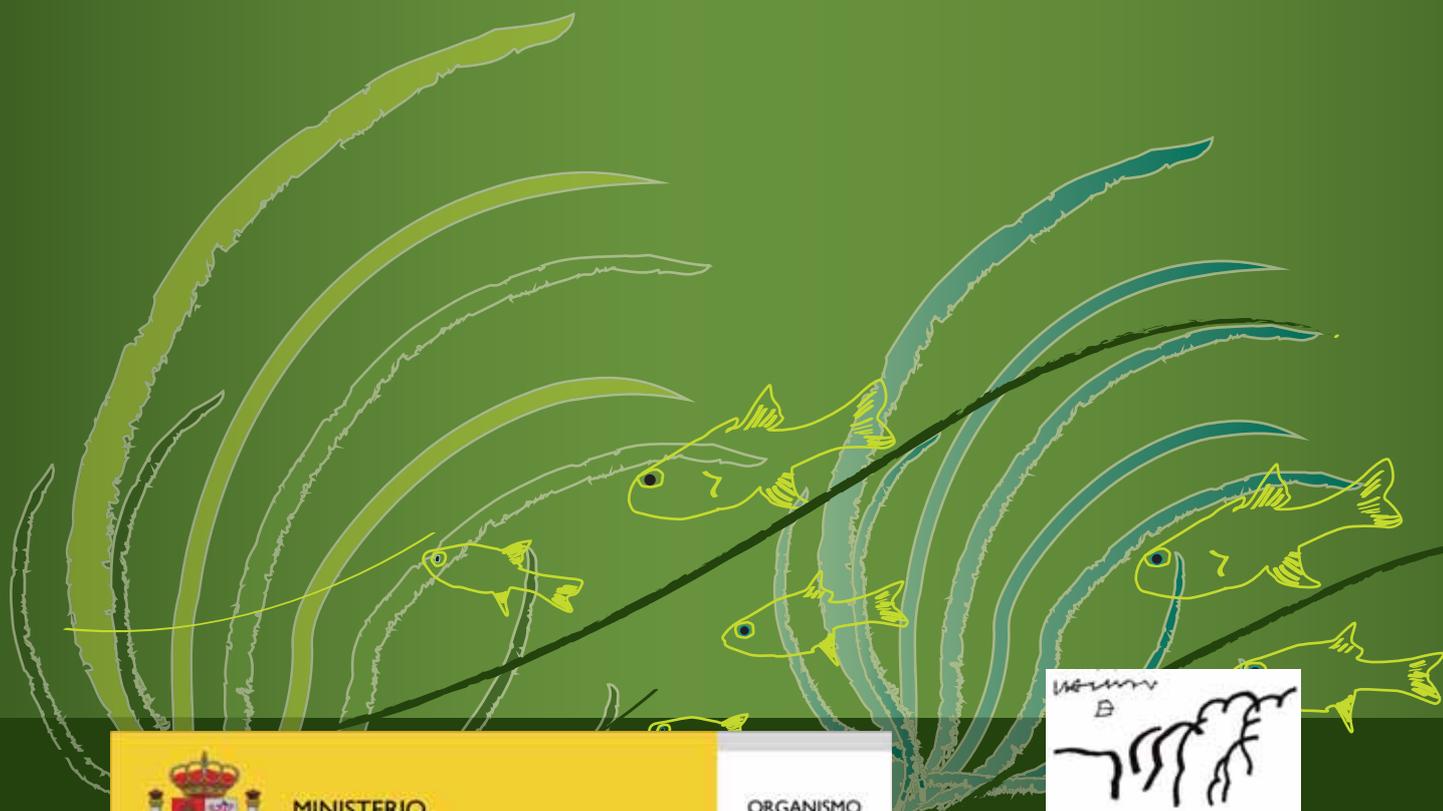




# MEMORIA RESUMEN DE LOS PROYECTOS PILOTO REALIZADOS EN EL PARQUE NACIONAL DEL ARCHIPIÉLAGO DE CABRERA

Plan de Seguimiento y Evaluación de la Red de Parques Nacionales



MINISTERIO  
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN  
Y MEDIO AMBIENTE

ORGANISMO  
AUTÓNOMO  
PARQUES  
NACIONALES



RED DE  
PARQUES NACIONALES



**MEMORIA RESUMEN DE LOS PROYECTOS PILOTO  
REALIZADOS EN EL PARQUE NACIONAL DEL  
ARCHIPIÉLAGO DE CABRERA**

---

**Plan de Seguimiento y Evaluación de la Red de Parques Nacionales**



## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
<b>2. PROYECTO PILOTO DE SEGUIMIENTO ECOLÓGICO DEL MEDIO MARINO EN EL PARQUE NACIONAL DEL ARCHIPIÉLAGO DE CABRERA: SEGUIMIENTO ECOLÓGICO EXTENSIVO.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 METODOLOGÍA.....</b>	<b>6</b>
2.1.1 Elaboración de batimetría y cartografiado de los fondos .....	6
2.1.2 Caracterización faunística y botánica.....	9
<b>2.2 RESULTADOS.....</b>	<b>13</b>
2.2.1 Elaboración de batimetría .....	13
2.2.2 Elaboración de la cartografía bionómica .....	15
<b>2.3 CONCLUSIONES.....</b>	<b>21</b>
<b>3. PROYECTO PILOTO DE SEGUIMIENTO ECOLÓGICO DEL MEDIO MARINO EN EL PARQUE NACIONAL DEL ARCHIPIÉLAGO DE CABRERA: SEGUIMIENTO ECOLÓGICO INTENSIVO .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS PRADERAS DE <i>POSIDONIA OCEANICA</i> .....</b>	<b>23</b>
3.1.1 Metodología .....	23
3.1.2 Resultados y conclusiones .....	27
<b>3.2 CARACTERIZACIÓN DE LA POBLACIÓN DE <i>PINNA NOBILIS</i>.....</b>	<b>32</b>
3.2.1 Metodología .....	32
3.2.2 Resultados y conclusiones .....	33
<b>3.3 CARACTERIZACIÓN DE LA COMUNIDAD DE PRECORALÍGENO Y CORALÍGENO .....</b>	<b>35</b>
3.3.1 Metodología .....	35
3.3.2 Resultados y conclusiones .....	36
<b>3.4 CARACTERIZACIÓN DE LAS COMUNIDADES ÍCTICAS: CENSOS VISUALES.....</b>	<b>37</b>
3.4.1 Metodología .....	37
3.4.2 Resultados y conclusiones .....	39



---

<b>3.5 CARACTERIZACIÓN DEL HÁBITAT: RUGOSIDAD Y PENDIENTE DE FONDO.....</b>	<b>41</b>
3.5.1 Metodología .....	41
3.5.2 Resultados y conclusiones .....	42
<b>3.6 CARACTERIZACIÓN DE LAS COMUNIDADES BENTÓNICAS DE CAVIDADES O CUEVAS SEMIOSCURAS: FOTOANÁLISIS ....</b>	<b>44</b>
3.6.1 Metodología .....	44
3.6.2 Resultados y conclusiones .....	46
<b>3.7 SEGUIMIENTO DE ESPECIES INVASORAS .....</b>	<b>47</b>
3.7.1 Metodología .....	47
3.7.2 Resultados y conclusiones .....	48
<b>3.8 CARACTERIZACIÓN DE FONDOS .....</b>	<b>49</b>
3.8.1 Metodología .....	49
3.8.2 Resultados y conclusiones .....	52
<b>3.9 CARACTERIZACIÓN DE LAS MASAS DE AGUA.....</b>	<b>57</b>
3.9.1 Metodología .....	57
3.9.2 Resultados y conclusiones .....	61
<b>4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>65</b>
<b>5. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>67</b>



## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La finalidad de la Red de Parques Nacionales según la Ley 5/2007 *“es la de garantizar como legado para generaciones futuras, la conservación de una muestra representativa de los principales sistemas naturales españoles señalados en el Anexo de la Ley”*. La Administración General del Estado tiene, entre otras, la función de realizar el seguimiento y la evaluación general de la Red, para lo que el Organismo Autónomo Parques Nacionales ha elaborado el Plan de Seguimiento y Evaluación de la Red de Parques Nacionales, estructurado en tres programas específicos de seguimiento:

- Programa de Seguimiento Funcional
- Programa de Seguimiento Sociológico
- Programa de Seguimiento Ecológico

Dentro del Programa de Seguimiento Ecológico, se realizan iniciativas relacionadas con distintos ámbitos, y uno de ellos es medio marino. Los objetivos del mismo son obtener información básica sobre los componentes del medio marino, testar la metodología utilizada y obtener protocolos de seguimiento extensivo e intensivo aplicables en el resto de parques nacionales de ámbito marítimo. Al respecto, se pretende evaluar la representatividad y el estado de la Red así como realizar una interpretación de los datos obtenidos, ya que éstos son la base sobre la que evaluar los procesos de cambio global. Este seguimiento consta de dos partes:

Previo a la definición de los protocolos de seguimiento, se realiza una **fase o proyecto piloto** con el fin de realizar una serie de trabajos de seguimiento que permitan concretar procedimientos específicos de seguimiento, realizando las comprobaciones y ajustes necesarios para integrarlas en los protocolos de seguimiento ecológico del medio marino que se pueda implantar en toda la Red. En este sentido, se desarrolla el **Proyecto piloto de seguimiento ecológico del medio marino en el Parque Nacional del Archipiélago de Cabrera** realizado durante el período 2011-2013, y que incluye tanto el seguimiento extensivo como el intensivo.

Los trabajos de los dos proyectos pilotos han sido dirigidos y supervisados por el Organismo Autónomo Parques Nacionales, siendo los trabajos realizados a través de un encargo a la empresa pública TRAGSATEC, en el marco de una encomienda relacionada con el Plan de Seguimiento y Evaluación de la Red de Parques Nacionales. Bajo la coordinación de TRAGSATEC han colaborado en el proyecto las empresas MEDITERRÁNEO SERVICIOS MARINOS, S.L. y TECNOAMBIENTE S.L., la primera en la realización de los trabajos del seguimiento extensivo y la segunda en los trabajos del seguimiento intensivo.



## **2. PROYECTO PILOTO DE SEGUIMIENTO ECOLÓGICO DEL MEDIO MARINO EN EL PARQUE NACIONAL DEL ARCHIPIÉLAGO DE CABRERA: SEGUIMIENTO ECOLÓGICO EXTENSIVO**

El elevado valor natural y cultural, la gran representatividad de su sistema natural, su amplia superficie, suficiente para permitir la evolución normal de los procesos ecológicos, la escasa intervención humana y no tener núcleos urbanos habitados en su interior, consiguieron en 1991 que el espacio natural del *Archipiélago de Cabrera* se declarase de interés general de la Nación, otorgándole la clasificación de Parque Nacional.

Este enclave se encuentra situado al sur de la isla de Mallorca, y comprende el Archipiélago de Cabrera propiamente dicho y su entorno marino, con una extensión total de 10.021 ha, de las cuales 8.073 ha son marinas y 1.318 terrestres.

La finalidad del proyecto piloto de seguimiento extensivo en el Parque Nacional del Archipiélago de Cabrera es la evaluación de la representatividad y el estado de conservación de los sistemas naturales marinos presentes mediante la elaboración de una **batimetría y una cartografía bionómica en una superficie aproximada de 6.300 ha del Parque Nacional del Archipiélago de Cabrera**. Este trabajo es una de las bases para el futuro seguimiento ecológico extensivo de la Red de Parques Nacionales.

### **2.1 METODOLOGÍA**

#### **2.1.1 Elaboración de batimetría y cartografiado de los fondos**

De manera previa a los trabajos de campo se predefinen los recorridos que se realizan en la campaña de toma de datos mediante el software hidrográfico *Hydro Pro* de *TRIMBLE* que permite introducir como base cartográfica toda la información que se pueda almacenar en un archivo informático tipo DXF. El programa gestiona toda la información transmitida de unos equipos a otros (dGPS, sonda y compás) realizando las transformaciones de formato necesarias para la correcta intercomunicación.

La utilización de un compás digital conectado al software hidrográfico y de almacenaje de datos, combinado con la información aportada por el dGPS, permite conocer en todo momento el rumbo, la posición de cualquier parte de la embarcación y evita los errores que pudieran generarse en las maniobras de ciaboga, atrás, parada, etc.

La posibilidad de configurar los *offsets* o distancias entre los diferentes puntos de adquisición de datos (transductor de la sonda y antena del dGPS), permite almacenar toda la información con un error mínimo. Estas correcciones de *offset* se realizan en las tres



dimensiones espaciales y en tiempo real durante la campaña de prospección, ahorrándose gran parte del trabajo de post-proceso y reduciendo las posibilidades de error.

Una vez en el terreno, se calibran y ajustan los equipos electrónicos a utilizar según las condiciones de salinidad y temperatura del agua de la zona y son instalados en una embarcación fueraborda de pequeño calado que permitirá acceder a las zonas más someras (hasta 1 m de profundidad).

