,44	10,89		
		10-15	52,46	42,51		
		15-20	26,00	21,06		
		20-25	17,60	14,26		
		25-30	13,02	10,55		
Granada	Mata muerta de <i>Posidonia oceanica</i>	0-05	0,58	10,95	5,26	4,00
		05-10	3,03	57,63		
		10-15	1,65	31,41		
Málaga	Mata muerta de <i>Posidonia oceanica</i>	0-05	2,57	100	2,57	1,96
Total					131,25	100,00

en esta provincia se encuentran en Villaricos, por un vertido industrial, y en la bahía de Almería entre Aguadulce y Roquetas de Mar, incluyendo los fondos situados por fuera del Monumento Natural Arrecife Barrera de *Posidonia*, en parte por la pesca de arrastre y/o por dragados que tuvieron lugar en el último cuarto del siglo XX (Arroyo *et al.*, 2015), así como, probablemente, por exceso de nutrientes en el agua. En el caso de Granada la “mata muerta” también es más frecuente (57,63%) en praderas de media profundidad para esa provincia, entre 5 y 10 m. Cabría esperar que en fondos someros (entre 0 y 5 m de profundidad) hubiera importantes extensiones de “mata muerta” por ser la zona litoral donde más obras se realizan (puertos, regeneración de playas, etc.) y más vertidos suelen producirse, pero en Almería y Granada es muy escasa a poca profundidad y los valores más altos se encuentran en Málaga (Tabla 7). Las praderas que se han catalogado con presencia conjuntamente de *P. oceanica* y el alga invasora *Caulerpa cylindracea*, solo observadas en Almería, son todas medias o profundas, con un máximo de hectáreas (27,47) entre 20 y 25 m, seguido por el rango entre 25 y 30 m (13,33 ha) (Tabla 8), lo que coincide con las profundidades donde acaba de comentarse que hay más pradera degradada (o con poca cobertura), lo

Tabla 8: Resultados de la cartografía integrada. Cruce de información de superficies de fondo marino de pradera de *Posidonia oceanica* con el alga invasora *Caulerpa cylindracea* y la batimetría, en Almería. Se muestran las hectáreas de cada rango batimétrico con presencia de este tipo de fondo, el porcentaje y el total.

Provincia	Biocenosis / Especie	Rango (m)	Superficie (ha)	%	Total (ha)	Total %
Almería	<i>Posidonia oceanica</i> y <i>Caulerpa cylindracea</i>	15-20	1,40	3,31	42,19	100,00
		20-25	27,47	65,10		
		25-30	13,33	31,59		
Total					42,19	100,00

cual facilitaría la invasión. Estos rangos batimétricos (20-30 m) coinciden también con los observados como preferidos por el alga invasora en el seguimiento de la expansión de *C. cylindracea* en los Fondos Marinos del Levante Almeriense desde su aparición en la zona en 2008 (Junta de Andalucía, 2014). Sin duda, *C. cylindracea* aprovecha que las praderas de angiospermas son poco vigorosas o que dejan huecos entre las plantas para asentarse de forma masiva sobre un sustrato mucho más estable que es sedimento desnudo.

Las praderas monoespecíficas *C. nodosa* (Tabla 9) son muy abundantes en Almería. El 88,82% de estas formaciones en Andalucía se encuentran en esta provincia (3.711 ha), y se localizan entre la orilla y 30 m de profundidad, con una mayor abundancia en el rango batimétrico de 10-15 m, con 1.470 ha (casi el 40% de Almería). Precisamente las cartografías realizadas durante el Life Blue Natura fuera de la Red Natura 2000 han permitido completar el conocimiento de la distribución de esta especie, al incorporar praderas muy extensas como la que hay entre la salida del río de Almería y El Alquíán (tramo 1 ya comentado). En Granada la especie es muy escasa (solo el 0,10% de Andalucía), con un máximo de 2,78 ha entre 5 y 10 m de profundidad. En Málaga *C. nodosa* solo se ha observado en el rango más somero (entre 0 y 5 m) concentrada principalmente en la ZEC de Calahonda,

Tabla 9: Resultados de la cartografía integrada. Cruce de información de praderas monoespecíficas de *Cymodocea nodosa* y la batimetría, por provincias. Se muestran las hectáreas de cada rango batimétrico con presencia de este tipo de fondo, así como los porcentajes y totales.

Provincia	Biocenosis / Especie	Rango (m)	Superficie (ha)	%	Total (ha)	Total %
Almería	<i>Cymodocea nodosa</i>	0-05	33,46	0,90	3.711,77	88,82
		05-10	870,77	23,46		
		10-15	1.470,29	39,61		
		15-20	983,21	26,49		
		20-25	290,52	7,83		
		25-30	63,52	1,71		
Granada	<i>Cymodocea nodosa</i>	05-10	1,39	33,20	4,18	0,10
		10-15	2,78	66,60		
		15-20	0,01	0,20		
Málaga	<i>Cymodocea nodosa</i>	0-05	0,40	100	0,40	0,01
Cádiz	<i>Cymodocea nodosa</i>	0-05	341,48	73,80	462,69	11,07
		05-10	25,42	5,49		
		10-15	87,30	18,87		
		15-20	6,38	1,38		
		20-25	1,24	0,27		
		25-30	0,88	0,19		
Total					4.179,05	100,00

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN-CONSERVACIÓN

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN-CONSERVACIÓN

con solo 0,40 ha que representa un 0,01% de Andalucía. En Cádiz, la especie es mucho más frecuente que en Granada y en Málaga (con 462 ha y un 11,07% del total), pero a diferencia del resto de provincias la mayor abundancia se observa en fondos muy someros debido al alto grado de turbidez de las aguas. Así, por ejemplo se conocen 341,48 ha entre 0 y 5 m de profundidad (Tabla 9), que corresponden al Parque Natural Bahía de Cádiz y que constituye el 73,80% de este tipo de fondo en la provincia. También son destacables las 87 ha de praderas gaditanas de *C. nodosa* que se encuentran entre 10 y 15 m de profundidad, la mayoría en el Parque Natural del Estrecho y todas ellas en mar abierto, en aguas más transparentes que en la bahía de Cádiz.

Por último, *Z. noltei* (Tabla 10) tiene una distribución predominantemente atlántica asociada a estuarios, pudiendo quedar fuera del agua en marea baja (Pérez-Lloréns y Moreno, 2004). Es destacable que existe una pradera mediterránea de esta especie en el estuario del río Palmones, en la bahía de Algeciras (Arroyo et al., 2015). Además, *Z. noltei* también tiene presencia en aguas abiertas mediterráneas en la provincia de Almería, siempre en el infralitoral somero, ya sea formando manchas mono-específicas muy pequeñas o asociada a *C. nodosa*, (Moreno y Guirado, 2003; Pérez-Lloréns y Moreno, 2004). En las cartografías realizadas en el Blue Natura se han observado manchas mixtas puntuales de *C. nodosa* y *Z. noltei* entre 5 y 7 m de profundidad, algo superior a lo que se conocía hasta ahora, sin significación cartográfica. El cruce de datos de la cartografía integrada con la batimetría confirma lo que se conocía de la especie, una presencia que se circunscribe a fondos muy someros (0-5 m) y con una gran abundancia en Cádiz (428,63 ha), que corresponden en parte al Parque Natural Bahía de Cádiz y constituyen el 90,41% de Andalucía, seguido de Huelva, donde es la única angiosperma marina, con 45,06 ha (casi el 10% de las praderas andaluzas de esta especie) (Tabla 10). La presencia en Almería es puntual y testimonial, con solo 0,04 ha para praderas mono-específicas y 0,34 ha para praderas mixtas con *C. nodosa*, aunque esta última categoría podría estar infravalorada puesto que no es fácil distinguir la presencia de *Z. noltei* en praderas de otras especies ya que es mucho menor que ellas y puede pasar desapercibida.

Tabla 10: Resultados de la cartografía integrada. Cruce de información de praderas mono-específicas de *Zostera noltei* y la batimetría, por provincias. En el caso de Almería se han considerado también las praderas mixtas de *Cymodocea nodosa* y *Z. noltei*. Se muestran las hectáreas de cada rango batimétrico con presencia de la especie, con porcentajes y totales.

Provincia	Biocenosis / Especie	Rango (m)	Superficie (ha)	%	Total (ha)	Total %
Almería	<i>Cymodocea nodosa</i> y <i>Zostera noltei</i>	0-05	0,34	90,51	0,38	0,08
	<i>Zostera noltei</i>	0-05	0,04	9,49		
Cádiz	<i>Zostera noltei</i>	0-05	428,63	100	428,63	90,41
Huelva	<i>Zostera noltei</i>	0-05	45,06	100	45,06	9,51
Total					474,07	100,00

Sustrato

La incorporación de la información de la naturaleza del sustrato de las distintas cartografías disponibles a la integrada, constituyó un salto cualitativo en este trabajo, puesto que se pudieron obtener como resultado, polígonos más precisos del tipo de pradera que se encuentra en cada zona. Como ya se ha comentado las angiospermas marinas suelen asentarse en fondos blandos donde pueden fijar sus raíces y rizomas, aunque *P. oceanica* puede vivir también sobre roca, pero no siempre es fácil conocer el sustrato que existe debajo, al

estar tapado por el espeso entramado de rizomas de la pradera. Sin embargo, es muy importante conocer si el fondo que hay debajo de la pradera es blando, y por tanto podría tener “mata” y un importante *stock* de carbono en su interior, o si es rocoso, con lo que la capa orgánica sería muy estrecha y limitada a los rizomas y a las hojas vivas (aunque a veces se observa cierto desarrollo recifal sobre roca). A falta de mediciones de la potencia de “mata” bajo la pradera, la definición del tipo de sustrato basal es, por tanto, fundamental para poder acometer el escalado de los datos del estudio de almacén de carbono obtenidos por parte del equipo del CSIC y poder hacer estimaciones razonables a escala regional.

En los resultados obtenidos (Tabla 11) se observa, como cabía esperar, que las praderas de todas las especies se asientan preferentemente sobre fondos blandos y móviles. Sin embargo, también se ha identificado sustrato rocoso en el caso de praderas de *P. oceanica* en varias de sus diferentes tipologías, y muy raramente en *C. nodosa*. La presencia más importante de roca se encuentra en las praderas de *P. oceanica* sanas y monoespecíficas, con más de 2.100 ha frente a las más de 3.000 ha que se encuentran sobre fondos blandos. Estos valores tan altos de pradera sobre roca, que constituyen un 41,54% frente a pradera sobre sedimentos (un 58,46%), confirman lo que ya se había apuntado por distintos autores para *P. oceanica* en Andalucía (García Raso et al. 1992; Moreno y Guirado, 2003; Luque y Templado, 2004; Arroyo et al., 2015): que las praderas de esta especie sobre roca son especialmente abundantes al sur del Parque Natural Cabo de Gata-Níjar, en los fondos marinos de Punta Entinas-Sabinar (Almería), así como en las provincias de Granada y de Málaga.

Tabla 11: Resultados de la cartografía integrada. Cruce de información de distintos tipos de praderas (*Posidonia oceanica*, *Cymodocea nodosa*, *Zostera noltei* y *Zostera marina*) con el tipo de sustrato (sedimentos o roca). Se muestran las hectáreas con presencia de la especie por tipo de sustrato y su porcentaje, así como los totales de sedimentos y de roca y sus porcentajes.