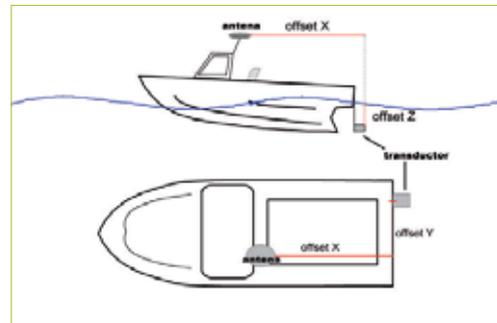


Figura 1. **Offset** entre la antena del dGPS y el transductor de la sonda

Para el **levantamiento batimétrico** se utiliza la sonda hidrográfica monohaz de doble frecuencia de *Simrad* EA 400P que posee elevadas prestaciones hidrográficas. Su alcance de prospección alcanza los 1.500 m de profundidad. Por otro lado esta sonda permite realizar una prospección del terreno utilizando dos frecuencias diferentes de emisión de pulso de manera simultánea. Cada una de las dos frecuencias empleadas (200KHz y 38KHz) genera un tipo de registro distinto debido a su diferente grado de penetración en el sustrato. El posicionamiento de las lecturas se realiza mediante GPS diferencial *MAX CSI Wireless*.

El punto de referencia al que se referirán los resultados obtenidos es el nivel medio del mar en Alicante. En caso de que el oleaje tenga una altura de ola superior a medio metro (0,5 m), los trabajos de toma de datos son suspendidos.

Para corregir las oscilaciones producidas por la marea, se realizan mediciones del nivel de la superficie libre del mar mediante un mareógrafo, modelo TGR-1050 HT de RBR, en periodos de diez minutos.

Una vez terminada la campaña de adquisición de datos se pasa al trabajo de gabinete donde se realiza un filtrado de la información, eliminando las posibles lecturas erróneas (dobles ecos, etc.). Por último, se corrigen las oscilaciones mareales a partir de los registros de campo obtenidos por el mareógrafo.

Para la obtención de la **cartografía bionómica** se utilizan la técnica de cartografiado de Sonar de Barrido Lateral. Además, se completa esta técnica de cartografiado con filmaciones mediante vídeo remolcado o ROV.

El equipo elegido para el estudio bionómico de la zona es el sonar de barrido lateral *C-Max 800/S Sidescan Sonar*.



Con la prospección con SSS se obtiene información sobre la naturaleza del fondo, de las comunidades bentónicas presentes, de objetos o accidentes naturales presentes en el fondo, etc.

El sonar registra automáticamente la altura del pez en cada momento y se le introduce el dato de la distancia horizontal (*layback*) desde las antenas del dGPS hasta el pez, calculada experimentalmente por el personal técnico en función de la velocidad y la longitud del cable largado.

Con el dato de la longitud del cable y la altura sobre el fondo, el sistema calcula trigonómicamente, a partir de la longitud de la sombra de un objeto, la altura y resto de las dimensiones del objeto.

Para el posicionamiento del registro de fondo se utiliza un GPS-diferencial

que ofrece una posición cada segundo. Esta posición tiene un error máximo en las coordenadas suministradas menor de 1 metro. Dicho GPS se encuentra conectado a un ordenador que mediante el *software* de navegación (*HYDROpro* de Trimble) se encarga de hacer las transformaciones de coordenadas y *datum* requeridos, suministrando la posición definitiva al sonar de barrido lateral.

Se estable un rango de cobertura de 75 m por banda y una separación entre transectos contiguos de 140 m que asegura un solapamiento de 10 m aproximadamente en recorridos adyacentes y por lo tanto una cobertura completa del área de estudiada, aproximadamente 6.300 ha.

Simultáneamente a esta prospección, un equipo de técnicos en interpretación de registros de sonar elabora la cartografía en oficina a partir de los registros obtenidos. De este modo, se detectan los puntos donde la información no es del todo clara mientras el equipo de mar está aún trabajando en la zona.

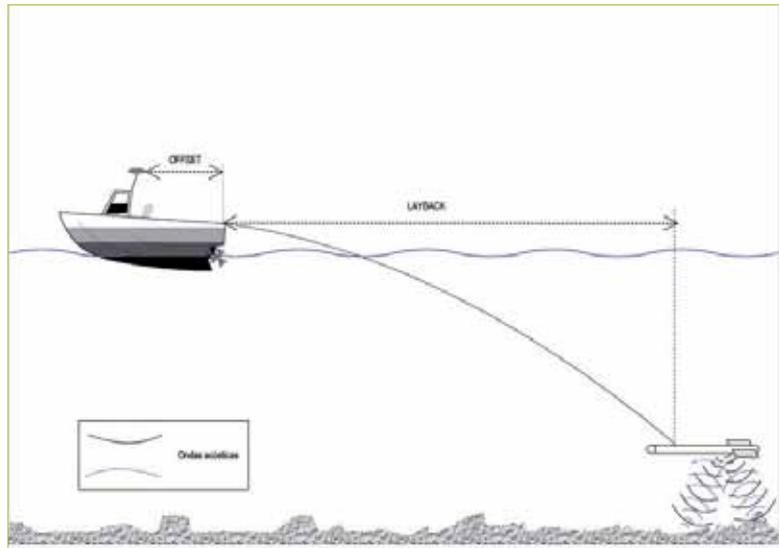


Figura 2 .Modelo de prospección de SSS. Elaboración propia



## 2.1.2 Caracterización faunística y botánica

### 2.1.2.1 Estudio de las comunidades del supralitoral y mesolitoral: inspecciones directas desde la costa

Para complementar la información obtenida, se realizan perfiles perpendiculares a la costa con el objetivo de identificar las comunidades del mesolitoral y supralitoral hasta el mínimo nivel de marea, realizando una inspección directa e identificaciones de visu, toma de fotografías georreferenciadas y filmaciones con videocámara de las especies características. Además se toman notas de la posición relativa en el perfil.

Se realiza una aproximación de la rugosidad a partir de los videos y una descripción de las comunidades detectadas en cada uno de los transectos en base a la clasificación de biocenosis llevada a cabo por Ballesteros et al. (1993) del Archipiélago de Cabrera. La clasificación geomorfológica (Calvín 2003) es la siguiente:

- Costa acantilada alta: aquella en que el acantilado supera los 20 m de altura
- Costa acantilada media: la altura del acantilado está comprendida entre 2 y 20 m
- Costa rocosa baja: la altura del acantilado está comprendida entre 0.5 y 2 m
- Playas

En las costas sedimentarias, además de las inspecciones directas, se toman muestras de sedimento para la identificación de las especies de endofauna características y su caracterización granulométrica. El sistema de muestreo utiliza una pala para obtener una muestra en la capa de 0 a 30cm.

### 2.1.2.2 Estudio de las comunidades bentónicas: Inspecciones visuales submarinas (vídeo remolcado y ROV)

Los trabajos realizados con Sonar de Barrido Lateral se completan mediante filmaciones de vídeo del fondo en los puntos más conflictivos.

A profundidades mayores de 50 m se utiliza un vehículo operado de control remoto (ROV) SEABOTIX LDV propulsado por cuatro hélices independientes que permiten movimientos en los tres ejes. Este ROV va equipado con iluminación interior orientable y opera hasta una profundidad máxima de 200 m mediante un umbilical de fibra óptica, que envía la señal del aparato a la unidad de superficie donde se visualiza en tiempo real la imagen y se graba para su posterior estudio.



A profundidades menores de 50 m se utiliza un equipo de filmación en vídeo formado por una minicámara sumergible que es remolcada desde la propia embarcación por medio de un cable que a su vez envía la señal de vídeo a la unidad de superficie. Dicha unidad está formada por una televisión y un disco duro grabador que permite visualizar en la embarcación las imágenes captadas por la cámara a tiempo real y registrarlas en vídeo para su posterior visionado.

El sistema de filmación va acompañado de un software que permite la captura de fotogramas a partir de las grabaciones de vídeo con el fin de obtener imágenes de eventos concretos que resulten de especial interés.

A partir de los vídeos realizados sobre fondos rocosos se realiza una aproximación *de visu* de la rugosidad de dichos sustratos, según las siguientes categorías:

1. Sustrato plano, sin grietas ni irregularidades aparentes, sin importancia de las variaciones verticales (relación entre longitud real y lineal igual a 1)
2. Aparecen pocas grietas e irregularidades, variaciones verticales menor a 2 metros (relación entre longitud real y lineal claramente superior a 1)
3. Con grietas e irregularidades de cierta entidad, que ocupan al menos el 25% de la longitud del transecto y/o variaciones verticales de más de 2 metros (relación entre longitud real y lineal superior a 1,5)
4. Presencia de grietas importantes que ocupan más del 25% de la longitud del transecto y/o la rugosidad es tal que la relación entre longitud real y lineal es superior a 2.

### 2.1.2.3 Estudio de fondos sedimentarios: muestreo de sedimento mediante dragas

La toma de muestras de sedimento bajo el mar se lleva a cabo desde una embarcación mediante una draga de cuchara tipo Van Veen (Holme & McIntyre, 1971) de 20 x 20 cm de apertura de boca.

Cada muestra se codifica siguiendo el procedimiento específico interno PE-27 (trazabilidad de muestras) de MSM, S.L.



## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Las muestras recogidas para el análisis granulométrico, se almacenan en un bote de plástico y se llevan al laboratorio, donde se procesan según el protocolo propio del análisis granulométrico por columna de tamices de luz de malla decreciente, que incluye como fase previa la desecación del sedimento en una estufa a una temperatura de 110°C+5°C. El protocolo seguido es el establecido por la norma UNE-EN 933-1-1997.

Para la clasificación terminológica de las distintas fracciones se adopta como criterio la clasificación de la escala *Udden Wentworth*, que relaciona distintos intervalos granulométricos con tipologías sedimentarias. Se utilizan 6 tamices según la norma UNE 933-1 Y UNE 933-2.

**2mm | 1mm | 0.5mm | 0.250mm | 0.125mm | 0.063mm**

Los resultados de este análisis aportan información de los substratos sedimentarios que caracterizan la zona de estudio y sobre la comunidad biológica que puede establecerse en cada uno de ellos.

## ANÁLISIS FAUNÍSTICO

Las muestras recogidas para realizar este análisis son filtradas con un tamiz de 1 mm de luz de malla conservándose la fracción retenida en una solución de formaldehído al 4 % en agua de mar.

Una vez fijadas de este modo, las muestras se envían a la Universidad de Barcelona donde expertos en los diferentes grupos zoológicos se encargan de la identificación y cuantificación de los organismos presentes en las muestras.

Con los listados faunísticos obtenidos a partir de las muestras, se estudian los siguientes aspectos:

- Presencia de especies indicadoras de cada una de las comunidades
- Distribución en porcentajes de los grupos faunísticos
- Densidad de individuos por unidad de superficie: valor relacionado con la abundancia
- Riqueza específica
- Índice de diversidad de Shannon-Weaver





## 2.2 RESULTADOS

### 2.2.1 Elaboración de batimetría

La zona del *archipiélago de Cabrera* se caracteriza de forma general por presentar unos fondos con una elevada pendiente, y donde se diferencian dos unidades con características orográficas diferentes.

Por una parte está el entorno inmediato a la *isla de Cabrera*, donde se detectan las mayores pendientes del fondo, especialmente acusadas frente a los cabos más sobresalientes de la isla.

La otra unidad morfológica la constituyen los fondos de la mitad norte de la zona de estudio, desde el norte de *Cabrera* hasta el extremo norte de la prospección. En líneas generales se caracteriza por un aplaceramiento generalizado del fondo a levante de las islas menores, que se corresponde con una estrecha plataforma a modo de barra que se prolonga hasta *cap Salines* en la *isla de Mallorca*. Esta plataforma es el resto de una antigua formación rocosa y cuyas únicas zonas emergidas en la actualidad, se encuentran situadas en el extremo sur del *archipiélago de Cabrera*.

Todo el frente correspondiente a las islas menores del archipiélago (de *illa des Conills* hasta *Na Forada*) forma el borde de poniente de dicha plataforma, como muestra el incremento brusco de la pendiente hacia esta vertiente en comparación con el aplaceramiento existente hacia levante de las islas.

Cabe destacar la anomalía batimétrica existente en el canal entre *Cabrera* y *illa des Conills* donde se incrementa el fondo progresivamente de este a oeste y con una morfología de vaguada similar a la existente en las calas de *Santa María* y del *Port*. Aparentemente la naturaleza y origen de estas tres depresiones es similar y probablemente derivada de una situación previa, cuando la plataforma estaba emergida.





### 2.2.2 Elaboración de la cartografía bionómica

Tras la realización y posterior análisis de los resultados extraídos de las diferentes técnicas como la prospección con sonar de barrido lateral, la filmación mediante video remolcado y ROV, y el análisis granulométrico y faunístico de los sedimentos, se profundiza en la identificación, delimitación y análisis de las características propias a cada uno de los aspectos bionómicos presentes en la zona de estudio.