Biocenosis / Especie	Tipo de sustrato	Superficie (ha)	% superficie	Superficie total (ha)	Sedimentos Total (ha)	%	Roca Total (ha)	%					
<i>Posidonia oceanica</i>	Sedimentos	3.038,85	58,46	7.097,90	4.841,65	68,21	2.256,25	31,79					
	Roca	2.158,91	41,54										
<i>Posidonia oceanica en fondo mixto</i>	Sedimentos	99,66											
<i>Posidonia oceanica en regresión</i>	Sedimentos	586,73	93,19										
	Roca	42,89	6,81										
<i>Posidonia oceanica y Cymodocea nodosa</i>	Sedimentos	892,46	94,96										
	Roca	47,32	5,04										
<i>Posidonia oceanica, Cymodocea nodosa y Zostera sp.</i>	Sedimentos	57,64											
<i>Posidonia oceanica y Caulerpa cylindracea</i>	Sedimentos	42,19											
<i>Mata muerta de Posidonia oceanica</i>	Sedimentos	124,12	94,57										
	Roca	7,13	5,43										
<i>Cymodocea nodosa</i>	Sedimentos	4.094,47	97,98						4.179,48	4.094,90	97,98	84,58	2,02
	Roca	84,58	2,02										
<i>Cymodocea nodosa y mata muerta de P. oceanica</i>	Sedimentos	0,09											
<i>Cymodocea nodosa y Zostera noltei</i>	Sedimentos	0,34											
<i>Zostera noltei</i>	Sedimentos	473,73	100,00	473,73	473,73	100,00	0,00	0,00					
<i>Zostera marina</i>	Sedimentos	0,09	100,00	0,09	0,09	100,00	0,00	0,00					
Totales	Sedimentos	9.410,37	80,08	11.751,20	9.410,37	80,08	2.340,83	19,92					
	Roca	2.340,83	19,92										
	Gran total	11.751,20	100,00										

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN-CONSERVACIÓN

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN-CONSERVACIÓN

Otras tipologías de pradera de *P. oceanica*, como las praderas degradadas, las mixtas con *C. nodosa* y la de “mata muerta” también se han detectado sobre roca, pero en una cantidad muy baja, rondando siempre un 5-7%, frente a las praderas sobre sustrato blando que son siempre superiores al 93%. En el caso de las praderas de *C. nodosa*, el resultado con casi un 98% en sedimentos ha sido también el esperado, puesto que esta especie es característica de fondos blandos (Tabla 11). El sustrato rocoso detectado para *C. nodosa* debe corresponder a cubetas arenosas situadas sobre un basamento rocoso subaflorente. El resto de las especies, *Z. noltei* y *Z. marina*, viven siempre sobre sedimentos.

Por lo que respecta a los sedimentos, el detalle de las cartografías disponibles permiten diferenciar entre muchos tipos, dependiendo de la granulometría, desde finos (limos y arcillas, fango), a distintos tipos de arena (muy fina, media, gruesa), así como gravas y sedimentos variados. También hay zonas con cantos y bloques que podrían ser más próximas a la roca, pero que al poder moverse puntualmente son más inestables y no son un buen sustrato para las angiospermas marinas. En el caso de praderas de *P. oceanica* monoespecíficas y en buen estado, los datos agrupados de Almería, Granada y Málaga (Tabla 12) muestran cómo la mayor parte de las que viven en fondos blandos y/o móviles lo hacen sobre arena gruesa (1.528 ha), un 29,41% del total, con poca superficie correspondiente a arenas muy finas (194 ha) o gravas (212 ha). No hay praderas de *P. oceanica* en fondos de sedimentos muy finos como fangos o arcillas. Comparando los dos tipos principales de sustratos, los sedimentarios (se incluyen en este grupo los cantos y bloques por ser móviles) y la roca, se observa que un 58,46% de las praderas se instalan en los primeros (con más de 3.000 ha), mientras que el 41,54% lo hacen en la roca (más de 2.100 ha) (Tabla 12). En el caso de praderas en regresión de esta especie, no se observa un sedimento que sea más abundante, con valores que rondan las 170-175 ha para arenas gruesas y arenas sin especificar (Tabla 13, con datos agrupados de Almería y Granada, porque en Málaga no se ha observado). Solo el 6,81% de las praderas degradadas se han observado sobre roca (42 ha) (Tabla 13), quizá porque las formaciones que se encuentran en regresión sobre este sustrato se erosionan y se pierden con más rapidez que en los sedimentos y en algunas zonas literalmente desaparecen.

Por el contrario, la “mata muerta” de *P. oceanica* se relaciona con la arena muy fina, puesto que más del 41% corresponde a este tipo de sustrato (Tabla 14). Como se acaba de comentar, las praderas en buen estado no se observan en fondos de sedimento muy fino que es el sustrato preferente para otras especies como *C. nodosa* y *Z. noltei* (Luque y Templado, 2004) y no suelen encontrarse en desembocaduras de ríos, en parte por no tolerar altas tasas de sedimentación (Sánchez-Lizaso, 2004a), por lo que praderas que vivan en este tipo de sustrato tienen más dificultades para prosperar. Un buen ejemplo de las dificultades de *P. oceanica* para superar una alta sedimentación es la importante regresión que sufrió en Málaga en la desembocadura del arroyo de la Miel (que tiene agua todo el año pero con un caudal muy bajo) a raíz de la gran avenida de 2007 con grandes aportes terrígenos, principalmente materiales de derrubio de la construcción de la Autovía A7, que sepultaron parcialmente las praderas de la zona (Arroyo et al., 2015). También puede ser que el sedimento fino se acumule sobre las praderas comprometiendo su supervivencia, como sucede en el interior de dársenas portuarias construidas alrededor de las praderas, de las que hay varios ejemplos en Almería, como el puerto pesquero de la capital, Aguadulce y Roquetas (Moreno y Guirado, 2003). En la zona interna de la bahía de Almería son muy abundantes los fangos y sedimentos muy finos, que a veces se acumulan sobre el fondo movidos por el oleaje o las corrientes, lo que no beneficia en nada a *P. oceanica* y puede ser una de las causas de la gran cantidad de “mata muerta” observada entre Aguadulce y Roquetas. Como en el caso de las praderas degradadas, la “mata muerta” sobre roca es escasa, con solo 7 ha, lo que representa un 5,43% del total (Tabla 14).

**PROYECTOS DE
INVESTIGACIÓN-
CONSERVACIÓN**

Tabla 12: Resultados de la cartografía integrada. Cruce de información de praderas monoespecíficas de *Posidonia oceanica* y el tipo de sustrato (datos agrupados de Almería, Granada y Málaga). Se muestran las hectáreas de cada tipo de sustrato y sus porcentajes, así como el total de todos los sustratos móviles agrupados, considerados como “sedimentos” (Sed.), frente al sustrato rocoso, y sus porcentajes.

Biocenosis / Especie	Tipo sustrato	Superficie (ha)	% Tipo sustrato	Total Sed./ Roca (ha)	% Sed./ Roca
<i>Posidonia oceanica</i>	Arena muy fina	194,19	3,74	3.038,84	58,46
	Arena fina	229,35	4,41		
	Arena	616,54	11,86		
	Arena media	249,85	4,81		
	Arena gruesa	1.528,70	29,41		
	Grava	212,41	4,09		
	Sedimentos variados	1,88	0,04		
	Cantos y bloques	5,93	0,11		
	Roca	2.158,91	41,54	2.158,91	41,54
Total	5.197,76	100,00	5.197,76	100,00	

Tabla 13: Resultados de la cartografía integrada. Cruce de información de praderas de *Posidonia oceanica* en regresión y el tipo de sustrato (datos agrupados de Almería y Granada). Se muestran las hectáreas de pradera para cada tipo de sustrato y sus porcentajes, así como el total de todos los sustratos móviles agrupados, considerados como “sedimentos” (Sed.), frente al sustrato rocoso, y sus porcentajes.

Biocenosis / Especie	Tipo sustrato	Superficie (ha)	% Tipo sustrato	Total Sed./ Roca (ha)	% Sed./ Roca
<i>Posidonia oceanica</i> en regresión	Arena muy fina	124,48	19,77	586,73	93,19
	Arena fina	10,88	1,73		
	Arena	176,14	27,98		
	Arena media	2,95	0,47		
	Arena gruesa	171,21	27,19		
	Grava	101,07	16,05		
	Roca	42,89	6,81	42,89	6,81
Total	629,62	100,00	629,62	100,00	

Tabla 14: Resultados de la cartografía integrada. Cruce de información de fondo marino con “mata muerta” de *Posidonia oceanica* y el tipo de sustrato (datos agrupados de Almería, Granada y Málaga). Se muestran las hectáreas de pradera para cada tipo de sustrato y sus porcentajes, así como el total de todos los sustratos móviles agrupados, considerados como “sedimentos” (Sed.), frente al sustrato rocoso, y sus porcentajes.

Biocenosis / Especie	Tipo sustrato	Superficie (ha)	% Tipo sustrato	Total Sed./ Roca (ha)	% Sed./ Roca
Mata muerta de <i>Posidonia oceanica</i>	Arena muy fina	54,20	41,30	124,12	94,57
	Arena fina	2,36	1,80		
	Arena	9,16	6,98		
	Arena media	19,20	14,63		
	Arena gruesa	32,06	24,43		
	Grava	6,96	5,30		
	Sedimentos variados	0,17	0,13		
	Roca	7,13	5,43	7,13	5,43
Total	131,25	100,00	131,25	100,00	

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN-CONSERVACIÓN

En el caso de las praderas de *P. oceanica* y *C. nodosa*, se trata de fondos parcheados con manchas de las dos especies juntas. Los sustratos más abundantes para esta tipología son los de arenas gruesas, con 353 ha (37,64%) seguidos por la grava con 235 ha (25,10%) (Tabla 15). En Almería, en Cerrillos (ZEC Fondos Marinos de Punta Entinas-Sabinar) hay fondos de gravas donde viven estas dos especies formando extensas praderas. En Málaga esta combinación se da exclusivamente en los arrecifes del ZEC de Calahonda, que pueden asentarse sobre roca subaflorante.

Para praderas de *P. oceanica* con el alga invasora *Caulerpa cylindracea*, todas ellas en Almería, el sustrato mayoritario ha sido la arena media con 34 ha (81,70%) (Tabla 16). Esta especie exótica se detectó por primera vez en Almería en los alrededores de la isla de Terreros a finales de 2008 (Moreno, 2010) y en 2010 ya se conocían más de 120 ha en los Fondos Marinos del Levante Almeriense (Junta de Andalucía, 2010). En los trabajos de seguimiento de esta especie invasora durante el Life+ *Posidonia* Andalucía se pudo registrar la rápida expansión de la especie, que llegó al Parque Natural Cabo de Gata-Níjar en 2012 (Junta de Andalucía, 2013) y a Roquetas de Mar y Tarifa en 2014 (Junta de Andalucía, 2014). Sin embargo, se pudo comprobar que aunque la dispersión ha sido rápida y el aumento del fondo ocupado por *C. cylindracea* ha sido notable, la afección a las praderas de *P. oceanica* ha sido muy escasa puesto que el alga no puede competir con ella cuando la pradera tiene buena cobertura y densidad, por ser el alga de talla mucho menor, de forma que ocupa otros fondos (principalmente los de maerl), o se instala solo en los claros de arena que hay dentro de las praderas. Los resultados de la cartografía muestran que efectivamente hay muy poca superficie ocupada por praderas con presencia conjunta de *P. oceanica* y *C. cylindracea*, tan solo 42 ha.

Tabla 15: Resultados de la cartografía integrada. Cruce de información de zonas con praderas de *Posidonia oceanica* y de *Cymodocea nodosa* y el tipo de sustrato, en Almería (casi la totalidad de superficie corresponde a esta provincia) y Málaga. Se muestran las hectáreas de pradera para cada tipo de sustrato y sus porcentajes, así como el total de todos los sustratos móviles agrupados, considerados como “sedimentos” (Sed.), frente al sustrato rocoso, y sus porcentajes.

Biocenosis / Especie	Tipo sustrato	Superficie (ha)	% Tipo sustrato	Total Sed./ Roca (ha)	% Sed./Roca
<i>Posidonia oceanica</i> y <i>Cymodocea nodosa</i>	Arena muy fina	0,01	0,00	892,46	94,96
	Arena fina	125,87	13,39		
	Arena	31,54	3,36		
	Arena media	145,40	15,47		
	Arena gruesa	353,77	37,64		
	Grava	235,87	25,10	47,32	5,04
	Roca	47,32	5,04		
	Total	939,78	100,00	939,78	100,00

Tabla 16: Resultados de la cartografía integrada. Cruce de información de zonas con praderas de *Posidonia oceanica* con el alga invasora *Caulerpa cylindracea* en Almería, con el tipo de sustrato. Se muestran las hectáreas de pradera para cada tipo de sedimento y su porcentaje.

Biocenosis / Especie	Tipo sustrato	Superficie (ha)	% Tipo sustrato	Total Sedimentos	% Sedimentos
<i>Posidonia oceanica</i> y <i>Caulerpa cylindracea</i>	Arena	0,01	0,02	42,19	100,00
	Arena media	34,47	81,70		
	Arena gruesa	7,71	18,28		
	Total	42,19	100,00	42,19	100,00

Las praderas de *C. nodosa*, como ya se ha comentado, viven mayoritariamente en fondos blandos. Los resultados obtenidos confirman esta premisa puesto que se han registrado un total de 4.094 ha en fondos blandos (lo que representa un 97,98% del total), frente a las escasas 84 ha (el 2,02%) sobre sustrato rocoso (Tabla 17, con datos agrupados de Almería, Granada, Málaga y Cádiz). Entre las distintas tipologías de sustrato blando, la mayoritaria, como cabría esperar, es la de arenas finas, con 2.438 ha (58,35%), seguida de lejos por arenas medias y gruesas. También es destacable que 217 ha (5,19%) correspondan a fangos, ya que la especie tolera bien sedimentos finos (Marbá y Terrados, 2004).

Las praderas de *Z. noltei* se encuentran siempre en sustrato blando y suelen preferir los más finos. Las tipologías detectadas de forma más abundante han sido la de fango con 179 ha (37,82%), seguida de la de limos y arcillas con 143 ha (30,25%) (Tabla 18), típicas de estuarios de la fachada atlántica, que es donde se encuentran las principales formaciones en Andalucía (Pérez Lloréns, 2004). Las pequeñas praderas infralitorales de Almería también se asientan en sedimentos muy finos, generalmente fangosos (Moreno y Guirado, 2003; Pérez Lloréns y Moreno, 2004).

Tabla 17: Resultados de la cartografía integrada. Cruce de información de praderas mono-específicas de *Cymodocea nodosa* y el tipo de sustrato (datos agrupados de Almería, Granada, Málaga y Cádiz). Se muestran las hectáreas de pradera para cada tipo de sustrato y sus porcentajes, así como el total de todos los sustratos móviles agrupados, considerados como “sedimentos” (Sed.), frente al sustrato rocoso, y sus porcentajes.

Biocenosis / Especie	Tipo sustrato	Superficie (ha)	% Tipo sustrato	Total Sed./ Roca (ha)	% Sed./Roca
<i>Cymodocea nodosa</i>	Limos y arcillas	0,76	0,02	4.094,47	97,98
	Fango	217,06	5,19		
	Arena muy fina	79,57	1,90		
	Arena fina	2.438,53	58,35		
	Arena	285,41	6,83		
	Arena media	492,44	11,78		
	Arena gruesa	298,42	7,14		
	Grava	257,96	6,17		
	Sedimentos variados	0,06	0,00		
	Cantos y bloques	24,25	0,58		
	Roca	84,58	2,02	84,58	2,02
Total		4.179,05	100,00	4.179,05	100,00

Tabla 18: Resultados de la cartografía integrada. Cruce de información de praderas mono-específicas de *Zostera noltei* y el tipo de sustrato, en Cádiz, Huelva y Almería (la mayoría de la superficie corresponde a Cádiz, seguida de Huelva, con una presencia testimonial en Almería). Se muestran las hectáreas de pradera para cada tipo de sedimento y su porcentaje.

Biocenosis / Especie	Tipo sustrato	Superficie (ha)	% Tipo sustrato	Total Sedimentos	% Sedimentos
<i>Zostera noltei</i>	Limos y arcillas	143,32	30,25	473,73	100,00
	Fango	179,15	37,82		
	Arena	130,38	27,52		
	Arena gruesa	0,04	0,01		
	Sedimentos variados	19,04	4,02		
	Conglomerado	1,81	0,38		
Total		473,73	100,00	473,73	100,00

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN-CONSERVACIÓN

Por último, las escasas praderas de *Z. marina* que quedan en Andalucía (en Cádiz) se encuentran en arena o arena fangosa también en el saco interno de la bahía de Cádiz. Esta especie atlántica tenía importantes praderas en el mar de Alborán (Málaga, Granada y Almería) a finales del siglo XX (Luque y Templado, 2004), pero han desaparecido de forma drástica en estas provincias en los últimos años (Arroyo *et al.*, 2015).

Tramos de litoral

Andalucía se encuentra en un punto estratégico entre dos mares, Atlántico y Mediterráneo, a caballo entre las regiones biogeográficas mediterránea, lusitana y mauritana, e incluye en sus aguas dos barreras biogeográficas como son el Estrecho y el frente Almería/Orán (Luque y Templado, 2004; Goffredo y Dubinsky, 2014; Arroyo *et al.*, 2015). Por ello, se ha incluido en la cartografía integrada un gradiente este-oeste, que es muy marcado a lo largo del litoral Andaluz y condiciona la distribución de todas las especies de angiospermas marinas. A continuación se presentan los resultados de presencia de cada biocenosis o especie de angiosperma marina en los tramos definidos para este trabajo (Tabla 19).

En el tramo 1, que corresponde más o menos a la ZEC Fondos Marinos del Levante Almeriense, se encuentra el 26,46% de las praderas de Andalucía con un total de 3.109 ha. La especie con mayor extensión es *P. oceanica* con 1.405 ha de praderas mono-específicas en buen estado (un 45,21% del tramo) que se encuentran en la zona norte del tramo entre Villaricos y el límite con Murcia. Es preocupante la gran extensión de pradera degradada con 400 ha (un 12,89%) y de “mata muerta” con 51 ha (1,66%), que en parte corresponden al vertido de la industria química de Villaricos (Moreno *et al.*, 1999 y 2001; Arroyo *et al.*, 2015) y en parte a la zona de Cocedores en la que no se conoce bien la causa de la regresión. La segunda especie en importancia por la extensión es *C. nodosa* con más de 1.000 ha (32,67%), que se encuentran principalmente en la zona sur del tramo entre Villaricos y Carboneras (Tabla 19).

El tramo 2, correspondiente al Parque Natural Cabo de Gata-Níjar y que también incluye el Monumento Natural y la ZEC de la Isla de San Andrés, tiene un total de 2.408 ha, que representan el 20,50% de las praderas de Andalucía. Dominan en la zona las praderas mono-específicas de *C. nodosa* con más de 1.300 ha (55,26% del tramo), muy extensas en la bahía de Almería (aunque no suelen tener una elevada cobertura y densidad), seguidas de formaciones exclusivas de *P. oceanica* con más de 1.000 ha (41,93%) (Tabla 19), en general vigorosas y bien conservadas.

El tramo 3, que comprende la bahía de Almería fuera del Parque Natural y todo el Poniente Almeriense hasta el río Adra, es el que más praderas tiene con 5.018 ha (un 42,70% del total de Andalucía). Domina *P. oceanica*, con más de 2.500 ha de praderas mono-específicas en buen estado (un 51,54% del tramo) (Tabla 19), que corresponden a la zona de Roquetas, la ZEC Fondos Marinos de Punta Entinas-Sabinar y la ensenada de Almerimar. Son praderas muy extensas puesto que la plataforma es muy plana y poco profunda (la isóbata de los 30 m puede estar a 4 o 5 km de costa). La “mata muerta” de *P. oceanica* está presente fundamentalmente en la zona de Aguadulce y Roquetas, donde la pradera quedó afectada por la pesca de arrastre y los dragados de finales del siglo XX (Arroyo *et al.*, 2015) y donde hay evidencia de contaminación difusa y puntual de las aguas. También hay muchas hectáreas de *C. nodosa*, más de 1.300 (el 27,20% del tramo) (Tabla 19), que se encuentran en gran medida frente a El Alquíán y la Universidad de Almería, donde las praderas pueden tener elevada cobertura y densidad. Esta zona actualmente queda dentro del nuevo Lugar de Importancia Comunitaria-LIC Sur de Almería-Seco de los Olivos, LIC-ESZZ16003).

El tramo 4, compartido entre la parte más occidental de Almería (desde el río Adra) y Granada (llega hasta Almuñecar), posee solo el 1,94% de las praderas de Andalucía y está dominado por formaciones monoespecíficas de *P. oceanica* que ocupan 147 ha de fondo marino (un 64,89% del tramo) (Tabla 19). En este tramo también hay que destacar que el 30,90% de las praderas de *P. oceanica* se encuentran en regresión (70 ha).

El tramo 5 comprende la parte occidental de Granada (desde Almuñecar), que no posee praderas conocidas, y el extremo oriental de la provincia de Málaga, con las praderas del Paraje Natural Acanuilados Maro-Cerro Gordo que actualmente son exclusivamente

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN-CONSERVACIÓN

Tabla 19: Resultados de superficie en hectáreas de cada biocenosis o especie en los tramos definidos en el presente trabajo, ordenados de este a oeste. Se indica también la superficie total de praderas por tramo y el porcentaje con respecto al total.

Provincia	Tramos	Biocenosis / Especie	Superficie Tramo		Total Tramo	
			ha	%	ha	%
Almería	1	<i>Cymodocea nodosa</i>	1.015,68	32,67	3109,25	26,46
		<i>Cymodocea nodosa</i> y <i>Zostera noltei</i>	0,34	0,01		
		Mata muerta de <i>Posidonia oceanica</i>	51,67	1,66		
		<i>Posidonia oceanica</i>	1.405,61	45,21		
		<i>Posidonia oceanica</i> en regresión	400,76	12,89		
		<i>Posidonia oceanica</i> y <i>Caulerpa cylindracea</i>	42,19	1,36		
		<i>Posidonia oceanica</i> y <i>Cymodocea nodosa</i>	192,98	6,21		
	2	<i>Cymodocea nodosa</i>	1.331,01	55,26	2408,73	20,50
		<i>Posidonia oceanica</i>	1.010,05	41,93		
		<i>Posidonia oceanica</i> y <i>Cymodocea nodosa</i>	67,67	2,81		
	3	<i>Cymodocea nodosa</i>	1.364,95	27,20	5018,23	42,70
		Mata muerta de <i>Posidonia oceanica</i>	71,75	1,43		
		<i>Posidonia oceanica</i>	2.586,53	51,54		
<i>Posidonia oceanica</i> en fondo mixto		99,66	1,99			
<i>Posidonia oceanica</i> en regresión		158,59	3,16			
<i>Posidonia oceanica</i> y <i>Cymodocea nodosa</i>		679,08	13,53			
<i>Posidonia oceanica</i> , <i>Cymodocea nodosa</i> y <i>Zostera</i> sp.		57,64	1,15			
<i>Zostera noltei</i>	0,04	0,00				
Granada	4	<i>Cymodocea nodosa</i>	0,13	0,06	227,39	1,94
		<i>Cymodocea nodosa</i>	4,18	1,84		
		Mata muerta de <i>Posidonia oceanica</i>	5,26	2,31		
		<i>Posidonia oceanica</i>	147,55	64,89		
		<i>Posidonia oceanica</i> en regresión	70,27	30,90		
Málaga	5	<i>Posidonia oceanica</i>	37,71	100,00	37,71	0,32
	6	<i>Cymodocea nodosa</i>	0,40	2,99	13,42	0,11
		<i>Cymodocea nodosa</i> y mata muerta de <i>P. oceanica</i>	0,09	0,69		
		Mata muerta de <i>Posidonia oceanica</i>	2,57	19,17		
		<i>Posidonia oceanica</i>	10,30	76,72		
<i>Posidonia oceanica</i> y <i>Cymodocea nodosa</i>	0,06	0,43				
Cádiz	7	<i>Cymodocea nodosa</i>	135,64	100,00	135,64	1,15
	8	<i>Cymodocea nodosa</i>	327,05	40,84	800,83	6,81
		<i>Zostera marina</i>	0,09	0,01		
		<i>Zostera noltei</i>	428,63	53,52		
		<i>Zostera noltei</i>	45,06	5,63		
Huelva		<i>Zostera noltei</i>	45,06	5,63		
Total			11.751,20		11.751,20	100,00

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN-CONSERVACIÓN

de *P. oceanica*, con unas 37 ha (un 0,32% de las praderas andaluzas) (Tabla 19). A finales del siglo XX hubo extensas praderas de *Z. marina* en este tramo del litoral malagueño, pero que desaparecieron posteriormente, probablemente en parte por el progresivo calentamiento de las aguas (Arroyo *et al.*, 2015).