Esta metodología de trabajo permite delimitar con gran precisión las áreas de distribución de cada comunidad así como realizar una aproximación al conocimiento de su estructura y, en algunos casos, efectuar una valoración sobre el estado de conservación que experimentan.

#### CARTOGRAFÍA BIONÓMICA DE LOS FONDOS DEL PARQUE

Para la identificación de las diferentes biocenosis se sigue la división establecida en pisos del sistema fital (infralitoral, y circalitoral, en el presente caso), denominando las diferentes biocenosis de acuerdo con la nomenclatura establecida e identificando las facies siempre que es posible llegar a su determinación. Posteriormente dichas comunidades se asocian al sistema de clasificación EUNIS (*European Nature Information System*), tratando de llegar al máximo nivel de detalle.

Los fondos de la zona de estudio se caracterizan por una gran heterogeneidad, tanto por la presencia de gran variedad de comunidades bionómicas diferentes como por la presencia de diferentes aspectos de cada una de ellas, referentes a adaptaciones estructurales y a estados de conservación, como en el caso de la pradera de *Posidonia oceanica*, o de las diferentes facies de detrítico costero identificadas.

Del análisis conjunto de aspectos bionómicos se observa que la zona está afectada en gran medida por condiciones de elevado hidrodinamismo que permiten el asentamiento de una serie de comunidades reófitas y la readaptación estructural del resto. La disposición geográfica de esta zona, unida a la situación de insularidad, hace que se trate de unos fondos expuestos a la confluencia de diferentes procesos hidrodinámicos con una incidencia diferencial sobre el fondo. Esta heterogeneidad en condiciones hidrodinámicas origina que las comunidades bionómicas, en especial las asociadas a los fondos blandos, presenten una distribución muy heterogénea.

Aunque de forma genérica toda la zona de estudio está condicionada por la frecuencia e intensidad de los acontecimientos hidrodinámicos, existe una clara diferenciación entre los fondos situados en el entorno inmediato a la isla de Cabrera, con una mayor



pendiente y los fondos asociados a la plataforma comprendida entre el norte del archipiélago y la costa de Mallorca.

## RUGOSIDAD DE LOS FONDOS ROCOSOS

Se toman 39 vídeos sobre fondos rocosos destacando:

- El 15,38% de los vídeos realizados muestran sustratos planos, sin grietas ni regularidades aparentes
- El 38,46% de los vídeos muestran sustratos con pocas grietas e irregularidades
- El 28,20% de los vídeos realizados muestran sustratos con grietas e irregularidades de cierta entidad
- El 17,96% de los vídeos presentan grietas de importancia que ocupan más del 25% de la longitud del transecto

En cuanto a los perfiles realizados en las zonas supra y mesolitoral destaca:

- El 20% de los vídeos realizados muestran sustratos planos, sin grietas ni regularidades aparentes
- El 66,67% de los vídeos muestran sustratos con pocas grietas e irregularidades
- El 3,33% de los vídeos realizados muestran sustratos con grietas e irregularidades de cierta entidad
- El 10% de los vídeos presentan grietas de importancia que ocupan más del 25% de la longitud del transecto

## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS FONDOS SEDIMENTARIOS

Los resultados obtenidos de las muestras infra y circalitorales muestran la gran heterogeneidad de los fondos marinos del archipiélago, condicionado por la morfología del fondo y las peculiares condiciones hidrológicas del Parque.

De los resultados obtenidos del supra y mesolitoral se puede destacar un contenido mayoritario de arenas gruesas, lo que denota el perfil rocoso de estas islas.

## ANÁLISIS FAUNÍSTICO DE LOS FONDOS SEDIMENTARIOS

Expertos de la Universidad de Barcelona en los distintos grupos zoológicos, llevan a cabo la identificación y recuento de los organismos presentes en las muestras de sedimento recogidas en las 100 estaciones distribuidas por los fondos sedimentarios de la zona de estudio y en el supra y mesolitoral.



Se calculan varios indicadores para caracterizar la comunidad bentónica, tales como la densidad total de individuos, riqueza específica y el índice de diversidad.

Los valores obtenidos para las diferentes especies detectadas se agrupan en función de los grupos taxonómicos principales (anélidos, artrópodos, quetognatos, cordados, equinodermos, nematodos, nemertinos, moluscos, platelmintos, poríferos y sipuncúlidos).

Los grupos de anélidos, artrópodos, equinodermos y moluscos son los que, de forma general, presentan una mayor representabilidad en las muestras. También en porcentajes importantes aparecen los grupos de sipuncúlidos y nematodos.

Se observa una ausencia total de especies en todas las estaciones de supralitoral (+2) y en algunas de las situadas en la cota 0, que es debido al ambiente muestreado.

Teniendo en cuenta la comunidad bionómica asociada a cada punto de muestreo, se observa una gran mezcla en cada grupo de muestras, lo que corrobora la situación de heterogeneidad de los fondos que se viene mencionando a lo largo del presente informe.

Esta heterogeneidad hace posible encontrar especies características de un tipo de comunidad en la comunidad vecina, por lo que no se pueden agrupar las estaciones por el tipo de comunidad bionómica al que pertenecen, sino más bien por su emplazamiento.

En cuanto a la presencia de especies indicadoras de inestabilidad ambiental y/o contaminación, se encuentran especies de los géneros *Capitella* y *Lumbrineris*, sobre un 18 y un 33 % de las muestras. Aunque su presencia es básicamente testimonial, en el 90% de las estaciones.

También se observan especies de equinodermos como *Amphiura sp.*, y *Ophura albida*, o de moluscos como *Tellina sp.*, indicadoras de fondos detrítico costeros.

Como indicadoras de fondos de arenas finas bien calibradas se encuentran especies de artrópodos como *Atylus swammerdami*, *Bathyporeia sp.*, *Cymodoce sp.*, y *Apseudes talpa* entre otras, o moluscos como *Corbula gibba*.

Por último mencionar la presencia de especies del género *Jasmineira* indicadoras de corrientes de fondo y del molusco *Pitar rudis*, indicador de fondos detrítico profundos.

De forma general se observan **mayores densidades** en estaciones situadas sobre la comunidad de arenas gruesas sometidas a corrientes, con más de 4.500 ind/m<sup>2</sup>. Por el contrario se observan las menores densidades en las estaciones situadas sobre las comunidades detríticas costeras, con densidades inferiores a 300 ind/m<sup>2</sup>.



Sobre las muestras del supra y mesolitoral se aprecian, por lo general, unas densidades totales bajas, menos de 500 ind/m<sup>2</sup>.

Se considera importante el estudio de **riqueza específica**, por constituir junto con la abundancia de individuos, las dos variables sobre las que se calcula la diversidad de una comunidad.

Se observa la presencia de una media de 15-20 especies por muestra, con excepción de las estaciones del supra y mesolitoral, donde la media está entre 5 y 10.

Cabe indicar, que salvo las estaciones donde no hay registro alguno de individuos, en el resto aparecen más de 5 especies diferentes por estación, que junto con la abundancia de las mismas darán, con el cálculo del índice de diversidad, una idea del estado ecológico de las comunidades.

La diversidad de un ecosistema o comunidad es el principal indicador de la madurez y de la complejidad de los mismos. Para analizarla se utiliza el índice de diversidad de Shannon-Weaver. Los valores de este índice suelen oscilar entre 0 y 5, considerándose, para este tipo de comunidades, altas diversidades a partir de 2,5.

De forma general cabe destacar las buenas condiciones ecológicas que presentan las comunidades estudiadas en el entorno del Parque Nacional del Archipiélago de Cabrera, que se expresan con diversidades mayores de 3 en el 80% de las muestras estudiadas.

#### **SUPERFICIE OCUPADA POR LOS SISTEMAS NATURALES PRESENTES EN EL PARQUE NACIONAL DEL ARCHIPIÉLAGO DE CABRERA**

En las siguientes tablas se muestra la superficie ocupada por las distintas comunidades de acuerdo con tres clasificaciones, la división establecida en pisos del sistema fital para el Mediterráneo, la de EUNIS y la de los Sistemas Naturales de la Ley 5/2007.



Tabla 1. Superficie ocupada por las distintas comunidades según la clasificación de división establecida en pisos del sistema fital para el Mediterráneo

Clasificación MEDITERRÁNEO		
ID_MSM	CLASS MSM	SUPERFICIE (Ha)
1	Comunidad fotófila de la roca infralitoral	150,65
2	Detrítico costero Facies de guijarros	351,13
3	Arenas mal calibradas	22,38
4	Detrítico costero	2.639,82
5	Arenas gruesas y gravillas sometidas a corrientes de fondo	798,15
6	Comunidad esciáfila dispersa de la roca infralitoral	0,26
7	Pradera de Posidonia oceanica	229,86
8	Precoralígeno	18,53
9	Precoralígeno disperso	54,98
10	Haces dispersos de Posidonia oceanica	18,50
11	Alternancia Posidonia y roca	15,93
12	Coralígeno disperso	10,12
13	Coralígeno	18,87
14	Pradera degradada de Posidonia oceanica	3,78
15	Comunidad esciáfila de la roca infralitoral	96,22
16	Pradera de Posidonia con cubetas	19,81
17	Césped de Cymodocea nodosa	7,74
18	Césped disperso de Cymodocea nodosa	5,32
19	Arenas finas bien calibradas	64,55
20	Detrítico costero Facies de Vidalia volubilis	682,24
		<b>5.208,86</b>

Tabla 2. Superficie ocupada por las distintas comunidades según la clasificación EUNIS

Clasificación EUNIS		
COD_EUNIS	CLASE	SUPERFICIE (Ha)
A3	Rocas infralitorales y otro sustrato duro	247,13
A4	Rocas circalitorales y otro sustrato duro	73,51
A4.26	Comunidades de coralígeno en el Mediterráneo moderadamente expuestas a la acción del hidrodinamismo	28,99
A5.1	Sedimentos gruesos infralitorales	798,15
A5.23	Arenas finas infralitorales	64,55
A5.43	Sedimentos mixtos infralitorales	22,38
A5.44	Sedimentos mixtos circalitorales	2.639,82
A5.516	Asociación con rodolitos en fondos detrítico costeros	351,13
A5.52J	Asociación con Osmundaria volubilis	682,24
A5.53	Praderas de fanerógamas sublitorales	42,09
A5.5313	Lechos de Cymodocea en el Mediterráneo	13,07
A5.535	Lechos de Posidonia	229,86
A5.535 / A3	Alternancia Lechos de Posidonia / Rocas infralitorales y otro sustrato duro	15,93
		<b>5.208,86</b>

Tabla 3. Superficie ocupada por las distintas comunidades según la clasificación de los sistemas naturales de la Ley 5/2007

Sistemas Naturales (Ley 5/2007)		
ID_SN	Sist_Nat	SUPERFICIE (Ha)
L30	Fondos detríticos y sedimentarios	4.558,28
L33	Comunidades coralígenas	28,99
L34	Praderas de fanerógamas marinas	300,95
L39	Comunidades de sustrato duro con poblamientos algas fotófilos o esciáfilos	320,64
		<b>5.208,86</b>

\*La información relativa a los sistemas naturales de la Ley 5/2007 incluida en la tabla es aún parcial, ya que se completará en breve con el desglose de algunos sistemas naturales y con el estudio bionómico de la superficie del Parque Nacional que aún no ha sido cartografiada, correspondiente en su mayor parte a los fondos más profundos.





## 2.3 CONCLUSIONES

La disposición geográfica de la zona de estudio, unida a la situación de insularidad, hace que se trate de fondos expuestos a la confluencia de diferentes procesos hidrodinámicos con una incidencia diferencial sobre el fondo. Esta complejidad en las condiciones hidrodinámicas origina que las comunidades bionómicas, en especial las asociadas a los fondos blandos, presenten una distribución muy heterogénea.

La tipología de la mayor parte de la costa, donde predomina la costa rocosa baja y los acantilados frente a los fondos arenosos, origina que las comunidades asociadas a fondos duros sean las más abundantes en los primeros metros de profundidad.

Por otro lado la comunidad de fondos detrítico costero ocupa la mayor parte de la superficie de la zona de estudio, y al igual que el resto de comunidades, presenta un patrón muy heterogéneo, en el que se diferencian diversas *facies* en función del poblamiento bionómico.

La pradera de *Posidonia oceanica* se presenta diversos patrones de distribución en función de la topografía, naturaleza del fondo y de la incidencia diferencial de factores ambientales.

Por último, cabe mencionar los fondos duros circalitorales, muy abundantes y de distribución heterogénea en la zona estudiada. En ellos se aprecia la comunidad coralígena, también muy importante en el ámbito de estudio. La mayor parte de estos fondos se sitúan a lo largo de la vertiente de poniente de todo el archipiélago y al sur de la *isla de Cabrera*. En estas zonas es donde la roca litoral alcanza zonas más profundas concentrándose la mayoría de los afloramientos rocosos.