En el tramo 6 se encuentran todas las pequeñas praderas y manchas de *P. oceanica*, que se asientan mayoritariamente sobre roca, del litoral occidental malagueño, ya que va desde Vélez-Málaga hasta Gibraltar. Las praderas situadas en Mijas-Cabopino, Saladillo-Estepona y Punta Chullera son las más occidentales para la especie (Moreno *et al.*, 2004; Arroyo *et al.* 2015) y ocupan poco más de 10 ha (Tabla 19). En la zona se han detectado 2,57 ha de “mata muerta” y puede que la pérdida de pradera esté infravalorada, porque la mata podría quedar tapada por sedimentos o haberse perdido por la erosión costera, debido a la escasa profundidad a la que se encuentra, donde las olas rompen con fuerza. En conjunto, las pequeñas praderas del tramo 6, muchas veces solo manchas, corresponden a un 0,11% del total de estas formaciones en Andalucía (suman entre *P. oceanica* y *C. nodosa* poco más de 13 ha).

En el tramo 7, ya en aguas atlánticas entre Gibraltar y Sancti Petri, en Cádiz, se conocen 135 ha de praderas de *C. nodosa* en aguas marinas abiertas, que representan un 1,15% de las praderas andaluzas (Tabla 19).

El tramo 8, de estuarios y marismas de Cádiz y Huelva, tiene praderas de *Z. noltei*, *C. nodosa* y *Z. marina* que en total suman 800 ha (un 6,81% del total de Andalucía). Destacan las grandes extensiones de *Z. noltei* en Cádiz, con 428 ha, principalmente en el Parque Natural Bahía de Cádiz (un 53,52% del tramo), y en Huelva, con 45 ha (5,63% del tramo) (Tabla 19). Por importancia, a continuación se encuentran las praderas de *C. nodosa*, con 327 ha conocidas en Cádiz (un 40,84% del tramo). La única zona conocida actualmente en Andalucía con presencia segura de *Z. marina* es la bahía de Cádiz (Arroyo *et al.*, 2015; Brun *et al.*, 2015), con 0,09 ha.

Espacios Naturales Protegidos

El análisis de toda la información generada permite conocer en detalle la presencia de praderas marinas en los distintos espacios naturales protegidos litorales de Andalucía. En la declaración de la mayoría de estos espacios naturales, si no en todos, se tuvo muy en cuenta como uno de los más importantes valores de conservación la presencia de praderas de angiospermas marinas. En Almería (Tabla 20) hay presencia de estas especies en seis espacios naturales protegidos con un total de 10.278 ha de praderas. El espacio con más superficie de praderas es la Zona Especialmente Protegida de Importancia para el Mediterráneo (ZEPIM) y ZEC Fondos Marinos del Levante Almeriense con 3.127 ha (un 30,43% de la provincia), de las que 1.408 son de praderas monoespecíficas de *P. oceanica* y 1.040 de praderas monoespecíficas de *C. nodosa*, seguido por el Parque Natural Cabo de Gata-Níjar (también ZEPIM y ZEC) con 2.407 ha (el 23,42% de la provincia), de las que 1.403 ha son de *C. nodosa* y 1.003 ha de *P. oceanica*, por la ZEC Fondos Marinos de Punta Entinas-Sabinar con 2.354 ha (22,90%), de las que 1.464 ha son de *P. oceanica*, y por el LIC Sur de Almería-Seco de los Olivos con 2.133 ha (20,76%), de las que 867 ha son de *P. oceanica* y 855 ha de *C. nodosa*. También la ZEC Arrecifes de Roquetas de Mar (que incluye en su interior la mayor parte del Monumento Natural Arrecife barrera de *Posidonia*), cuenta con importantes praderas de angiospermas marinas con 179 ha (el 1,74% de la provincia). El espacio protegido de Almería con menor número de praderas es la ZEC y Monumento Natural Islote de San Andrés en Carboneras con 9 ha (el 0,09% de la provincia) (Tabla 20).

Tabla 20: Superficie en hectáreas de praderas de angiospermas marinas en espacios naturales protegidos de la provincia de Almería. Se indican las figuras de protección, el total de hectáreas (ha) por biocenosis y/o especie, así como el total y el porcentaje de cada espacio. LIC: Lugar de Importancia Comunitaria. ZEC: Zona de Especial Conservación. ZEPIM: Zona Especialmente Protegida de Importancia para el Mediterráneo.

**PROYECTOS DE
INVESTIGACIÓN-
CONSERVACIÓN**

Figuras de protección	LIC	ZEC	ZEC y Monumento Natural	Parque Natural, ZEPIM y ZEC	Monumento Natural y ZEC	ZEPIM y ZEC	Total (ha)
Biocenosis / Especie	Sur de Almería-Seco de los Olivos	Fondos Marinos de Punta Entinas-Sabinar	Arrecifes de Roquetas de Mar	Cabo de Gata-Níjar	Islote de San Andrés	Fondos Marinos del Levante Almeriense	
<i>Cymodocea nodosa</i>	855,40	344,84		1.403,81	0,98	1.040,30	3.645,34
<i>Cymodocea nodosa</i> y <i>Zostera noltei</i>						0,34	0,34
Mata muerta de <i>Posidonia oceanica</i>	57,69	7,53	6,02			51,67	122,90
<i>Posidonia oceanica</i>	867,07	1.464,03	101,34	1.003,29	8,20	1.408,72	4.852,65
<i>Posidonia oceanica</i> en fondo mixto	99,66						99,66
<i>Posidonia oceanica</i> en regresión	60,25	23,63	71,94			391,62	547,43
<i>Posidonia oceanica</i> y <i>Caulerpa cylindracea</i>						42,19	42,19
<i>Posidonia oceanica</i> y <i>Cymodocea nodosa</i>	164,88	514,19		67,67		192,98	939,73
<i>Posidonia oceanica</i> , <i>Cymodocea nodosa</i> y <i>Zostera</i> sp.	28,70						28,70
Total	2.133,65	2.354,23	179,29	2.407,11	9,18	3.127,83	10.278,95
%	20,76	22,90	1,74	23,42	0,09	30,43	100,00

En Granada no se conocen especies de fanerógamas marinas dentro de los espacios naturales protegidos de la provincia, aunque en algunos casos se quedan fuera por poco, como en la ZEC Acantilados y Fondos Marinos Tesorillo-Salobreña cuyo límite se encuentra a una decena escasa de metros de una pradera de *C. nodosa* con una superficie de 0,025 ha. Como ya se ha comentado, *Z. marina* desapareció de las provincias mediterráneas andaluzas hacia 2006-2007, por lo que actualmente no está presente en Granada. Durante el Life+ *Posidonia* Andalucía, proyecto centrado en los espacios de la Red Natura 2000, quedó de manifiesto que las praderas de angiospermas marinas de la provincia de Granada (más de 200 ha), quedaban fuera de espacios protegidos. Por ello, como resultado del Proyecto Life se propuso la declaración de un nuevo espacio protegido que incluyera las praderas de *P. oceanica* más extensas de la provincia de Granada, en concreto las situadas entre Cala Chinchas y Cambriles en Castell de Ferro (Aranda y Otero, 2014).

En Málaga hay presencia de praderas en 4 áreas marinas protegidas, con un total de 36 ha (Tabla 21). Cabe destacar el Paraje Natural Acantilados de Maro-Cerro Gordo (que también es ZEPIM y ZEC) con 24 ha de formaciones mono-específicas de *P. oceanica* (un 67,63% de la provincia). En este espacio protegido compartido entre Granada y Málaga, solo se conocen praderas en la parte malagueña, en los alrededores de la playa Molino de Papel. Precisamente, estas praderas sufrieron un importante impacto en 2007 debido a las fuertes riadas que arrastraron hasta el mar grandes aportes terrígenos a través del río de la Miel (Arroyo et al., 2007), por lo que parte de las praderas de este espacio protegidos

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN-CONSERVACIÓN

podrían considerarse en regresión. En la zona de Maro, en concreto en la Caleta, y también en Nerja, hay praderas de *P. oceanica* y también algunas manchas de *C. nodosa* que quedan fuera del Paraje, por lo que el Proyecto Life+ *Posidonia* propuso que se estudiara la ampliación de este espacio protegido hacia el oeste para dar protección a estas praderas (Aranda y Otero, 2014). Por último, se debe recordar que las importantes praderas de *ζ. marina* que eran una de las señas de identidad de este Paraje Natural a finales del siglo XX (Luque y Templado, 2004), han desaparecido de la zona (Arroyo et al., 2015). El segundo espacio de la provincia con mayor superficie de praderas es la ZEC de Calahonda, con más de 9 ha (un 26,22% de la provincia) y una gran diversidad de formaciones, muchas veces con un fondo parcheado de dos especies *P. oceanica* y *C. nodosa*. Entre estas manchas, destacan las mono-específicas de *P. oceanica*, con 6,55 ha, pero proporcionalmente con una gran cantidad de “mata muerta” de esta misma especie (2,41 ha). Por último, en la ZEC El Saladillo-Punta de Baños con 0,97 ha (2,69% de la provincia), y en la ZEC Fondos Marinos de la bahía de Estepona con 1,25 ha (1,25%), se encuentran las manchas mono-específicas de *P. oceanica* más occidentales situadas dentro de un espacio protegido. Más al oeste en punta Chullera se encuentra el límite de la especie en una zona sin protección en la frontera entre Málaga y Cádiz (Moreno et al., 2004; Arroyo et al., 2015).

Tabla 21: Superficie en hectáreas de praderas de angiospermas marinas en espacios naturales protegidos de la provincia de Málaga. Se indican las figuras de protección, el total de hectáreas (ha) por biocenosis y/o especie, así como el total y el porcentaje de cada espacio. ZEC: Zona de Especial Conservación. ZEPIM: Zona Especialmente Protegida de Importancia para el Mediterráneo.

Figuras de protección	ZEC	ZEC	ZEC	Paraje Natural, ZEPIM y ZEC	Total (ha)
Biocenosis / Especie	Fondos Marinos de la bahía de Estepona	El Saladillo-Punta de Baños	Calahonda	Acantilados de Maro-Cerro Gordo	
<i>Cymodocea nodosa</i>			0,36		0,36
<i>Cymodocea nodosa</i> y mata muerta de <i>P. oceanica</i>			0,08		0,08
Mata muerta de <i>Posidonia oceanica</i>			2,41		2,41
<i>Posidonia oceanica</i>	1,25	0,97	6,55	24,40	33,16
<i>Posidonia oceanica</i> y <i>Cymodocea nodosa</i>			0,06		0,06
Total	1,25	0,97	9,46	24,40	36,07
%	3,47	2,69	26,22	67,63	100,00

En Cádiz se conocen 854 ha de praderas dentro de espacios protegidos (Tabla 22). Las especies dominantes son *C. nodosa* con 432 y *ζ. noltei* con 422 ha. En el caso de *C. nodosa* el espacio protegido con más hectáreas es el Parque Natural Bahía de Cádiz con 247, seguido del Parque Natural del Estrecho con 89 y la ZEC Fondos Marinos de Bahía de Cádiz con 79. Por lo que respecta a *ζ. noltei*, la mayor parte de las praderas se hallan en el Parque Natural Bahía de Cádiz con 406 ha, seguido por la ZEC Fondos Marinos de Bahía de Cádiz con 15 ha. En esta provincia se encuentran las manchas relictas de 0,09 ha de *ζ. marina*, que constituyen la única presencia actual de la especie en Andalucía. Por espacios protegidos, el Parque Natural Bahía de Cádiz alberga el 76,55% de las praderas de la provincia (654 ha), seguido de lejos por la ZEC Fondos Marinos de Bahía de Cádiz con un 11,07% (94 ha) y por el Parque Natural del Estrecho con un 10,46% (89 ha). El LIC Punta de Trafalgar posee 14 ha de praderas (un 1,66%), mientras que el Parque Natural de la Breña y Marismas del Barbate alberga solo 1,57 ha (un 0,18% de la provincia). La

presencia actual de *Z. noltei* en el estuario del río Palmones (ZEC), el único de la fachada mediterránea con praderas de esta especie, se reduce actualmente a 0,66 ha (0,08% de las praderas gaditanas).

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN-CONSERVACIÓN

Tabla 22: Superficie en hectáreas de praderas de angiospermas marinas en espacios naturales protegidos de la provincia de Cádiz. Se indican las figuras de protección, el total de hectáreas (ha) por biocenosis y/o especie, así como el total y el porcentaje de cada espacio. LIC: Lugar de Importancia Comunitaria. ZEC: Zona de Especial Conservación.

Figuras de protección	ZEC	Parque Natural y ZEC	LIC	Parque Natural y ZEC	Parque Natural y ZEC	ZEC	Total (ha)
Especie	Fondos Marinos de Bahía de Cádiz	Bahía de Cádiz	Punta de Trafalgar	La Breña y Marismas del Barbate	Estrecho	Marismas del río Palmones	
<i>Cymodocea nodosa</i>	79,30	247,76	14,20	1,57	89,43		432,25
<i>Zostera marina</i>	0,09						0,09
<i>Zostera noltei</i>	15,23	406,44				0,66	422,32
Total	94,61	654,19	14,20	1,57	89,43	0,66	854,65
%	11,07	76,55	1,66	0,18	10,46	0,08	100,00

En Huelva, como ya se ha comentado, la única especie presente es *Z. noltei*, que vive en 7 áreas protegidas de la provincia (Tabla 23), con un total de 42 ha de superficie. Las praderas más extensas son las del Paraje Natural de Marismas del Odiel con más de 27 ha (casi el 65% de la provincia), seguidas por las de la ZEC Río Guadiana y Ribera de Chanza con 5,90 ha (cerca del 14% del total), por las de la ZEC Estuario del Río Tinto con 5,23 ha (más del 12%) y el LIC Marismas de Isla Cristina con 3,18 ha (7%). El resto de espacios protegidos de Huelva tienen menos de una hectárea de superficie de *Z. noltei* (Tabla 23): LIC Estuario del río Piedras (0,31 ha), ZEC Isla de San Bruno (0,22 ha) y LIC Marismas del río Piedras y flecha del Rompido (0,02 ha).

Tabla 23: Superficie en hectáreas de praderas de angiospermas marinas en espacios naturales protegidos de la provincia de Huelva. Se indican las figuras de protección, el total de hectáreas (ha) por biocenosis y/o especie, así como el total y el porcentaje de cada espacio. LIC: Lugar de Importancia Comunitaria. ZEC: Zona de Especial Conservación.

Figuras de protección	ZEC	ZEC	LIC	LIC	LIC	Paraje Natural y LIC	ZEC	Total (ha)
Especie	Río Guadiana y Ribera de Chanza	Isla de San Bruno	Marisma de Isla Cristina	Marismas del río Piedras y flecha del Rompido	Estuario del río Piedras	Marismas del Odiel	Estuario del río Tinto	
<i>Zostera noltei</i>	5,90	0,22	3,18	0,02	0,31	27,51	5,23	42,37
Total	5,90	0,22	3,18	0,02	0,31	27,51	5,23	42,37
%	13,93	0,51	7,51	0,05	0,73	64,94	12,33	100,00

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN-CONSERVACIÓN

Es interesante observar que del total de praderas de angiospermas marinas conocidas en Andalucía (11.751 ha), la mayor parte se encuentran ya protegidas, en concreto 11.212 ha, lo que representa un 95,41% del total, mientras que solo 539 ha (4,59%) están fuera de espacios naturales protegidos (Tabla 24).

Tabla 24: Superficie en hectáreas (ha) de praderas de angiospermas marinas, con valores totales agrupados por especie y su porcentaje para los distintos espacios naturales protegidos (EE.NN.PP.) andaluces. También se muestra el total de superficie (ha) de cada especie dentro y fuera de espacios protegidos, así como la superficie total (ha) y sus porcentajes.

Especie	Dentro de EE.NN.PP.		Fuera de EE.NN.PP.		Total Andalucía	
	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%
<i>Cymodocea nodosa</i>	4.078,02	36,37	101,12	18,75	4.179,14	35,56
<i>Posidonia oceanica</i>	6.668,90	59,48	429,00	79,57	7.097,90	60,40
<i>Zostera noltei</i>	465,03	4,15	9,04	1,68	474,07	4,03
<i>Zostera marina</i>	0,09	0,001	0,00	0,00	0,09	0,001
Total	11.212,04	100,00	539,16	100,00	11.751,20	100,00
Porcentaje dentro y fuera de EE.NN.PP.	95,41		4,59		100,00	

Tabla matriz - Reflexiones finales

La información relacionada con las praderas más dinámicas y con menor estabilidad a largo plazo como las que forman *C. nodosa* y las dos especies de *Zostera*, que actualmente en términos generales refleja la realidad de Andalucía, se irá renovando conforme se vayan actualizando las cartografías a nivel andaluz, en un esfuerzo que se mantiene vivo.

Respecto a *P. oceanica*, se han aplicado criterios conservadores. Se ha acotado la estima de las reservas de carbono a 1 metro de profundidad (salvo en sustratos rocosos, donde se acota a 0-50 cm de sedimento), cuando por lo general, en la mayoría de los testigos tomados en sedimentos blandos, existían sedimentos ricos en carbono orgánico mas profundos. En los testigos de sedimento mas largos (obtenidos con *vibrocorer*), se observó que los horizontes de suelo orgánico alcanzaban los 2-4 metros desde la superficie del sustrato. Por lo tanto, posiblemente acotar las reservas de carbono al primer metro de sedimento produce una infraestima global del almacén de carbono que atesoran las praderas marinas de Andalucía. Sin embargo, la falta de información sobre la distribución de la potencia de los arrecifes biogénicos bajo las praderas de *P. oceanica* de Andalucía, hace difícil decir esto con seguridad. En el futuro las técnicas de sísmica de reflexión de alta frecuencia permitirán cartografiar la potencia de la mata y de los arrecifes para obtener unos inventarios más completos y precisos del almacén de carbono bajo las praderas de *P. oceanica* (Lo Iacono et al., 2008), técnicas que ya se están aplicando a nivel regional en algunas regiones del Mediterráneo como Córcega, Francia (Monnier et al., 2019, 2020).

Mapas de flujo, de stock y de biomasa aérea de CO₂

Con los datos de *stock*, de flujos de CO₂ y de la biomasa aérea (dosel de hojas de la pradera), todos ellos integrados en la capa vectorial, se está en disposición de crear mapas temáticos. Ante la variabilidad de datos a representar, se decide agrupar los mismos en

“rangos de valores” y categorizarlos por colores de manera graduada. Los colores más fríos (azules) son los que representan valores más bajos y los colores cálidos (rojos), los que representan valores más altos. Detalles de estos mapas resultantes se pueden observar, tomando como ejemplo el Parque Natural Cabo de Gata-Níjar, en las Figuras 9, 10 y 11.

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN-CONSERVACIÓN

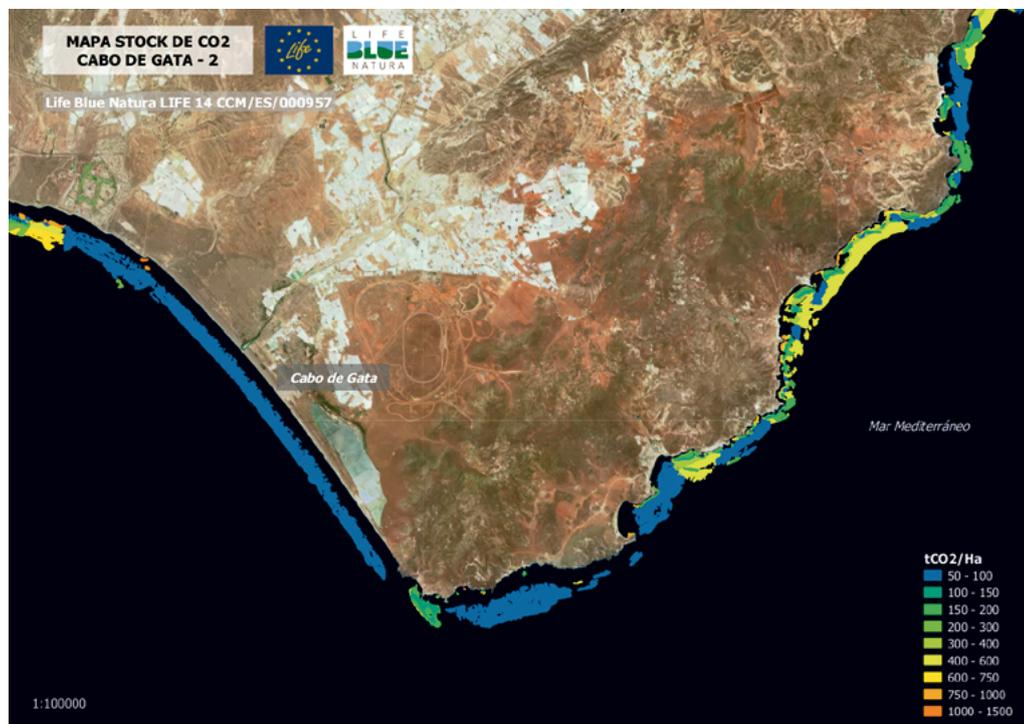


Figura 9: Detalle del mapa de *stock* de CO₂ (toneladas por hectárea) del Parque Natural Cabo de Gata-Níjar, Almería. En la imagen se integra toda la información disponible y actualizada de la distribución de las praderas, la batimetría y el tipo de sustrato con los resultados obtenidos del estudio realizado por el CSIC.

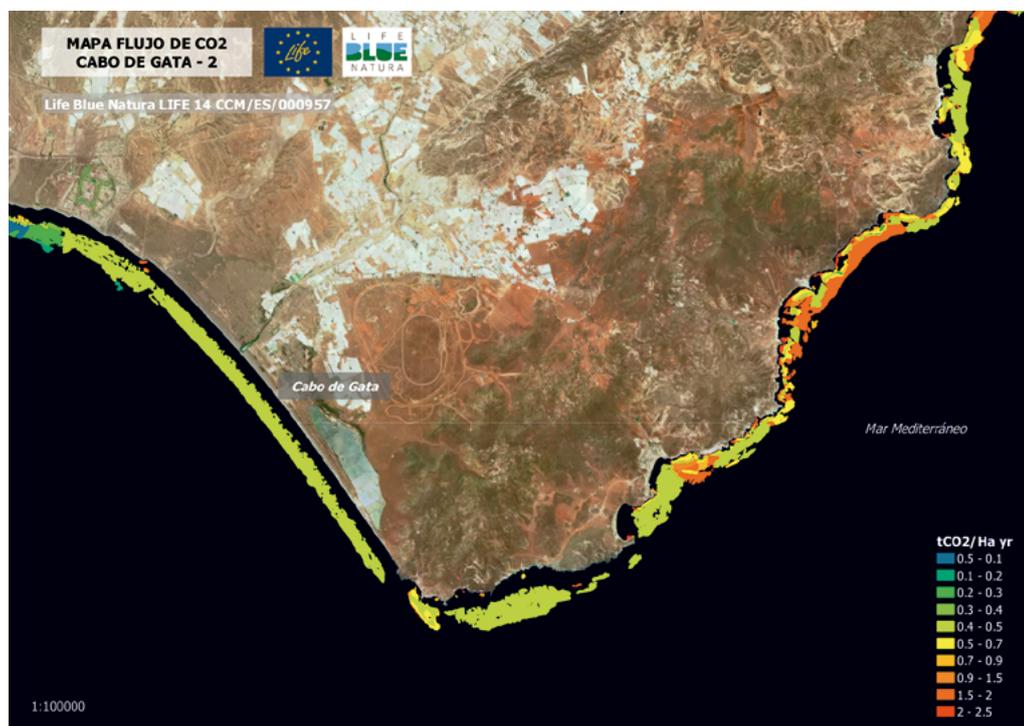


Figura 10: Detalle del mapa de flujo de CO₂ (toneladas por hectárea y año) del Parque Natural Cabo de Gata-Níjar, Almería. En la imagen se integra toda la información disponible y actualizada de la distribución de las praderas, la batimetría y el tipo de sustrato con los resultados obtenidos del estudio realizado por el CSIC.

para integrar todos los datos actualizados en un Sistema de Información Geográfico (SIG) específico y compatible, en el que se han fusionado capas de distintos orígenes. Además de las cartografías de praderas actualizadas del Life+ *Posidonia* Andalucía, la Ecocartografía del Ministerio y la del Life Blue Natura, se han utilizado distintas batimetrías (Ecocartografías, Batimetría del litoral andaluz, Unidades fisiográficas), así como diferentes capas de tipos de sustrato (Proyecto SPACE, Ecocartografías y Unidades litológicas terrestres y marinas). Además, se han utilizado rangos de profundidad (cada 5 m) para adaptar los resultados al distinto desarrollo de las praderas por la disminución de la luz.