En general, los resultados obtenidos de las muestras infra y circalitorales denotan la gran heterogeneidad de los fondos marinos del archipiélago, condicionados por la morfología del fondo y las peculiares condiciones hidrológicas del Parque. El estudio del supra y mesolitoral muestra el perfil eminentemente rocoso del archipiélago.

Como conclusión final, indicar las buenas condiciones ecológicas que presentan los fondos marinos estudiados en el entorno del Parque Nacional del Archipiélago de Cabrera, que se expresan con una gran variedad de comunidades bionómicas que forman un complejo mosaico.



### 3. PROYECTO PILOTO DE SEGUIMIENTO ECOLÓGICO DEL MEDIO MARINO EN EL PARQUE NACIONAL DEL ARCHIPIÉLAGO DE CABRERA: SEGUIMIENTO ECOLÓGICO INTENSIVO

Finalizados los trabajos del proyecto piloto de seguimiento extensivo en el Parque Nacional del Archipiélago de Cabrera, comienzan los trabajos del proyecto piloto del seguimiento intensivo en el mismo Parque Nacional. La finalidad de estos trabajos es la obtención de información de referencia y el establecimiento de una base para un posible protocolo general de seguimiento ecológico intensivo del medio marino para la Red de Parques Nacionales de ámbito marítimo.

Los trabajos de campo son realizados entre los meses de julio y septiembre de 2012 y tienen como objeto la caracterización de:

- Praderas de *Posidonia oceanica*: con el objeto de llegar a caracterizar la pradera de *Posidonia oceanica* presente en el Parque, se establecen 34 estaciones de seguimiento a lo largo de transectos perpendiculares a la costa.
- Población de *Pinna nobilis*: Se trata de un bivalvo muy sensible a la contaminación del agua en las praderas de *Posidonia oceanica*, por lo que variaciones en su abundancia y estructura pueden indicar el grado de limpieza de las aguas y el grado de estabilidad de las praderas.
- Comunidad de precoralígeno y coralígeno: en cuatro puntos del Parque, se estudia la estructura general del coralígeno, la diversidad de poblamientos asociados y la posible presencia de perturbaciones ya sean físicas y/o biológicas y/o ambientales.
- Comunidades ícticas: tiene como fin la evaluación del efecto reserva presente en el Parque sobre las comunidades ícticas.
- Hábitat (rugosidad y pendiente de fondo): se quiere llegar a conocer la afección de la heterogeneidad del sustrato en términos de profundidad, pendiente y rugosidad como factor determinante para condicionar las características de las comunidades ícticas.
- Comunidades bentónicas de cavidades o cuevas: en 8 estaciones de muestreo se estudia el impacto producido por el buceo recreativo en determinadas comunidades bentónicas localizadas sobre las zonas habilitadas para el buceo.
- Especies invasoras: se pretende caracterizar especies invasoras (*Caulerpa racemosa*, *Caulerpa taxifolia*, *Lophocladia lallemandi* y *Womersleyella setacea*) mediante la medición de sus distintos parámetros para así poder conocer su



evolución en el tiempo evaluando los posibles efectos en las comunidades marinas. Este estudio se lleva a cabo en 16 puntos de muestreo.

- Fondos: con la caracterización de los fondos del Parque se pretende estudiar la evolución de su estructura interna mediante variables como diversidad, especies notables, estructura trófica y áreas de transición. Para ello se realizan 50 vídeos con cámara remolcada, 16 vídeos con vehículo operado a control remoto (ROV) y se toman 100 muestras de sedimento.
- Masas de agua: se toman muestras de agua en 35 puntos de muestreo para realizar su caracterización físico – química determinando parámetros tales como profundidad, turbidez, oxígeno disuelto, temperatura, pH, salinidad y transparencia. Por otro lado, también se realiza un estudio fitoplanctónico y zooplanctónico.

Para cada uno de estos trabajos, se realiza una descripción de las diferentes metodologías utilizadas y se muestran un resumen de los resultados obtenidos así como una serie de conclusiones a las que se llega tras el análisis de los resultados.

Los puntos de muestreo de los diferentes trabajos han sido determinados de acuerdo con lo establecido por el Organismo Autónomo de Parques Nacionales, así como por el propio Parque Nacional del Archipiélago de Cabrera. A la hora de definir los puntos de muestreo, se ha utilizado la información de referencia existente y se ha tratado de usar los mismos puntos y la misma metodología que en proyectos de seguimiento anteriores o en marcha.

## 3.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS PRADERAS DE *POSIDONIA OCEANICA*

### 3.1.1 Metodología

#### TRABAJOS DE CAMPO

Se ha establecido un total de 34 estaciones de muestreo, distribuidas entre los 2,5 y 32 metros de profundidad, donde se han tomado medidas de la cobertura y densidad de la pradera de *Posidonia oceanica*. El conjunto se divide en 30 estaciones generales (P) y 4 estaciones fijas (PF), estas últimas localizadas de forma permanente en zonas resguardadas en el interior de bahías.

Asimismo, en 8 de las estaciones generales (P) y en las 4 estaciones fijas (PF), se tomaron muestras in situ de haces para su posterior análisis en laboratorio, anotándose medidas para su caracterización fenológica y lepidocronológica.



La **cobertura** se define como el porcentaje de superficie cubierta por rizomas vivos de *Posidonia oceanica*. Para su medición se utiliza la metodología del intercepto.

La densidad de haces (fundamental y global) es el descriptor de abundancia de *P. oceanica* que mejor reacciona a los cambios en las condiciones del agua, como atestigua la disminución exponencial con la profundidad y la luz incidente (Pergent et al. 1995; Borum et al. 2004). La densidad también es sensible a las condiciones del sedimento (Frederiksen et al. 2007). Se mide en manchas de pradera con un 100% de cobertura, evitando, en lo posible, los claros. Se utilizan marcos de 40 x 40 cm<sup>2</sup>, sujetándose las hojas de los haces con el antebrazo, mientras que con la otra mano se sacan los haces y se cuentan, apuntándose el resultado del contaje.

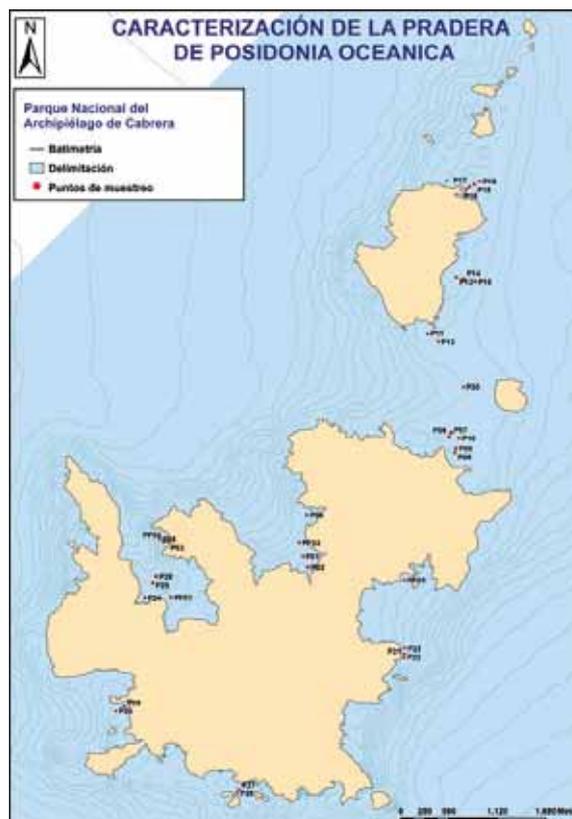


Figura 3. Puntos de muestreo del estudio de caracterización de la pradera de *Posidonia oceanica*

En cada estación de muestreo se toman datos, mediciones y algunas fotografías del grado de desenterramiento de los rizomas ortótopos, de la existencia de algas invasoras y de presencia de especies protegidas por legislación nacional o comunitaria y por convenios internacionales. Las medidas de desenterramiento se realizan mediante el uso de una regla sumergible con escala centimétrica, midiéndose en centímetros la longitud existente entre la superficie del sedimento y el fin de la lígula de una de las dos hojas externas del haz.

## TRABAJOS DE LABORATORIO Y GABINETE

Para la evaluación del estado ecológico de las praderas se utiliza el índice propuesto por Giraud (1977) respecto a la densidad fundamental, así como otros índices recomendados en el documento: 1120 *Posidonium oceanicae*. Praderas de *Posidonia oceanica* (\*). En: VV.AA., *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España* (Díaz-Almela & Marbà, 2009).



El **indicador IC (índice de conservación)** se encuentra estrechamente relacionado con la cobertura. Se basa en la comparación de la cobertura de mata muerta con la cobertura de pradera viva (Sánchez-Poveda et al. 1996, modificado por Moreno et al. 2001). Se obtiene dividiendo el porcentaje de cobertura de mata viva o pradera (P) por la suma de porcentajes de mata muerta (MM) y pradera viva (P). La fórmula es la siguiente:

$$IC = P / (MM+P)$$

Tabla 4. Estados de conservación de la pradera atendiendo al IC

Rangos de IC	Estado de Conservación
$IC \geq 0,8$	Favorable
$0,6 < IC < 0,8$	Desfavorable - inadecuado
$IC \leq 0,6$	Desfavorable - malo

La clasificación de las praderas de *Posidonia oceanicae*, según Giraud, se basa en una serie de estadios, en función de la densidad de haces por metro cuadrado (densidad fundamental).

Tabla 5. Clasificación de la pradera de *Posidonia* según Giraud (1977)

ESTADÍO I	Posidonia con muy alta densidad	>700 haces/m <sup>2</sup>
ESTADÍO II	Posidonia con alta densidad	400-700 haces/m <sup>2</sup>
ESTADÍO III	Posidonia con densidad media	300-400 haces/m <sup>2</sup>
ESTADÍO IV	Posidonia con baja densidad	150-300 haces/m <sup>2</sup>
ESTADÍO V	Posidonia con muy baja densidad	50-150 haces/m <sup>2</sup>
ESTADÍO VI	Restos de Posidonia	1-50 haces/m <sup>2</sup>

Existe otra clasificación que emplea el factor “densidad global” (en haces/m<sup>2</sup>), calculado a partir de la densidad fundamental. Es decir, la media de haces medida cuando la cobertura es del 100%, multiplicada por la cobertura estimada del transecto. Para el parámetro densidad global, existen unos rangos indicadores del estado de conservación, establecidos en relación con la profundidad registrada (Pergent et al. (1995) y Pergent-Martini & Pergent (1996)).



Tabla 6. Rangos indicadores del estado de conservación de la pradera de posidonia según Pergent et al. (1995) y Pergent-Martini & Pergent (1996)

Profundidad (m)	Densidad de haces fundamental	Densidad de haces global	Desfavorable - malo-	Desfavorable - inadecuado-	Favorable	
			Muy baja	Baja	Normal	Alta
1			<822	822-934	934-1158	>1158
5			<413	413-525	525-749	>749
10	171	108,1	<237	237-349	349-573	>573
15			<134	134-246	246-470	>470
20	33	4,9	<61	61-173	173-397	>397
21			<48	48-160	160-384	>384
22			<37	37-149	149-373	>373
23			<25	25-137	137-361	>361
24			<14	14-126	126-350	>350
25			<4	4-116	116-340	>340
26				<106	106-330	>330
27				<96	96-320	>320
28	135,4	48,2		<87	87-311	>311
29				<78	78-302	>302
30				<70	70-294	>294
35				<31	31-255	>255

Para clasificar la tipología del estado de conservación respecto a la variable **desenterramiento de los haces** en cada una de las estaciones, se tienen en cuenta los rangos propuestos por Ruiz et al. (2006).

Tabla 7 Clasificación del estado de conservación según Ruiz et al. (2006)

Estado de conservación	Variable Desenterramiento (D) cm
Favorable (progresivo)	-5<D<5
Desfavorable – inadecuado (estable)	7<D<-5 7>D>5
Desfavorable – malo (regresivo)	D<-7 D>7

La clasificación del estado de conservación atendiendo a la presencia o ausencia de **especies de algas invasoras**, como *Caulerpa spp.*, se basa en el protocolo propuesto por Díaz-Almela & Marbà (2009).



### 3.1.2 Resultados y conclusiones

Las 34 estaciones de muestreo se agrupan en 11 zonas (o localidades). El código de las mismas se corresponde a la nomenclatura de la estación, seguido de la cota de profundidad.

A continuación, se muestra una tabla resumen con los códigos, así como la localización y profundidad de los puntos de muestreo directo sobre las praderas. En fondo verde claro, aparecen diferenciadas las estaciones fijas, y en verde oscuro, las estaciones donde se ha llevado a cabo el estudio lepidocronológico.