De la gran cantidad de datos disponibles se puede destacar que *P. oceanica* no solo es la especie marina de mayor importancia en Andalucía por el complejo hábitat que crea, considerado como la comunidad clímax del infralitoral mediterráneo, sino que es la que cubre más extensión de fondo marino. Se conocen más de 7.000 ha de praderas de *P. oceanica* en Andalucía de las que 5.197 ha son de formaciones monoespecíficas y sanas, 629 ha de praderas en regresión y 131 de “mata muerta”. En el caso de las praderas sanas de *P. oceanica*, el 58,46% vive sobre sedimentos mientras que el 41,54% se asienta sobre roca. El resto de especies, que viven básicamente sobre fondos blandos, son *Cymodocea nodosa* con 4.179 ha, *Zostera marina* que sufrió una regresión muy importante en nuestras aguas entre 2005 y 2006 y de la que apenas quedan unas manchas en Cádiz (0,09 ha), y *Zostera noltei* que predomina en las marismas y estuarios atlánticos con 474 ha. Por otro lado, se puede concluir que de las 11.751 ha de praderas de angiospermas marinas que se conocen actualmente en Andalucía, 11.212 ha están dentro de espacios naturales protegidos, lo que corresponde al 95,41% del total.

El estudio del carbono presente en las praderas andaluzas acometido por el equipo GAME-CSIC durante el Life Blue Natura (Acción C1) ha significado un avance sin precedentes en Andalucía (Mateo et al., 2019). Se han obtenido por primera vez en Andalucía datos de *stock*, flujo de CO₂ de las praderas marinas, a partir de muestras tomadas en 32 estaciones y un total de 88 *cores* (14 de ellos con *vibrocores*) obtenidos en formaciones de distintas especies angiospermas marinas (*P. oceanica*, *C. nodosa* y *Z. noltei*), en todo tipo de praderas (someras, medias y profundas), en diferentes tipologías (praderas sanas y degradadas, praderas sobre sedimento o sobre roca, etc.), tanto mediante buceo como con el B/O García del Cid del CSIC. Toda la información disponible (en los *cores*, estaciones POSIMED, bases de datos, etc.) se ha trabajado en 8 tramos de litoral, definidos por el equipo GAME-CSIC, para ajustar los datos al gradiente este-oeste que existe a lo largo del litoral andaluz entre las aguas mediterráneas de Almería a las atlánticas de Cádiz y Huelva, pasando por las intermedias del mar de Alborán de Almería, Granada y Málaga. Toda esta información se ha podido incorporar a la cartografía integrada para obtener mapas de flujo, de *stock* de CO₂ y de biomasa del dosel foliar para todas praderas marinas de Andalucía, que han constituido uno de los principales resultados del Proyecto Life Blue Natura. Este esfuerzo coordinación de distintos equipos de trabajo, pionero en España a escala regional, es comparable con el que se está llevando a cabo en otras zonas del Mediterráneo, como el que se está realizando actualmente en Córcega (Francia).

Por último, toda la información recopilada es pública y se encuentra disponible para el usuario, para su consulta o descarga, en el Canal de la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM) y en la página web del Proyecto Life Blue Natura:

- <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam>
- <http://life-bluenatura.eu/>

5. AGRADECIMIENTOS

A Rosa Mendoza, directora de los proyectos Life+ Posidonia Andalucía y Life Blue Natura debemos agradecerle su confianza en todo momento. Sin su labor de coordinación desde la Consejería competente en el medio ambiente (el nombre ha cambiado varias veces en los últimos años) de la Junta de Andalucía, este trabajo no habría sido posible. También es obligado agradecer en esta misma Consejería, entre muchas otras personas, a Fernando Ortega y a Eugenio Montes. Agradecemos también la estrecha colaboración y, sobre todo, el trabajo pionero que han realizado los numerosos integrantes del equipo del Group of Aquatic Macrophyte Ecology (GAME) del Centro de Estudios Avanzados de Blanes del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CEAB-CSIC), liderado por Miguel Ángel Mateo. No podemos olvidar la siempre dispuesta colaboración del equipo de la Universidad de Cádiz (UCA) que trabaja con angiospermas marinas, y especialmente a Ignacio Hernández, Fernando G. Brun, Gloria Peralta y Edward Morris, por su ayuda en el conocimiento de la distribución de las distintas especies, principalmente en el Parque Natural de Bahía de Cádiz. También agradecemos a todas las personas que han colaborado de alguna forma en estos trabajos tan diversos, especialmente a los miembros de la tripulación de los barcos “Punta Polacra” e “Isla de Tarifa”, principalmente a Juan García Aguado, Pascual Hernández y Martín Carrillo, todos ellos integrantes del equipo del Programa de Gestión Sostenible del Medio Marino Andaluz, así como a la tripulación del barco AMA 8 Juan Navarro y Jesús Rodríguez. Por último, queremos agradecerles su dedicación y esfuerzo a los coordinadores del equipo de voluntariado POSIMED, David León y Patricio Peñalver de la asociación Hombre y Territorio, y a todos los voluntarios que han participado en las campañas de seguimiento de las praderas en estos diez últimos años.

6. BIBLIOGRAFÍA

- ABADIE A., GOBERT S., BONACORSI M., LEJEUNE P., PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., 2015. Marine space ecology and seagrasses. Does patch type matter in *Posidonia oceanica* seascapes? *Ecological indicators*, 57: 435-446.
- ÁLVAREZ E., CERDÁ M., FRAU A., GRAU A.M., PONS-FABREGAS C. y CARRERAS D. 2009. Seguimiento de la red de vigilancia de las praderas de *Posidonia oceanica* en Baleares (2002-2007). *En: Posidonia oceanica. Redes de seguimiento y estado de conservación en el Mediterráneo español*. Instituto de Ecología Litoral, Diputación de Alicante, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Alicante 70-90.
- ARANDA Y. y OTERO M. 2014. *Estudio de las figuras de protección de áreas marinas protegidas de Andalucía con fanerógamas marinas y propuestas de mejora para su gestión*. Malaga, España, UICN, 76 pp.
- ARROYO M.C., BARRAJÓN A., BRUN F.G., DEL CASTILLO F., DE LA ROSA J., DÍAZ ALMELA E., FERNÁNDEZ- CASADO M., HERNÁNDEZ I., MORENO D., PÉREZ-LLORÉNS J.L., OTERO M., REMÓN J.M., VERGARA J.J. y VIVAS M.S. 2015. Praderas de angiospermas marinas de Andalucía. *En Ruiz, J. M. Guillén J. E. Ramos Segura A. y Otero M. M. Eds. (Ed.). Atlas de las praderas marinas de España*. IEO/IEL/UICN, Murcia-Alicante-Málaga: 312-397.

- ASTRUCH P, BOUDOURESQUE CF, PERGENT G, ALCOVERRO T, BIANCHI CN, CALVO S, COURP T, LO-IACONO C, MONTEFALCONE, MORRI C, NOËL C, PÉREZ M, PERGENT-MARTINI C, ROMERO J, SULLI A, TOMASELLO A., 2017. Trajectories of change in *Posidonia oceanica* meadow and related carbon sink: the ECOSINK project. Interdisciplinary Symposium, Track – “Global Change”, 5-6-7 July 2017. Università di Corsica – Corte, 1-4.
- AUGIER, H. 1981. Étude et cartographie des peuplements benthiques de l'île de Porquerolles (Méditerranée, France). II. L'anse de Port-Fay et la calanque de la Grotte. *Trav. sci. Parc nation. Port-Cros, Fr*, 7: 103-117, 1 carte.
- AUGIER H. 1982. *Inventaire et classification des biocénoses marines benthiques de la Méditerranée*. Conseil de l'Europe, 59 pp.
- AUGIER H., 1985. L'herbier à *Posidonia oceanica*, son importance pour le littoral méditerranéen, sa valeur comme indicateur biologique de l'état de santé de la mer, son utilisation dans la surveillance du milieu, les bilans écologiques et les études d'impact. *Vie marine*, 7: 85-113.
- AUGIER H., BOUDOURESQUE C.F., 1967. Végétation marine de l'île de Port-Cros (Parc national). I. La baie de La Palud. *Bull. Mus. Hist. nat. Marseille*, 27: 93-124.
- BOUDOURESQUE C.F. y MEINESZ A. 1982. *Découverte de l'herbier de posidonie*. Parc National Port-Cros (Cahier n° 4), Parc Naturel Regional de la Corse, GIS Posidonie, 80 pp.
- BOUDOURESQUE C.F., PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., RUITTON S., THIBAUT T., VERLAQUE M., 2015. The necromass of the *Posidonia oceanica* seagrass meadow: Fate, role, ecosystem services and vulnerability. *Hydrobiologia*, DOI 10.1007/s10750-015-2333-y
- BRUN, F.G., VERGARA, J.J., PÉREZ-LLÓRENS, J.L., RAMÍREZ, C., MORRIS, E.P., PERALTA, G. & HERNÁNDEZ, I. 2015. Diversidad de angiospermas marinas en la bahía de Cádiz: redescubriendo a *Zostera marina*. *Chronica naturae*, 5: 45-56.
- CABELLO A., FRIEYRO J.E., GRANADO L., HAYAS A., MÉNDEZ E., MONTOYA G., PINO I. y DOMÍNGUEZ J.A. Cartografía de praderas de fanerógamas marinas en el Mediterráneo mediante sensores hiperespectrales. En Montesinos Aranda S. y Fernández Fornos L. (Ed.). *Teledetección Agua y desarrollo sostenible XVIII*. Congreso de la Asociación Española de Teledetección Calatayud, 23-26 de Septiembre de 2009: 173-176.
- CALVÍN J.C., FRANCO I., MARÍN A., MARTÍNEZ A.M., BELMONTE A. y RUIZ J.M. 1999. *El litoral sumergido de la región de Murcia. Cartografía bionómica y valores ambientales*. Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua, Región de Murcia, 127 pp.
- CINELLI F., FRESI E., LORENZI C., OREL G., CALVO S., COSSU A., MATRICARDI G., COLANTONI P., PEIRANO A., BIANCHI N., MAZZELLA L., NASCETTI D., GIANNETTI P., MAMMUCARI G. y MUCEDOLA A. 1995. Proposta di accordo sui parametri cartografici relativi alle aree del Mediterraneo caratterizzate da biocenosi bentoniche costiere. En Cinelli F., Fresi E., Lorenzi C. y Mucedola A. (Ed.). *La Posidonia oceanica. Un contributo per la salvaguardia del principale ecosistema marino del Mediterraneo. Rivista Marittima, Supplemento* Vol. 12 (dicembre): 250-252.