Tabla 8 Códigos y profundidad de las estaciones de muestreo agrupadas en zonas, según el área geográfica donde se encuentran

Área geográfica		Zona	Estación	Profundidad (m)
Illa des Conills	"Cala Estreta"	1	P16	12,5
			P17	11,8
			P18	13,7
	"Es Blanquer-Es Coll de Llebeig"	2	P19	15,5
			P13	9,2
			P14	17,5
			P15	22,5
	"Sa Punta des Corral's"	3	P11	15,5
			P12	21
"Na Rodona"	"Na Rodona"	4	P20	25,7
Cabrera	"Sa Punta de Sa Corrent"	5	P06	21,3
			P07	23,5
			P08	10,7
			P09	20,5
			P10	23
	"L'Olló-Sa Punta des Burri"	6	PF_03	10,8
			P21	24
			P22	25,7
			P23	24,5
	"S'Estell d'en Terra"	7	P27	8,7
			P28	9
	"Sa Punta des Coll Roig"	8	P29	13,5
			P30	24,9
	"Punta de S'Espaumador - Es Caló des Forn"	9	PF_01	16
			P24	27,2
P25			30,2	
P26			32	



Área geográfica		Zona	Estación	Profundidad (m)
"Es Racó des Castell"		10	PF_04	9,5
			P03	2,4
			P05	22
"Cala Santa María-Es codolar de Cala Santa María"		11	PF_02	15,8
			P01	11,3
			P02	7,4
			P04	16

## ÍNDICE DE CONSERVACIÓN

En la práctica totalidad de las praderas se obtienen valores favorables para este indicador, no observándose de manera general la presencia de porciones de mata muerta (en el caso de localizarse, estas porciones se encuentran en baja proporción). Únicamente las estaciones P07 y P23, la primera de ellas en la zona 5 ("Sa Punta de Sa Corrent") y la segunda en Sa Punta des Burrí, en la zona 6, obtienen un índice de conservación inferior a 0,8. Ambas estaciones se sitúan en torno a los 24 m de profundidad, en las proximidades del límite inferior de la pradera en zonas expuestas a un mayor hidrodinamismo.

## DENSIDAD FUNDAMENTAL

De las 34 estaciones muestreadas, 21 corresponden a un Estadio II o Posidonia de alta densidad, 7 a Estadios III o Posidonia de densidad media y 4 estaciones se clasifican como Estadio I o Posidonia de muy alta densidad (P18, P13, P08, P27 y P28). Quedan relegadas a un Estadio IV o Posidonia de baja densidad, únicamente las estaciones P24 y PF02, con valores promedio de 283,3 y 272,9 haces/m<sup>2</sup>, respectivamente. Las zonas donde se registran mayores densidades por área geográfica corresponden a la zona 7 (en el sur del archipiélago), en "S'Estell d'en Terra", con valores de 883,3 haces/m<sup>2</sup> y 1.025 haces/m<sup>2</sup>. También presentan valores elevados, algunas estaciones situadas al noreste de "Illa des Conills". En concreto, en estaciones de la zona 1, como la estación P18 con 783,3 haces/m<sup>2</sup> y la P19 con 691,7 haces/m<sup>2</sup>, y la zona 2,

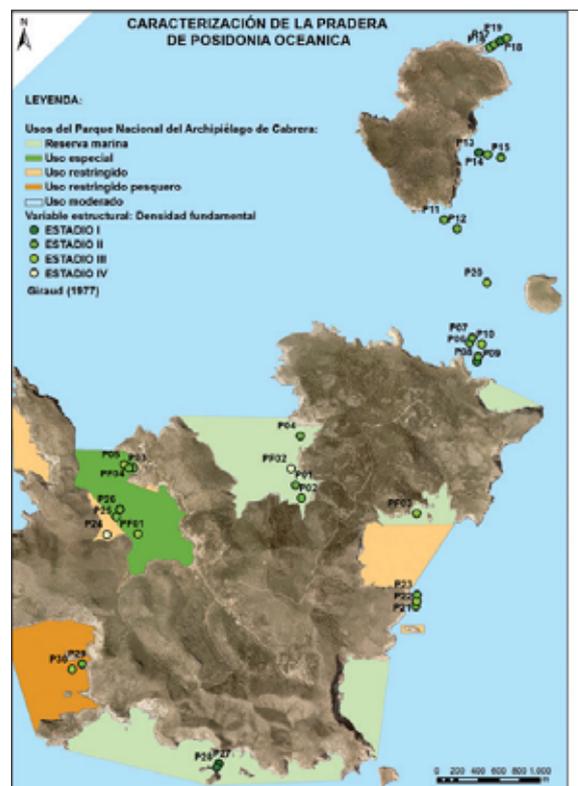


Figura 4. Distribución espacial de los valores de densidad fundamental



en la estación P13 con 850 haces/m<sup>2</sup>. Por último, la estación P08, con 733,3 haces/m<sup>2</sup>, alcanza el valor máximo de la zona 5 (“Sa Punta de Sa Corrent”).

Los resultados del estudio de densidad fundamental, indican, como era de esperar, que la *Posidonia oceanica* en el Archipiélago de Cabrera presenta una reducción de la densidad de haces con el aumento de la profundidad. El principal factor que determina esta reducción asociada a la profundidad es la disminución de la intensidad de la luz en los estratos más profundos (Duarte, 1991). Sin embargo, a pesar de este decremento constatado, cabe destacar la presencia de densidades medias y altas a más de 25 metros de profundidad, hecho que se puede explicar por la elevada transparencia de las aguas del Archipiélago de Cabrera.

Como conclusión se establece que la densidad de las praderas muestreadas en el Archipiélago de Cabrera es elevada, ya que la mayoría se sitúa, según la clasificación de Giraud (1977), entre los rangos de alta y muy alta densidad (400 - > 700 haces/m<sup>2</sup>).

A pesar de la reducción de haces con la profundidad, se observa que las praderas de *Posidonia oceanica* en las zonas más profundas (> 25 metros), alcanzan densidades elevadas, que las sitúan en un rango que varía entre praderas con densidad media y densidad alta. Esta característica se debe a la elevada oligotrofia de las aguas del Archipiélago de Cabrera, lo que permite la penetración de luz con intensidad suficiente para el desarrollo de praderas con densidades elevadas a más de 25 metros de profundidad. Por otro lado, la densidad más baja se ha observado en dos zonas muy resguardadas: dentro de la Bahía del Puerto de Cabrera (zona de “Uso Especial”), donde está permitido el fondeo de embarcaciones, y en cala de Santa María, zona de “Reserva marina”. Sin embargo, relacionar la presencia de embarcaciones con la menor densidad de la pradera resulta muy complicado, ya que además de la intensidad de la luz, intervienen otros factores que afectan a este parámetro, como el hidrodinamismo (que determina el tiempo de residencia de las aguas).

### DENSIDAD GLOBAL

La gran mayoría de las praderas muestreadas se encuentran en un estado de conservación Favorable – normal. Las valoraciones Desfavorables - inadecuadas bajas o muy bajas se dan en gran parte de las praderas profundas y, puntualmente, en algunas praderas someras entorno a los -10 m.

Los valores de la densidad global (DG) obtenidos indican que la gran mayoría de las praderas muestreadas se encuentran en un estado de conservación Favorable - normal. Las valoraciones Desfavorables - inadecuadas bajas o muy bajas se han observado en gran

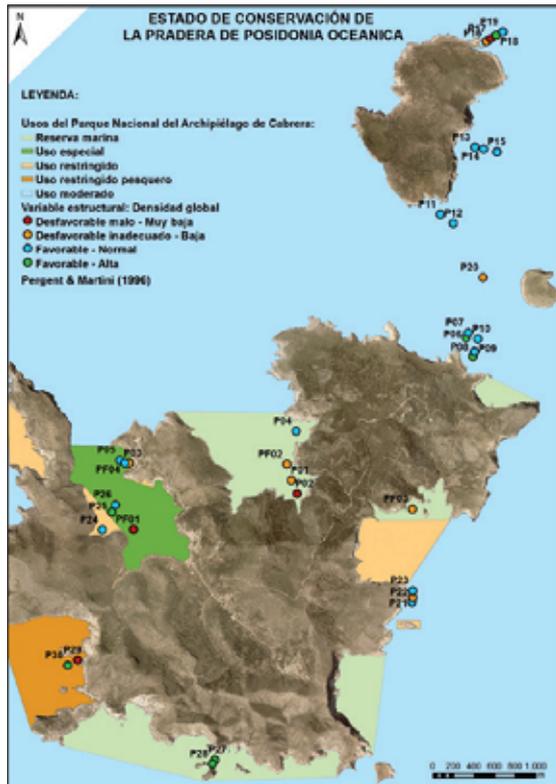


Figura 5. Distribución espacial de los valores de densidad global

parte de las praderas profundas y, puntualmente, en algunas praderas someras, en torno a los 10 m de fondo. En todos estos casos, se observa que las valoraciones Desfavorables inadecuadas bajas o muy bajas dependen de factores naturales, como la elevada fragmentación del fondo rocoso o la presencia de sustrato de granulometría fina.

### DESENTERRAMIENTO

La mayoría de estaciones obtienen valores medios positivos de desenterramiento, ya que las lígulas quedan por encima del sustrato. La totalidad de las estaciones, obtienen una clasificación Favorable para la variable desenterramiento, lo que indica que las praderas del Archipiélago de Cabrera no están sometidas a fenómenos erosivos, que en general se deben a des-

equilibrios sedimentarios (Ruiz et al. 2006) o a fondeos incontrolados (Francour, 1999). Como excepción se encuentra la estación P26, que alcanza un valor medio de desenterramiento positivo de 6 cm. Dicha estación está situada en la zona 9, frente a “Punta de s’Espaumador”, y el sustrato adyacente es de naturaleza fangosa.

### PRESENCIA DE ESPECIES INVASORAS: *Caulerpa spp.*

#### *Y Lophocladia lallemandii*

En 30 de las 34 estaciones de muestreo hay presencia de *Caulerpa racemosa* y/o *Lophocladia lallemandii*. Las excepciones corresponden a las estaciones P28 (en s’Estell de’en Terra,, P30 (en “Sa Punta des Coll Roig”) y P01 y P02 (en “Cala de Santa María”). Destacar que tres (P01, P02 y P28) de las estaciones donde hay ausencia de algas invasoras se encuentran en zonas de “reserva marina”. Estos resultados indican que la regulación de las actividades llevadas a cabo en zonas de reserva marina parece que limitan la expansión de las algas invasoras en las praderas de *Posidonia oceanica*.

En todas las estaciones con presencia de algas invasoras, se puede decir que *Caulerpa racemosa* no se detecta entre los rizomas de la pradera y que *Lophocladia lallemandii* únicamente se ha visto como epíteto en los rizomas y en las hojas de los bordes de los claros de las praderas.



Además, se detecta en varias estaciones *Caulerpa prolifera*. Aunque es una especie no exótica, por sus requerimientos puede competir en espacio con la pradera de *Posidonia oceanica* y acelerar su declive. Esta especie se ha encontrado en algunas estaciones situadas al este de la “Illa des Conills” (estaciones P18, P15, y P12), al oeste de “Illa Rodona” (en P20), en el interior de la bahía del puerto, en “Es Racó des Castell”, (P05) y en “Punta de S’Espaumador” (P24).

## INDICADORES FENOLÓGICOS

Para el estudio de los indicadores fenológicos, se tiene en consideración el estudio realizado en el Archipiélago de Cabrera por Terrados & Medina Pons (2008), haciendo coincidir algunas de las estaciones muestreadas con las estaciones de dicho estudio. A continuación, se muestran las tablas de resultados de las medidas tomadas en laboratorio.

### 1 – ESTACIONES PERMANENTES

Tabla 9. Valores promedio de parámetros fenológicos en las estaciones permanentes

	PF01 (valores promedio)	PF02 (valores promedio)	PF03 (valores promedio)	PF04 (valores promedio)
Nº de hojas por haz	7,0	6,3	6,0	5,7
Longitud hojas (cm)	30,7	34,9	32,0	49,9
Anchura hojas (mm)	8,42	9,53	9,07	9,72
Peso seco hojas (g) por haz	0,6573	0,6788	0,8477	0,9423
Peso seco epífitos (g) por haz	0,0556	0,0160	0,0369	0,0066
% epífitos por haz	9,1	2,5	4,9	0,6

En líneas generales, los valores más elevados en cuanto a longitud, anchura y biomasa de las hojas, corresponden a la estación PF04, y los más bajos a la estación PF01. Sin embargo, se produce la situación inversa respecto al número medio de hojas por haz. PF01 alcanza un mayor número medio de hojas por haz, aunque es de tan sólo 1,3 hojas más que el valor mínimo.

En general, los resultados de las estaciones permanentes confirman que la profundidad y la consiguiente reducción de la intensidad luminosa, están entre los factores más importantes que determinan características como la densidad fundamental y algunos parámetros fenológicos (longitud y peso promedio de las hojas).



## 2- ESTACIONES GENERALES

En 8 de las estaciones generales (sin carácter permanente), se extrae un haz junto con su rizoma ortótropo, para su posterior análisis fenológico y lepidocronológico en laboratorio.

Respecto a la longitud de las hojas, el valor medio máximo se obtiene en la estación P03 (2,4 m), siendo de 55 cm, y el mínimo en la estación P04 (16 m), de 18 cm. Por último, el número de hojas máximo en los haces muestreados es de 10 hojas en la estación P01 (11,3 m) y el mínimo se contabiliza en la estación P05 (30,2 m), con 5 hojas. Estos valores se consideran habituales, siendo los rangos de referencia de entre 20 y 100 cm de longitud de hoja, y un número de hojas de entre 4 y 8.

Concluir que los resultados del estudio fenológico indican que las variables medidas se encuentran dentro de los rangos observados en estudios anteriores (Terrados & Medina Pons, 2008), y que dependen bastante de la época de muestreo.

La evolución de las tasas de crecimiento de los rizomas ortótropos no permite observar grandes cambios en los ciclos analizados. La limitada variabilidad de este parámetro se puede asociar a la eficiencia de las medidas de protección del Parque Nacional, hecho ya observado en estudios anteriores por Marbá et al. (2002).

### LEPIDOCRONOLOGÍA

Los resultados del estudio lepidocronológico indican que, en líneas generales, se mantiene constante el espesor de las lígulas desde años anteriores, lo que supone una variabilidad limitada de la tasa de crecimiento de los rizomas ortótropos en el ciclo analizado.

## 3.2 CARACTERIZACIÓN DE LA POBLACIÓN DE PINNA NOBILIS

### 3.2.1 Metodología

#### TRABAJOS DE CAMPO

Las estaciones de muestreo de *Pinna nobilis* (nacra) son las mismas estaciones empleadas para estudiar las praderas de *Posidonia oceanica*. En las 30 estaciones generales (P), se recorren 4 transectos de 10 metros de largo y de 1 metro de anchura a cada lado del transecto. En las 4 estaciones permanentes (PF), la longitud de los transectos es de 20 metros.



## TRABAJOS DE LABORATORIO Y GABINETE

El tamaño de la población (N) se establece, según Williams (2002), mediante la fórmula clásica de Lincoln-Petersen:

**$N=n1*n2/m$** , donde:

- n1 son los individuos encontrados y marcados en el primer recorrido
- n2 son los individuos encontrados en el segundo recorrido
- m son los individuos encontrados durante el segundo recorrido y que estaban ya marcados.

Por último, el número obtenido se divide por la superficie de cada recorrido para obtener la densidad de nacras por metro cuadrado. Sin embargo, ya que la densidad de nacras se expresa como número de individuos por cada 100 m<sup>2</sup> (García - March, 2005; Díaz-Almela & Marbá, 2009), este número se multiplica por 100.



Imagen 1. Ejemplar de *Pinna nobilis*

### 3.2.2 Resultados y conclusiones

El total de superficie muestreada en los 4 recorridos es de 80 m<sup>2</sup> en el caso de las estaciones generales (P) y de 120 m<sup>2</sup> en las estaciones permanentes (PF).



Tabla 10. Distribución de los ejemplares dentro de cada transecto de cobertura de *Posidonia* (Tn). La columna E es la suma de los ejemplares detectados a lo largo de los recorridos de los transectos y de los ejemplares observados en la estación, pero fuera de la superficie de muestreo específica. No se han tenido en cuenta 2 ejemplares muertos en P06 y P25.

		T1	T2	T3	T4	E			T1	T2	T3	T4	E	
Zona 1	P16	1	-	-	-	1	Zona 6	P22	-	-	-	-	0	
	P17	-	-	-	-	1		P23	-	-	-	-	1	
	P18	-	-	-	-	0		Zona 7	P27	-	-	-	-	0
	P19	-	-	-	-	0			P28	-	-	-	-	1
Zona 2	P13	2	-	-	1	3	Zona 8	P29	-	-	-	-	1	
	P14	-	-	-	-	1		P30	-	-	-	-	1	
	P15	-	-	-	-	1		Zona 9	PF01	1	1	-	-	3
P11	1	-	-	-	2	P24	-		-	-	-	2		
P12	-	-	-	-	1	P25	-		-	-	-	2		
Zona 4	P20	-	-	-	-	0	P26		1	-	-	-	3	
Zona 5	P06	-	-	-	-	3	Zona 10	PF04	-	-	1	-	5	
	P07	-	-	-	-	4		P03	-	-	-	-	0	
	P08	-	-	-	-	3		P05	-	-	-	-	0	
	P09	-	2	1	-	5	Zona 11	PF02	-	-	-	-	1	
	P10	-	1	-	-	4		P01	-	-	-	-	3	
Zona 6	PF03	-	-	-	-	0		P02	-	-	-	-	0	
	P21	-	-	-	-	0	P04	-	-	-	-	1		

La distribución de las nacras en una pradera de *Posidonia oceanica* suele ser contagiosa y su densidad poblacional se encuentra entre 0 y 5 individuos / m<sup>2</sup>, siendo lo más común encontrar menos de 10 individuos por cada 100 m<sup>2</sup> (García-March, 2005).

Los valores de densidad de *Pinna nobilis* obtenidos (0,83 - 3,75 nacras/100 m<sup>2</sup>) resultan bajos cuando son comparados con otros estudios previos, que describen para el Archipiélago de Cabrera densidades de hasta 15 ejemplares por 100 m<sup>2</sup> (Díaz-Almela & Marbá, 2009). No obstante, los resultados del presente trabajo no son plenamente comparables con este último estudio, debido a diferencias en la metodología empleada para el censo. El área de muestreo aplicado en este estudio, para cada estación (80 m<sup>2</sup>), es menos de la mitad de la superficie mínima recomendada en el protocolo descrito por Díaz-Almela & Marbá (3 transectos de 30 metros de largo y 2 metros de ancho, que se corresponden con 180 m<sup>2</sup>), lo que implica que se pueda haber incurrido en una subestimación de las poblaciones.

A pesar de esto, se observa una tendencia de aumento de la densidad de nacras donde la densidad de haces de la pradera alcanza los valores más elevados, como ya había sido observado por otros autores para esta especie (Hendricks et al. 2008). Por otro lado, la disminución de la densidad de nacras con el aumento de la profundidad, se podría relacionar con la disminución de la densidad de haces de *Posidonia oceanica* en las praderas profundas.



## 3.3 CARACTERIZACIÓN DE LA COMUNIDAD DE PRECORALÍGENO Y CORALÍGENO

### 3.3.1 Metodología

El precoralígeno y el coralígeno son dos comunidades propias de las zonas rocosas del infralitoral inferior y del circalitoral. En el archipiélago balear, en general, aparecen por debajo de los 25 m de profundidad. Estas comunidades pueden aparecer como enclaves puntuales, a menor profundidad, en zonas que se caracterizan por la escasa iluminación, debido al elevado grado de turbidez del agua o a localizarse en la entrada de las cuevas (Ballesteros, 2006).

### TRABAJOS DE CAMPO Y GABINETE

En las estaciones de muestreo, además de tomar fotos para su posterior análisis en gabinete, se registran los siguientes datos:

- Estructura general del coralígeno. Profundidad de los límites superior e inferior, poblamientos indicadores asociados (gorgonias, cistoseiras, etc.) y porosidad (cavidades y su talla).
- Diversidad de los poblamientos asociados. Estratificación, diversidad de especies crípticas, etc.
- Presencia de perturbaciones. Físicas y/o biológicas y/o ambientales (invasoras, bleaching, impactos derivados del buceo, etc.)
- Estado de conservación de las gorgonias.

Los trabajos de gabinete consisten en el procesado de las fotos tomadas durante la inspección, así como la posterior descripción de la comunidad o facies del coralígeno encontrada.

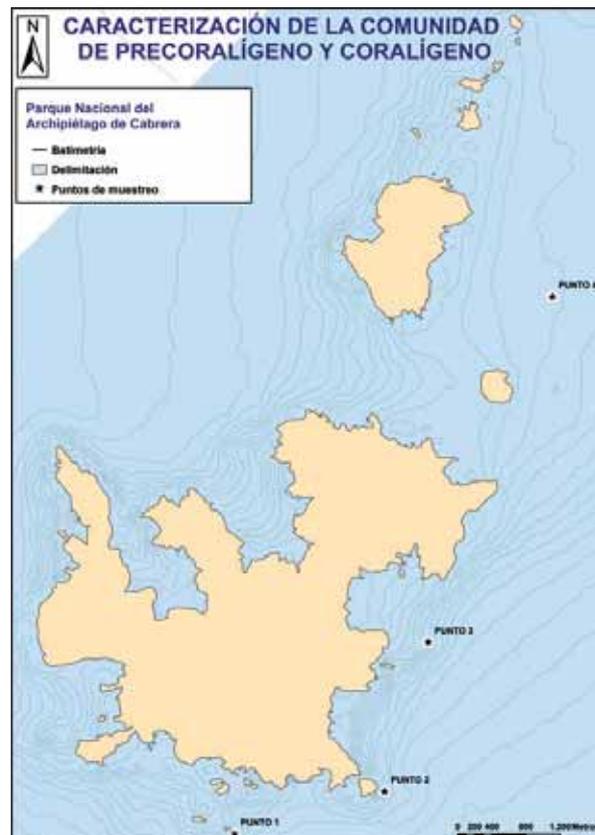


Figura 6. Estaciones de muestreo de precoralígeno y coralígeno



### 3.3.2 Resultados y conclusiones



Imagen 2. Colonias de *Paramuricea clavata* epifitadas

La biocenosis de coralígeno se ha encontrado en dos de los cuatro puntos estudiados, en Punto 1 “Estell de Fora” y en el Punto 2 “La Imperial”.

En el punto 1 (“Estell de Fora”), el coralígeno, que se observa a partir de los 50 metros de profundidad, se caracteriza por la limitada estratificación, ya que está ausente el estrato erecto, normalmente constituido por gorgonias y grandes poríferos. En este punto se ha detectado la presencia, en algunos casos abundante, de *Caulerpa racemosa* y *Lophocladia lallemandii*, lo que se puede considerar como la perturbación más importante.

En el punto 2 (“La Imperial”), se observa la biocenosis de coralígeno a partir de los 45 metros de profundidad con la presencia de facies de *Paramuricea clavata* con un buen estado de conservación al no detectarse colonias muertas o un elevado grado de epifitismo. *Paramuricea clavata* es considerada como una especie estructurante del coralígeno con crecimiento muy lento, tasas de reclutamiento bajas y limitado potencial de expansión. Se observa presencia de *Caulerpa racemosa* de moderada densidad en las facies de *Paramuricea clavata*. Esta presencia puede constituir un factor que podría llegar a determinar una regresión de esta especie.

En el punto 3 (“Ses Bledes”), no se ha podido definir exactamente la biocenosis presente, debido al denso recubrimiento de dos especies de algas invasoras (*Lophocladia lallemandii* y, en mayor medida, *Caulerpa racemosa*). La presencia de algunas especies algales erectas y no calcáreas (*Halimeda tuna* y *Udotea petiolata*), indicaría que se trata de una comunidad alterada de precoralígeno.



Imagen 3. *Caulerpa racemosa* y *Caulerpa prolifera* con el alga roja *Vidalia volubilis*



“Isla Conejera”, es el punto 4 y se caracteriza por la abundante presencia del alga roja *Vidalia volubilis*, que ocupa las zonas detríticas situadas entre zonas rocosas. Estas rocas, en zonas donde la atenuación de la luz es menor, presentan especies típicas del precoralígeno, como el alga verde *Udotea petiolata*, mientras que en las más umbrías presentan elementos propios del coralígeno, como las esponjas *Spirastrella cunctatrix* e *Ircinia sp.* y el briozoo *Myriapora truncata*.

### 3.4 CARACTERIZACIÓN DE LAS COMUNIDADES ÍCTICAS: CENSOS VISUALES

#### 3.4.1 Metodología

El estudio de la ictiofauna litoral asociada a los sustratos rocosos del Archipiélago de Cabrera, tiene como objetivo prioritario analizar la estructura de la comunidad íctica en función de la actividad de pesca, en las zonas de uso restringido y de reserva integral.

#### TRABAJOS DE CAMPO

Para el estudio del poblamiento ictiológico se utiliza la técnica de censos visuales con buceo autónomo propuesta por Harmelin-Vivien et al. (1985). Se establecen 10 zonas de muestreo, donde se realizan un total de 48 censos entre los 15 y 25 metros de profundidad.