**PROYECTOS DE
INVESTIGACIÓN-
CONSERVACIÓN**

- CODINA SOLER A., MONTERO JIMÉNEZ M., JIMÉNEZ GUTIÉRREZ S.V., MARTÍNEZ VIDAL J., GUILLÉN NIETO J.E. y SOLER CAPDEPÓN G. 2009. Red de control de las praderas de *Posidonia oceanica* en la Comunidad Valenciana. En: *Posidonia oceanica. Redes de seguimiento y estado de conservación en el Mediterráneo español*. Instituto de Ecología Litoral, Diputación de Alicante, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Alicante 50-69.
- COLANTONI P. 1995. Cartografia delle praterie di *Posidonia*. En Cinelli F., Fresi E., Lorenzi C. y Mucedola A. (Ed.). *La Posidonia oceanica. Un contributo per la salvaguardia del principale ecosistema marino del Mediterraneo. Rivista Marittima*, Supplemento Vol. 12 (dicembre): 106-115.
- COZZA R, RENDE F, FERRARI M, BRUNO L, PACENZA M, DATTOLA L, BITONTI MB. 2019. Biomonitoring of *Posidonia oceanica* beds by a multiscale approach. *Aquatic Botany* 156: 14–24. doi.org/10.1016/j.aquabot.2019.04.002.
- DÍAZ-ALMELA E. y CARRETO M.T. 2021. Estrategia de escalado de las estimas locales de stocks y flujos de carbono obtenidas en las praderas marinas de Andalucía: construcción de una matriz de valores para los distintos polígonos de praderas marinas. 8 pp. + Anexo. REDIAM: Información adicional de Sumideros de Carbono en Praderas de *Posidonia oceanica*. Proyecto LIFE Blue Natura. <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam>.
- DUARTE, C., 1991. Seagrass depth limits. *Aquatic Botany*, 40(4): 363-377.
- DUARTE, C. M. y CEBRIÁN, J. 1996. The fate of marine autotrophic production, *Limnol. Oceanogr.*, 41, 1758–1766.
- DUARTE, C. M., y KRAUSE-JENSEN, D. 2017. Export from seagrass meadows contributes to marine carbon sequestration. *Frontiers in Marine Science*, 4, 13.
- DUARTE, C.M., MIDDELBURG, J.J., CARACO, N., 2005. Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle. *Biogeosciences*, 2: 1–8. doi.org/10.5194/bgd-1-659-2004
- DUMAN M., HÜSNÜ ERONAT A., İLHAN T., TALAS E. y KÜÇÜKSEZGIN F. 2019. Mapping *Posidonia oceanica* (Linnaeus) meadows in the eastern Aegean Sea coastal areas of Turkey: evaluation of habitat maps produced using the acoustic ground-discrimination systems. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 6(1): 67-75, DOI: 10.30897/ijgeo.544695
- FRANCOUR, P., GANTEAUME, A., POULAIN, M., 1999. Effects of boat anchoring in *Posidonia oceanica* seagrass beds in the Port-Cros national park (north-western Mediterranean Sea). *Aquat. Conserv.* 9 (391-), 400.
- GAMULIN-BRIDA H. 1967. The benthic fauna of the Adriatic Sea. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 5: 535-568.
- GARCÍA-GÓMEZ J.C., CORZO J., GUERRA GARCÍA J.M., LÓPEZ-FÉ C.M., SÁNCHEZ MOYANO J.E., GARCÍA ASENCIO I., CORZO M. y REY J. 2004. Cartografiado de las formaciones vegetales marinas. Macrofitobentos y comunidades bentónicas asociadas a la costa norte del estrecho de Gibraltar. Ecocartografía marina en SIG. En: Luque A.A. y Templado J. (Coords.). *Praderas y bosques marinos de Andalucía*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla: 269-272.

- GARCÍA RASO J.E., GOFAS S., SALAS C., MANJÓN-CABEZA E., URRÁ J. y GARCÍA MUÑOZ J.E. 2010. *El mar más rico de Europa Biodiversidad del litoral occidental de Málaga entre Calaburras y Calahonda*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla, 138 pp.
- GARCÍA RASO J.E., LUQUE A.A., TEMPLADO J., SALAS C., HERGUETA E., MORENO D. y CALVO M. 1992. *Fauna y flora marinas del Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar*. Madrid, 288 pp.
- GOFFREDO, S. y DUBINSKY, Z. (EDS.). 2014. *The Mediterranean Sea. Its history and present challenges*. Springer, 679 pp.
- GUMUSAY M.U., BAKIRMAN T., KIZILKAYA I.T. y AYKUT N.O. 2019. A review of seagrass detection, mapping and monitoring applications using acoustic systems. *European Journal of Remote Sensing*, 52 (1): 1-29, DOI: 10.1080/22797254.2018.1544838
- JUNTA DE ANDALUCÍA. 2010. Apoyo Técnico a la Gestión Sostenible del Medio Marino. *Informe Regional 2010*. Consejería de Medio Ambiente, Sevilla, 77 pp.
- JUNTA DE ANDALUCÍA. 2013. *Programa de Gestión Sostenible del Medio Marino Andaluz. Informe Regional 2013*. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Sevilla, 143 pp.
- JUNTA DE ANDALUCÍA. 2014. *Programa de Gestión Sostenible del Medio Marino Andaluz. Informe final de resultados 2014*. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Sevilla, 126 pp.
- JUNTA DE ANDALUCÍA. 2017. *Programa de Gestión Sostenible del Medio Marino. Informe final de resultados 2017*. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Sevilla, 168 pp.
- JUNTA DE ANDALUCÍA. 2018. *Programa de Gestión Sostenible del Medio Marino. Informe Regional 2018*. Consejería de Agricultura, ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, Sevilla, 162 pp.
- JUNTA DE ANDALUCÍA. 2019. *Programa de Gestión Sostenible del Medio Marino. Informe Regional 2019*. Consejería de Agricultura, ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, Sevilla, 152 pp.
- LO IACONO C., MATEO M.A., GRÀCIA E., GUASCH C., CARBONELL R., SERRANO L., SERRANO O., DAN J. 2008. Very high-resolution seismo-acoustic imaging of seagrass meadows (Mediterranean Sea): Implications for carbon sink estimates. *Geophys. Res. Lett.*, 35: L18601, doi:10.1029/2008GL034773
- LUQUE A.A. y TEMPLADO J. (COORDS.) 2004. *Praderas y bosques marinos de Andalucía*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla, 336 pp.
- MARBÁ, N., ARIAS-ORTIZ, A., MASQUE, P., KENDRICK, G. A., MAZARRASA, I., BASTYAN, G. R., et al. (2015). Impact of seagrass loss and subsequent revegetation on carbon sequestration and stocks. *Journal of Ecology*, 103: 296–302. doi: 10.1111/1365-2745.12370
- MARBÁ N. y TERRADOS J. 2004. Las praderas de *Cymodocea nodosa*. Distribución y requerimientos ecológicos. En Luque A.A. y Templado J. (Coords.). *Praderas y bosques marinos de Andalucía*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla 133-134.

**PROYECTOS DE
INVESTIGACIÓN-
CONSERVACIÓN**

- MATEO M.A., DÍAZ-ALMELA E., PIÑEIRO-JUNCAL N., LEIVA DUEÑAS C., GIRALT ROMEU S. y MARCO MÉNDEZ C. 2019. *Carbon stocks and fluxes associated to Andalusian seagrass: variability and effects of meadow degradation and recolonization. Projections of their future evolution with the information available from A1*. Deliverable C1.2: Results Report. Life Blue Natura (LIFE14CCM/ES/000957). Group of Aquatic Macrophyte Ecology (GAME), CEAB-CSIC, Blanes, 151 pp.
- MATEO, M.A., ROMERO, J., PÉREZ, M., LITTLER, M.M., LITTLER, D. 1997. Dynamics of Millenary Organic Deposits Resulting from the Growth of the Mediterranean Seagrass *Posidonia oceanica*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 44: 103-110.
- MAYOT N, BOUDOURESQUE C-F, CHARBONNEL E. 2006. Changes over time of shoot density of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* at its depth limit. *Biol. Mar. Medit.*, 13(4): 250-254.
- MEINESZ A., BOUDOURESQUE C.F., FALCONETTI C., ASTIER J.M., BAY D., BLANC J.J., BOURCIER M., CINELLI F., CIRIK S., CRISTIANI G., DI GERONIMO I., GIACCONE G., HARMELIN J.G., LAUBIER L., LOVRIC A.Z., MOLINIER R., SOYER J. y VAMVAKAS C. 1983. Normalisation des symboles pour la représentation et la cartographie des biocénoses benthiques littorales de Méditerranée. *Annales de l'Institut Oceanographique, Paris*, 59 (2): 155-172.
- MEINESZ A., CUVELIER M. y LAURENT R. 1981. Méthodes récentes de cartographie et de surveillance des herbiers de phanérogames marines. Leur application sur les cotes françaises de la Méditerranée. *Vie et Milieu*, 31 (1) 27-34.
- MÉNDEZ E., CABELLO A., FRIEYRO J.E., HAYAS A., GRANADO L., MONTOYA G., PINO I. y DOMÍNGUEZ J.A. 2011. Desarrollo de una metodología para la caracterización de praderas de fanerógamas marinas en el litoral andaluz mediante técnicas de teledetección con sensores hiperespectrales. *Revista de Teledetección*, 36, 73-83.
- MENDOZA R., BARRAJÓN A., DE LA ROSA J., DEL CASTILLO F., DÍAZ ALMELA E., LEÓN D., MORENO D., PEÑALVER P., REMÓN J.M. y VIVAS M.S. 2014. Nuestras praderas bajo el agua: dónde y cuántas. En: *Quercus*. (especial del cuaderno 345 de noviembre de 2014 sobre el Proyecto Life+ *Posidonia*. Cómo conservar las mejores praderas marinas andaluzas): 14-22.
- MONNIER, B., CLABAUT, P., MATEO, M.A., PERGENT-MARTINI, C., PERGENT, G., 2019. Intercalibration of seismic reflection data and characterization of *Posidonia oceanica* meadow mats. In: Langar H. y Ouerghi A. (Eds.). Proceedings of the 6th Mediterranean Symposium on Marine Vegetation (Antalya, Turkey, 14-15 January 2019. SPA/RAC publ., Tunis, 148 pp.
- Monnier B., Pergent G., Mateao M.A., Claubaut P., Pergent-Martini C. 2020. Seismic interval velocity in the mat of *Posidonia oceanica* meadows: Towards a non-destructive approach for large-scale assessment of blue carbon stock. *Marine Environmental Research*, 161: 105085. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105085>.
- MONTEFALCONE, M., 2009. Ecosystem health assessment using the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*: A review. *Ecological Indicators*, 9: 595-604.

- MONTEFALCONE M., ALBERTELLI G., BIANCHI C.N., MARIANI M. y MORRI C. 2006. A new synthetic index and a protocol for monitoring the status of *Posidonia oceanica* meadows a case study at Sanremo (Ligurian Sea, NW Mediterranean). *Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems*, 16: 29-42.
- MORENO D. 2009. Gestión sostenible del medio marino en Andalucía las fanerógamas marinas. *En: Posidonia oceanica. Redes de seguimiento y estado de conservación en el Mediterráneo español*. Instituto de Ecología Litoral, Diputación de Alicante, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Alicante 114-128.
- MORENO D. 2010. Flora y fauna alóctona del medio marino andaluz. *En: Cobos F.J. y Ortega F. (Ed.). Especies exóticas invasoras en Andalucía. Talleres provinciales 2004-2006*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla 214-229.
- MORENO D., AGUILERA P.A., CASTRO H., MARTÍNEZ VIDAL J.L., MARTÍNEZ SOLA F. y SANZ F. 1999. Valoración del impacto de los vertidos hídricos industriales en el litoral aproximación metodológica al estudio de la pradera de *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *En Navarro Flores A., Sánchez Garrido J.A. y Collado Fernández D.M. (Eds.). Minería, industria y medio ambiente en la cuenca mediterránea*. Universidad de Almería, 227-236.
- MORENO D., AGUILERA P.A. y CASTRO H. 2001. Assessment of the conservation status of seagrass (*Posidonia oceanica*) meadows implications for monitoring strategy and the decision-making process. *Biological Conservation*, 102: 325-332.
- MORENO D. y GUIRADO J. 2003. Nuevos datos sobre la distribución de las fanerógamas marinas en las provincias de Almería y Granada (SE España). *Acta Botanica Malacitana*, 28: 105-120.
- MORENO D., LUQUE A.A. y TEMPLADO J. 2004. Las praderas de *Posidonia oceanica*. Distribución en Andalucía. *En Luque A.A. y Templado J. (Coords.). Praderas y bosques marinos de Andalucía*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla: 60-63.
- PASQUALINI, V., CLABAUT, P., PERGENT, G., BENYOUSSEF, L., PERGENT-MARTINI, C. 2000. Contribution of side scan sonar to the management of Mediterranean littoral ecosystems. *International Journal of Remote Sensing*, 21(2):367-378.
- PASQUALINI, V., PERGENT-MARTINI, C., CLABAUT P., y PERGENT, G., 1998, Mapping of *Posidonia oceanica* using aerial photographs and side scan sonar: application off the Island of Corsica (France). *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences*, 47, 359-367.
- PÉRÈS J.M. 1967. The mediterranean benthos. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 5 449-533.
- PÉREZ LLORÉNS J.L. 2004. Las praderas de *Zostera noltii*. Distribución y requerimientos ecológicos. *En Luque A.A. y Templado J. (Coords.). Praderas y bosques marinos de Andalucía*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla 173.
- PÉREZ LLORÉNS J.L. y MORENO D. 2004. Las praderas de *Zostera noltii*. Distribución en Andalucía. *En Luque A.A. y Templado J. (Coords.) (Ed.). Praderas y bosques marinos de Andalucía*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla 173-174.