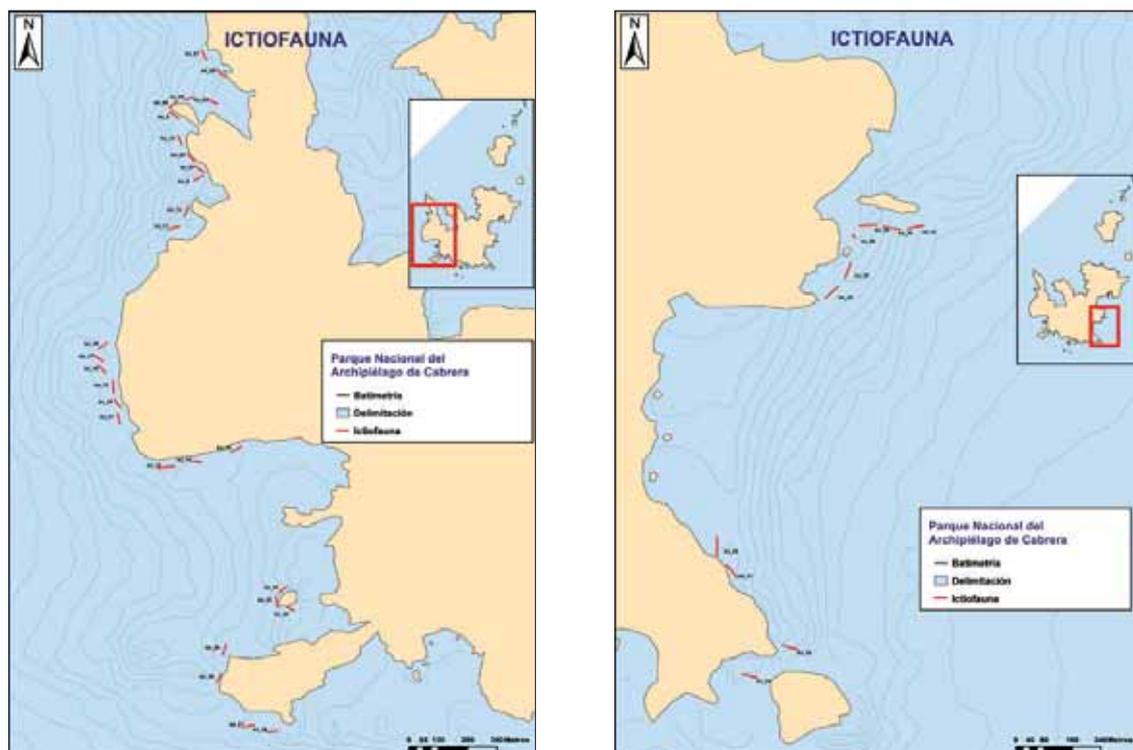


Figura 7. Localización de las estaciones de muestreo de ictiofauna

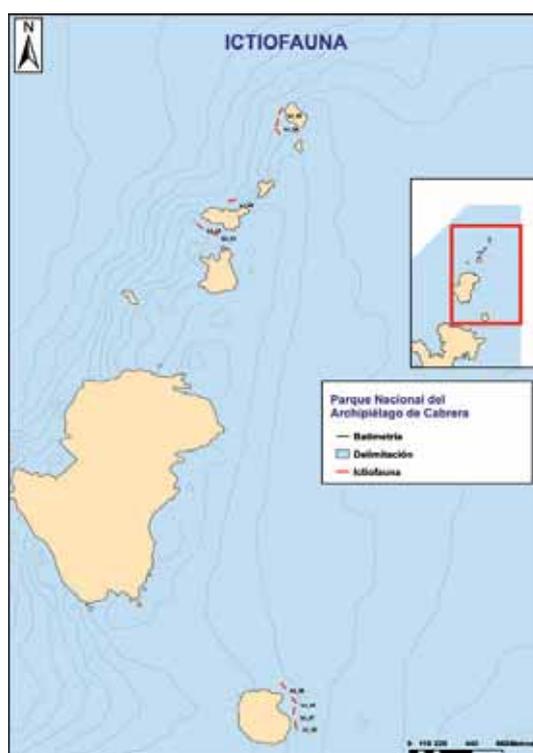


Figura 8. Localización de las estaciones de muestreo de ictiofauna

Cada censo consiste en un recorrido a lo largo del cual dos buceadores censan y determinan la talla de las especies indicadoras de efecto reserva y/o interés comercial, dentro de un espacio de 250m<sup>2</sup> (García-Rubies, 1997). Se presta especial atención a las especies que constituyen las principales capturas de la flota pesquera así como otras especies de interés comercial.

La longitud del transecto se determina mediante la liberación de una cinta métrica enrollable de 50 m de longitud que uno de los buceadores lleva colgando de su equipo, después de haber asegurado el extremo inicial en el fondo. De esta manera, la cinta se desarrolla a medida que el buceador se desplaza a lo largo del transecto. La anchura del transecto (5 m) se establece de manera visual.

Las anotaciones realizadas por los buceadores recogen la información referente a la especie, número de ejemplares y talla de los mismos.

## TRABAJOS DE LABORATORIO Y GABINETE

Es necesario transformar la tabla de tallas y abundancias en una tabla de biomasa. Para la conversión de la talla en biomasa se utilizan los parámetros de las regresiones de las especies de peces litorales de Baleares descritas por Morey et al. (2003).

A partir de las matrices de abundancias y biomasa, se calculan los principales descriptores de la comunidad íctica:

- Composición específica
- Riqueza específica (S)
- Diversidad (H')
- Abundancia media
- Biomasa media
- Talla máxima y media de las especies objetivos (relacionadas con la actividad pesquera) más importantes.



Para cada uno de estos parámetros se realiza un análisis de varianza a una vía (ANOVA), con el fin de comprobar la existencia de diferencias significativas entre las diferentes zonas. Previamente al análisis, se comprueba la homogeneidad de las varianzas mediante el test de homocedasticidad. En caso de heterogeneidad de las mismas, se transforman los datos como  $\ln x+1$  y, posteriormente y cuando los resultados del ANOVA indican diferencias significativas entre zonas, se realizan las comparaciones pairwise mediante el test de Student Newman para la comparación individual de las medias (Zar, 1984).

Con el fin de identificar las diferencias entre zonas con un diferente grado de gestión, se realiza un análisis de escala multidimensional no métrico (nMDS) para los parámetros abundancia y biomasa mediante el cálculo de la matriz de similaridad, utilizando el índice de similitud de Bray–Curtis. En el análisis se consideran únicamente las especies con frecuencia de aparición mayor o igual al 10% del total de réplicas. Posteriormente, se lleva a cabo un análisis de porcentaje de similaridad (SIMPER) con el objeto de identificar las especies que más contribuyen a la segregación entre zonas de reserva integral (RI) y uso restringido (UR).

### 3.4.2 Resultados y conclusiones

Los resultados del estudio sobre la comunidad íctica realizado en las aguas del Archipiélago de Cabrera indica que, desde el punto de vista de la abundancia, los espáridos (básicamente *Diplodus vulgaris* y *Diplodus sargus*) y, en menor medida, los serránidos (*Serranus scriba* y *Serranus cabrilla*), son las especies más importantes.

El análisis de la biomasa indica una clara dominancia del mero *Epinephelus marginatus* (Serranidae), que alcanza casi el 30% del total de la biomasa censada, seguido por la barracuda o espetón *S. sphyraena* y el sargo *D. sargus*, que alcanzan porcentajes mayores del 10% del total de la biomasa.

El análisis de los principales descriptores estructurales (riqueza específica, abundancia, y biomasa) alcanzan los valores más bajos en la zona de reserva integral de “Es Penyal Roig”, lo que indicaría la presencia en esta zona de una comunidad íctica poco estructurada. Esta situación se podría producir, en parte, por la baja complejidad del hábitat (parámetros como rugosidad y porcentaje de bloque resultan muy bajos en esta zona).



Imagen 4. Elaboración de censos visuales



Imagen 5. Elaboración de censos visuales

Por otro lado, la diversidad específica (expresada mediante el Índice de Shannon), presenta los valores más bajos en esta zona, si bien las diferencias con el resto de las zonas estudiadas son poco significativas.

El análisis de los descriptores estructurales permite observar los valores más elevados en las zonas de uso restringido. Aunque estas diferencias no son estadísticamente

significativas, se pueden interpretar como una tendencia asociada a la mayor complejidad del hábitat de estas zonas. Finalmente, cabe destacar la elevada variabilidad de algunos parámetros, que indica una cierta heterogeneidad entre los censos visuales llevados a cabo en las mismas zonas, asociada en parte a la complejidad estructural del hábitat.

El análisis de los parámetros de abundancia y biomasa de los grandes grupos (serránidos, espáridos y especies objetivo de pesca) permite observar que los valores más elevados se dan en la zona de uso restringido de “Sa Foradada” y en la reserva integral de “La Imperial”. En general, para ningún grupo se detecta una clara correlación entre el tipo de uso (reserva integral y uso restringido) y la abundancia o la biomasa. Por otro lado, sólo en el caso de la biomasa de los grandes serránidos y su relación con la pendiente del fondo marino, se observa una correlación significativa, que indica que especies como *Epinephelus marginatus*, de grandes dimensiones, prefieren los fondos con mayor pendiente (y con exposición a un mayor hidrodinamismo), lo que confirma en parte los resultados de otro estudio llevado a cabo en el Archipiélago de Cabrera (Reñones et al. 1998).

Los resultados del análisis multivariante realizado para los parámetros de abundancia y biomasa no muestran diferencias evidentes entre las zonas de diferente uso (reserva integral y uso restringido) lo que se puede explicar debido a las similitudes estructurales entre las comunidades ícticas que las caracterizan. Estos datos confirman los resultados del anterior estudio llevado a cabo durante el año 2008 por el Centre Balear de Biología Aplicada. Los resultados del análisis multivariante también evidencian la elevada heterogeneidad de los censos visuales realizados en los transectos de las mismas zonas.

El conjunto de especies que caracterizan la comunidad íctica del Parque Nacional es similar entre las zonas con uso diferente, tratándose de especies asociadas a fondos rocosos con una comunidad algal fotófila y a fondos rocosos próximos a praderas de



fanerógamas. Cabe destacar, por su elevada frecuencia de aparición en los censos visuales, las especies *Serranus scriba*, *Serranus cabrilla*, *Epinephelus marginatus* y *Diplodus vulgaris*. La comparación de los valores de abundancia y biomasa de estas especies con los de estudios anteriores, indica una gran similitud con los obtenidos por Reñones et al. (1998), aunque resultan más bajos que los del estudio realizado en el año 2008 por el Centre Balear de Biología Aplicada. Estas diferencias, indicarían que la comunidad íctica del Archipiélago de Cabrera está sometida, como era de esperar, a variaciones interanuales que se pueden adscribir, entre otros factores, a las variaciones interanuales de las tasas de reclutamiento de las especies que caracterizan las comunidades ícticas, y que a su vez dependen de factores bióticos (disponibilidad de alimento y predación) y abióticos (temperatura, estratificación, corrientes) (Wooster & Baley, 1989).

Los parámetros que caracterizan las poblaciones de muchas de estas especies características (talla media, talla máxima, abundancia, biomasa, distribución de tallas) tienen tendencia a ser más elevados en las zonas de uso restringido cuando son comparadas con las zonas de reserva integral. Sin embargo, cabe destacar que estos valores sólo se tienen que interpretar como tendencias, ya que el análisis estadístico no ha detectado diferencias significativas entre uso restringido y reserva integral. Esta tendencia, que confirma los resultados del muestreo llevado a cabo en el verano del año 2008, se puede deber a la mayor complejidad del hábitat en las zonas de uso restringido.

En general, los resultados de este estudio no permiten discriminar estadísticamente las zonas de uso restringido de las zonas de reserva integral. Este hecho se puede explicar por la mayor complejidad del hábitat en las zonas de uso restringido, que podría compensar, en parte, los efectos de la pesca artesanal permitida en dichas zonas. En el caso del Archipiélago de Cabrera, cabe destacar la mayor exposición a los factores hidrodinámicos como oleaje y corrientes de muchas zonas de uso restringido, donde está permitida la pesca artesanal por parte de un número limitado de barcos.

### **3.5 CARACTERIZACIÓN DEL HÁBITAT: RUGOSIDAD Y PENDIENTE DE FONDO**

#### **3.5.1 Metodología**

La complejidad del hábitat, junto con la profundidad e hidrodinamismo, juega un papel fundamental a la hora de determinar las características de la comunidad íctica. En general, se observa que, a mayor heterogeneidad de los fondos, la comunidad íctica asociada se encuentra mejor estructurada (Luckhurst & Lukhurst, 1978).



## TRABAJOS DE CAMPO

En la totalidad de los transectos realizados para la caracterización de las comunidades ícticas donde predominan los fondos de roca, se toman datos relacionados con el tipo de hábitat sobre el que viven dichas comunidades, con el fin de conocer el grado de homogeneidad espacial que presentan los hábitats muestreados.

Se determina de manera semicuantitativa la **rugosidad** del fondo, asignando un índice entre 1 (rugosidad mínima o de un fondo rocoso plano y sin grietas) y 4 (rugosidad máxima representada por un predominio de sustrato muy fracturado y bloques rocosos de más de dos metros de altura). En la estimación de este parámetro se considera la disposición, número y tamaño de bloques rocosos, así como la disponibilidad de refugios de distintos tamaños.