**PROYECTOS DE
INVESTIGACIÓN-
CONSERVACIÓN**

- PERGENT G., BARRALON E., MONNIER B., PERGENT-MARTINI C., VALETTE-SANSEVIN A. 2019. Strategy to study blue carbon ecosystems in Corsica. En: Langar H., Ouerghi A., eds.: 15-20 pp. *Proceedings of the 6th Mediterranean Symposium on Marine Vegetation* (Antalya, Turkey, 14-15 January 2019). UNEP/MAP – SPA/RAC publication, Tunis, 148 pp.
- PERGENT, G., BAZAIRI, H., BIANCHI, C.N., BOUDOURESQUE, C.F., BUIA, M.C., CALVO, S., CLABAUT, P., HARMELIN-VIVIEN, M., ANGEL MATEO, M., MONTEFALCONE, M., MORRI, C., ORFANIDIS, S., PERGENT-MARTINI, C., SEMROUD, R., SERRANO, O., THIBAUT, T., TOMASELLO, A., VERLAQUE, M., 2014. Climate change and Mediterranean seagrass meadows: A synopsis for environmental managers. *Mediterranean Marine Science*, 15, 462–473.
- PERGENT-MARTINI, C., LEONI, V., PASQUALINI, V., ARDIZZONE, G.D., BALESTRI, E., BEDINI, R., BELLUSCIO, A., BELSHER, T., BORG, J., BOUDOURESQUE, C.F., BOUMAZA, S., BOUQUEGNEAU, J.M., BUIA, M.C., CALVO, S., CEBRIÁN, J., CHARBONNEL, E., CINELLI, F., COSSU, A., DI MAIDA, G., DURAL, B., FRANCOUR, P., GOBERT, S., LEPOINT, G., MEINESZ, A., MOLENAAR, H., MANSOUR, H.M., PANAYOTIDIS, P., PEIRANO, A., PERGENT, G., PIAZZI, L., PIRROTTA, M., RELINI, G., ROMERO, J., SÁNCHEZ-LIZASO, J.L., SEMROUD, R., SHEMBRI, P., SHILI, A., TOMASELLO, A., VELIMIROV, B., 2005. Descriptors of *Posidonia oceanica* meadows: use and application. *Ecological Indicators*, 5(3), 213–230.
- PERGENT, G., MONNIER, B., CLABAUT, P., GASCON, G., PERGENT-MARTINI, C. y VALETTE-SANSEVIN A. 2017. Innovative method for optimizing SideScan Sonar mapping: The blind band unveiled. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 194, 77-83.
- PERGENT G., PERGENT-MARTINI C. y BOUDOURESQUE C.F. 1995. Utilisation de l'herbier a *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualite du milieu littoral en mediterranee: etat des connaissances. *Mésogée*, 54 3-27.
- PIÑEIRO-JUNCAL N., DÍAZ-ALMELA E., LEIVA-DUEÑAS C., MARCO-MÉNDEZ C. y MATEO M.Á. 2021. Las praderas marinas andaluzas como sumidero y almacén de carbono orgánico. *Chronica naturae*, 8: 21-34.
- RAMOS A.A. 1985. Contribución al conocimiento de las biocenosis bentónicas litorales de la isla Plana o Nueva Tabarca (Alicante). En Ramos A.A. Editor (Ed.). *La reserva marina de la isla Plana o Nueva Tabarca (Alicante)*. Universidad de Alicante: 111-147.
- RENDE, F.S., IRVING, A.D., BACCI, T., PARLAGRECO, L., BRUNO, F., DEFILIPPO, F., MONTEFALCONE, M., PENNA, M., TRABUCCO, B., DI MENTO, R., CICERO, A.M., 2015. Advances in microcartography: two-dimensional video mosaicing technique for seagrass monitoring. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 167, 475–486.
- REY SALGADO J., BAÑARES-ESPAÑA E., DÍAZ DE RADA RAMOS C., CASADO M.D., REY DÍAZ DE RADA J., FLORES-MOYA A. y BÁEZ J.C. 2001. *Distribución de las fanerógamas marinas en el Paraje Natural Acentilados de Maro-Cerro Gordo (Málaga-Granada)*. Informe Interno. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, 113 pp, 2 Pl.
- RUIZ J.M., BARBERÁ C., MARÍN L., GARCÍA R., BERNARDEAU J. y SANDOVAL J.M. 2010. *Las praderas de Posidonia en Murcia. Red de seguimiento y voluntariado ambiental*. Instituto Español de Oceanografía, Centro Oceanográfico de Murcia, 57 pp.

- RUIZ J.M., GARCÍA MUÑOZ R., GARCÍA MARTÍNEZ M., MARÍN GUIRAO L., SANDOVAL GIL J.M., SERÓN AGUIRRE J., RAMOS SEGURA A. y GAVILÁN ALONSO J. 2009. Red de seguimiento de *Posidonia oceanica* en la región de Murcia. *En: Posidonia oceanica. Redes de seguimiento y estado de conservación en el Mediterráneo español*. Instituto de Ecología Litoral, Diputación de Alicante, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Alicante 92-112.
- RUIZ J.M., GUILLÉN J.E., RAMOS SEGURA A. y OTERO M.M. 2015. *Atlas de las praderas marinas de España*. IEO/IEL/UICN, Murcia-Alicante-Málaga, 681 pp.
- SÁNCHEZ-CARNERO N., RODRÍGUEZ-PÉREZ D., COUÑAGO E., ACEÑA S. y FREIRE J. 2012. Using vertical Sidescan Sonar as a tool for seagrass cartography. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 115 334-344.
- SÁNCHEZ LIZASO J.L. 1993. *Estudio de la pradera de Posidonia oceanica (L.) Delile de la Reserva Marina de Tabarca (Alicante) Fenología y producción primaria*. Tesis Doctoral, Universidad de Alicante, 121 pp.
- SÁNCHEZ LIZASO J.L. 2004a. Las praderas de *Posidonia oceanica*. Distribución y requerimientos ecológicos. *En* Luque A.A. y Templado J. (Coords.). *Praderas y bosques marinos de Andalucía*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla, 60.
- SÁNCHEZ LIZASO J.L. 2004b. Las praderas de *Posidonia oceanica*. Características morfológicas rizomas y raíces, hojas flores y frutos. *En* Luque A.A. y Templado J. (Coords.). *Praderas y bosques marinos de Andalucía*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla 63-66.
- SÁNCHEZ LIZASO J.L. 2004c. Las praderas de *Posidonia oceanica*. Estructura de las praderas. *En* Luque A.A. y Templado J. (Coords.). *Praderas y bosques marinos de Andalucía*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla, 71-74.
- SÁNCHEZ LIZASO J.L. 2009. La importancia de las redes de seguimiento de las praderas de *Posidonia oceanica*. *En: Posidonia oceanica. Redes de seguimiento y estado de conservación en el Mediterráneo español*. Instituto de Ecología Litoral, Diputación de Alicante, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Alicante 20-24.
- SÁNCHEZ ROSAS J. y OLIVELLA I PRATS I. 2009. La red de vigilancia de la calidad biológica de las fanerógamas marinas en el litoral catalán. *En: Posidonia oceanica. Redes de seguimiento y estado de conservación en el Mediterráneo español*. Instituto de Ecología Litoral, Diputación de Alicante, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Alicante 26-48.
- SANZ, J.L., HERMIDA, N., TELLO, O., LOBATO, A., FERNÁNDEZ-SALAS, L.M., GONZÁLEZ, J.L., BÉCARES, M.A., GÓMEZ DE PAZ, R., GODOY, D., ALCALÁ, C., CONTRERAS, D., UBIEDO, J.M., RAMOS, M., TORRES, A., CARREÑO, F., PÉREZ, J.I., ALFAGEME, V.M., REDONDO, B.C., VELASCO, D., PASCUAL, L., PASTOR, E. y GONZÁLEZ, F. 2003. Hoja MC049 SAN JOSÉ: Desde Las Negras a Cabo de Gata (Almería). Serie C: Modelos y Geomorfología. Serie cartográfica Estudio de la Plataforma continental Española. IEO-SGPM. Madrid. ISBN: 84-95877-15-5. Obra completa ISBN: 84-95877-04-X.
- SAVINI A. 2011. Side-Scan Sonar as a Tool for Seafloor Imagery: Examples from the Mediterranean Continental Margin. *En: Kolev N. (Ed.). Sonar Systems*. InTech Publisher: 299-322 pp.

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN-CONSERVACIÓN

- TELESCA, L., BELLUSCIO A., CRISCOLI A., GIANDOMENICO ARDIZZONE G., APOSTOLAKI E.T., FRASCHETTI S., GRISTINA M., KNITTWEIS L., MARTIN C.S., PERGENT G., ALAGNA A., BADALAMENTI F. GAROFALO G., GERAKARIS V., PACE M.L., PERGENT-MARTINI C., SALOMIDI M. 2015. Seagrass meadows (*Posidonia oceanica*) distribution and trajectories of change. *Sci. Rep.* 5, 12505; doi: 10.1038/srep12505 (2015).
- TEMPLADO J., BALLESTEROS E., GALPARSORO I., BORJA A., SERRANO A., MARÍN L., BRITO A. 2012. *Guía Interpretativa: Inventario Español de Hábitats Marinos*. Inventario español de Hábitats y Especies Marinos. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid, 229 pp.
- TOMASELLO A., LUZZU F., DI MAIDA G., ORESTANO C., PIRROTTA M., SCANNAVINO A., y CALVO S. 2009. Detection and mapping of *Posidonia oceanica* dead mat by high-resolution acoustic imaging. *Italian Journal of Remote Sensing.*, 41(2): 139-146.
- TOPOUZELIS, K., MAKRI, D., STOUPAS, N., PAKONSTANTINOY, A., KATSANEVAKIS, S. 2018. Seagrass mapping in Greek territorial waters using Landsat-8 satellite images. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 67, 98-113.
- VACCHI M., DE FALCO G., SIMEONE S., MONTEFALCONE M., MORRI C., FERRARI M. y BIANCHI C.N. 2017. Biogeomorphology of the Mediterranean *Posidonia oceanica* seagrass meadows. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42: 42-54.
- VALETTE, A., 2018. *Changement climatique: Caractérisation des puits de carbone liés aux herbiers de magnoliophytes marines de la Corse*. Doctorat Thèse, Université de Corse: 205 pp.
- VALETTE-SANSEVIN, A., PERGENT, G., BURON, K., PERGENT-MARTINI, C., y DAMIER, E. 2019. Continuous mapping of benthic habitats along the coast of Corsica: A tool for the inventory and monitoring of blue carbon ecosystems. *Mediterranean Marine Science*, 20(3), 585-593. doi:http://dx.doi.org/10.12681/mms.19772

Fuentes de información cartográficas empleadas

- **Cartografía Regional del Programa de Gestión Sostenible del Medio Marino (Agencia de Medio Ambiente y Agua - AMAYA, 2006-2017) actualizada en la “Integrada de fanerógamas” o “fanerógamas compendio”, del Life Blue Natura (AMAYA, 2016-2019).** Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM). Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. Junta de Andalucía.
- **Cartografía de fondos de fanerógamas marinas (Granada y Almería). Proyecto Life Posidonia LIFE+ 09 NAT/ES/000534. Año 2013.** Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM). Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. Junta de Andalucía.
- **Ecocartografías del litoral de Granada y Almería, de Málaga y de Cádiz. Batimetría (1:5.000), morfología de fondos y comunidades marinas.** Ministerio competente en materia de Medio Ambiente (2004-2012). Disponible también en la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM). Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. Junta de Andalucía.

- **Estudio de la Plataforma Continental Española (Proyecto ESPACE). Andalucía Oriental: desde Garrucha (Almería) hasta Málaga. Calidad (sustrato) y bionimias.** Instituto Español de Oceanografía (2003). Disponible también en la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM). Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. Junta de Andalucía.
- **Batimetría de litoral andaluz 1:50.000.** Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM). Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. Junta de Andalucía.
- **Caracterización de la línea de costa andaluza, 2013** Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM). Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. Junta de Andalucía.
- **Mapa litológico de Andalucía: Unidades litológicas.** Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM). Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. Junta de Andalucía.

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN- CONSERVACIÓN