Del mismo modo se determina la **pendiente**, donde 1 es un fondo plano y 4 es una pared vertical. Además, se anota la heterogeneidad del hábitat del transecto, como **porcentaje de bloques**, y también se toman algunas fotos de los transectos realizados.

## TRABAJOS DE LABORATORIO Y GABINETE

Con el fin de comprobar la heterogeneidad del fondo, se analizan mediante el test ANOVA los datos de rugosidad, pendiente y porcentaje de bloques, con el objeto de detectar posibles diferencias entre las zonas de muestreo. Previo al análisis, se analiza la homogeneidad de las varianzas mediante el test de homocedasticidad. En caso de heterogeneidad de las mismas, se transforman los datos como  $\ln x + 1$ .

### 3.5.2 Resultados y conclusiones

La complejidad del hábitat se encuentra entre los factores más importantes que determinan parámetros estructurales como abundancia, diversidad y riqueza específica de las comunidades ícticas (Syms et al. 2000; Yaeger et al. 2011).

Los resultados del estudio sobre las características del hábitat en el Archipiélago de Cabrera, indican una mayor complejidad en el conjunto de las zonas con uso restringido, con la excepción de la pendiente, que ha resultado ser homogénea en la comparación entre las diferentes zonas. Así mismo, cabe indicar que los elevados índices de rugosidad observados no se correlacionan con la proporción de bloques rocosos. La mayor rugosidad se debe a desniveles y grietas sobre roca homogénea, dentro de los límites de los transectos.

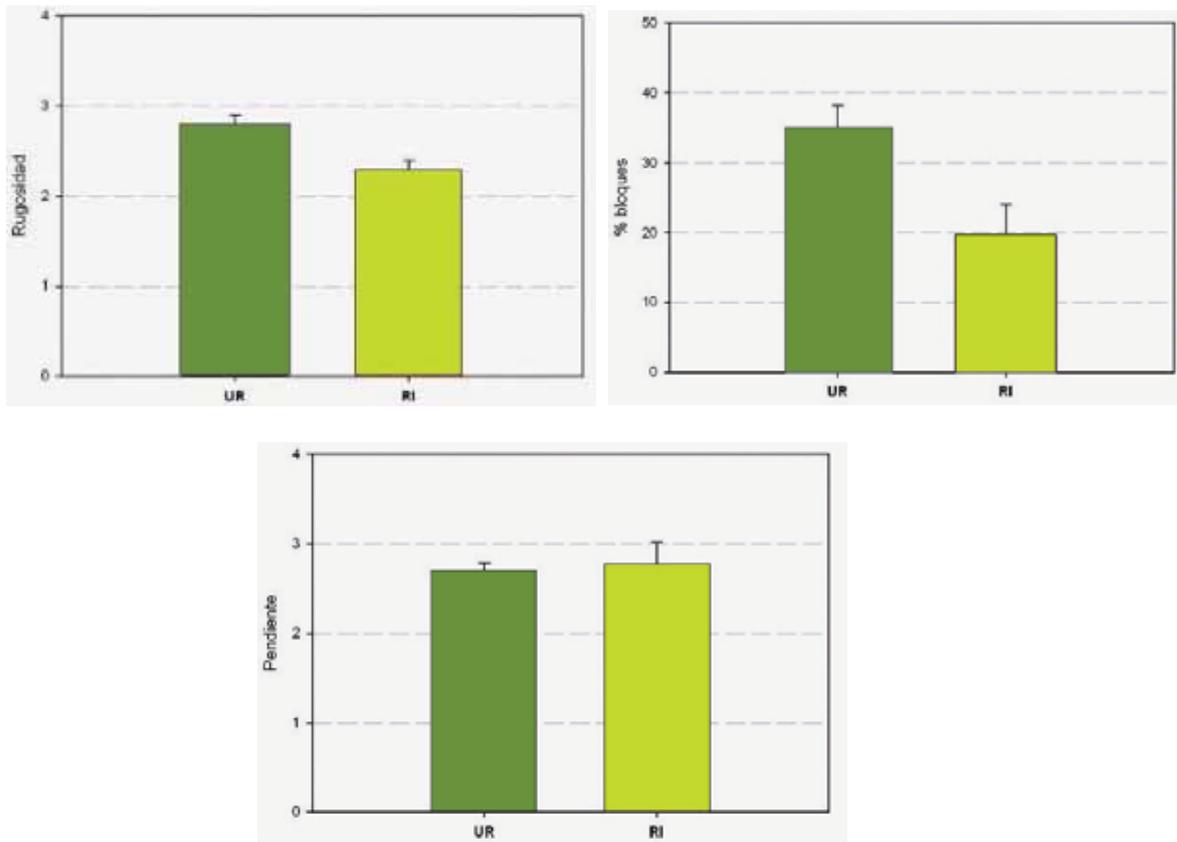


Figura 9. Comparación de la rugosidad, % de bloques y pendiente entre las zonas de uso restringido (UR) y reserva integral (RI)

Los resultados del presente estudio indican una limitada correlación entre las características del hábitat y la estructura de la comunidad íctica de Cabrera. Sin embargo, la existencia de una mayor biomasa en la zona de uso restringido, concuerda con la mayor rugosidad respecto a la zona de reserva integral. Probablemente, la interacción de un mayor hidrodinamismo con la rugosidad, provoca los resultados obtenidos en la caracterización de las comunidades ícticas.

En resumen, estos resultados confirman que, en el caso del Archipiélago de Cabrera, las condiciones hidrodinámicas, respecto a los diferentes modelos de gestión, tienen posiblemente un mayor peso a la hora de determinar la composición de la comunidad íctica asociada.



## 3.6 CARACTERIZACIÓN DE LAS COMUNIDADES BENTÓNICAS DE CAVIDADES O CUEVAS SEMIOSCURAS: FOTOANÁLISIS

### 3.6.1 Metodología

La peculiaridad de estas comunidades radica en la variación cualitativa y cuantitativa de los poblamientos vegetales y animales, en relación al gradiente de luz que se genera entre el exterior y la parte más interna de las cuevas.

Se pretende analizar la composición de los poblamientos animales y vegetales presentes en esta comunidad. Además, se quiere comprobar si el buceo recreativo, permitido en algunas zonas del archipiélago, tiene efectos negativos sobre *Myriapora truncata*, un briozoo característico de estas comunidades.

#### TRABAJOS DE CAMPO

Para el estudio de comunidades bentónicas en cavidades o cuevas semioscuras, se establece un total de 8 estaciones de muestreo, 4 sitios donde está permitido el buceo y 4 donde no se permite dicha actividad. En cada una de las estaciones se toma un total de 20 fotografías, con su correspondiente análisis posterior en gabinete. Para facilitar dicho análisis, se seleccionan 20 áreas, donde se superpone (sin llegar a apoyar en la pared) un marco de PVC de 40 x 40 cm. También se registra la presencia de perturbaciones físicas y/o biológicas y/o ambientales (invasoras, bleaching, impactos derivados del buceo, etc.).



Figura 10. Distribución de los puntos de muestreo



Por último, en 5 puntos escogidos al azar de cada estación, se toman medidas de la altura de 6 colonias del briozoo *Myriapora truncata*, especie seleccionada como indicador por su sensibilidad a la actividad del buceo, mediante un metro de PVC con subdivisiones milimétricas. Además de estas medidas, se toma nota del estado de las colonias en cuanto a erosión, inclinación, fractura, etc.



Imagen 6. Medidas de *Myriapora truncata*.



Imagen 7. Anotaciones sobre perturbaciones encontradas

## TRABAJOS DE LABORATORIO Y GABINETE

Para el análisis de las fotografías se superpone una cuadrícula de 20 x 20 celdas sobre cada una de las imágenes, con la finalidad de cuantificar el porcentaje de cobertura de los distintos morfotipos algales y especies bentónicas. El programa de análisis fotográfico empleado es el Zoner Photo Studio 14.

En cada una de las estaciones muestreadas se analizan los siguientes datos:

- Tipo de sustrato
- Especies dominantes
- Forma de la comunidad
- Presencia de especies invasoras



Figura 11. Fotoanálisis

Para la especie potencialmente indicadora de actividad de buceo, el briozoo *Myriapora truncata*, se lleva a cabo un análisis de varianza a una vía (factor estación) con el fin de determinar la existencia de diferencias significativas entre las estaciones analizadas. Posteriormente se comparan las estaciones donde no está permitido el buceo con las estaciones donde sí lo está, mediante el t-test.



### 3.6.2 Resultados y conclusiones

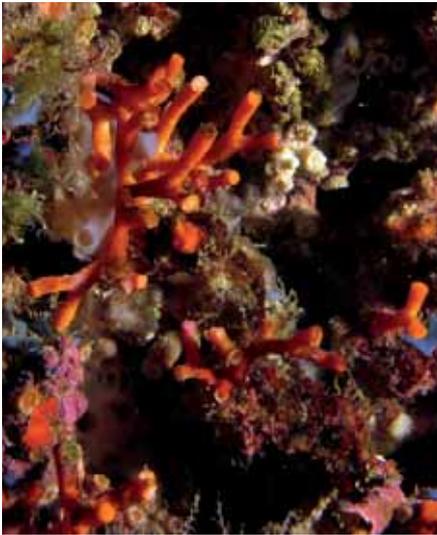


Imagen 8. Ejemplar de *Myriapora truncata*

Todas las estaciones de muestreo se sitúan sobre fondo rocoso, entre los 5 y los 11 metros de profundidad, con una comunidad de algas esciáfilas fundamentalmente rojas y de morfología incrustante y erecta.

La distribución de los porcentajes de superficie colonizada por los distintos grupos considerados (algas erectas, algas incrustantes, poríferos, hidrozooos, antozoos, briozoos, ascidias y equinodermos) es muy homogéneo en todas las estaciones.

Los grupos de mayor importancia en casi todas las estaciones son las algas incrustantes y los poríferos, típicos elementos esciáfilos de estas comunidades. Por otro lado, el elevado porcentaje de algas erectas en algunas estaciones se debe a la presencia masiva del alga invasora *Lophocladia lallemandii*, presente en todas las estaciones a excepción de AF01 y AF02.

Entre las algas, dominan las especies del genero *Peyssonnelia sp.*, así como *Palmophyllum crassum*. Las especies de esponjas más observadas son *Anchione sp.*, *Spirastrella cunctatrix* y *Oscarella lobularis*.

*Caulerpa racemosa* y *Lophocladia lallemandii* se localizan fundamentalmente en las proximidades de los límites de las cavidades o cuevas, donde la incidencia de luz es mayor, o sobre el lecho marino, excepto en las estaciones situadas en “Ses Bledes”, donde la presencia de *Lophocladia lallemandii* se extiende hasta el interior de la cueva.

En cuanto a las colonias del briozoo *Myriapora truncata* se puede decir que la altura promedio presenta valores muy homogéneos entre los puntos de las mismas estaciones y entre las diferentes estaciones. Únicamente la estación AF07 presenta alturas más bajas.

No se detectan diferencias aparentes en cuanto a la altura de las colonias entre las zonas autorizadas para la práctica del buceo y en las zonas libres de esta actividad.

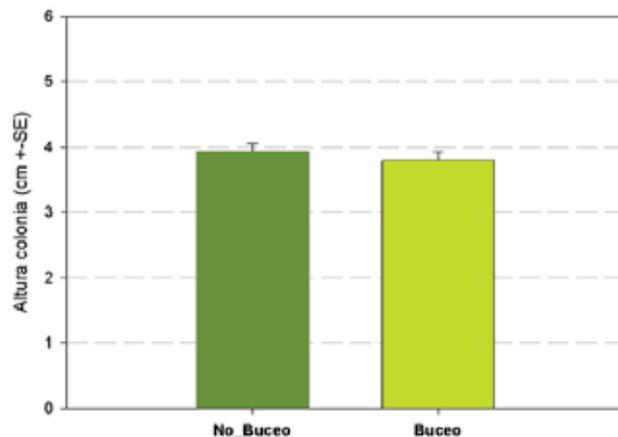


Figura 11. Comparación de la altura promedio de *Myriapora truncata* entre zonas con diferente actividad



## 3.7 SEGUIMIENTO DE ESPECIES INVASORAS

### 3.7.1 Metodología

La presencia de especies invasoras se considera como una de las perturbaciones más importantes que afectan a los ecosistemas marinos del Mediterráneo. Entre las especies invasoras algales detectadas en el Archipiélago de Cabrera, destacan, en orden de importancia por la superficie colonizada, el alga verde *Caulerpa racemosa* y las algas rojas *Lophocladia lallemandii* y *Womersleyella setacea*. Estas especies, gracias a unos mecanismos adaptativos que aumentan la capacidad de colonización de los diferentes sustratos, pueden llegar a determinar importantes alteraciones en las comunidades invadidas, con una disminución de las especies características originales, tanto animales como vegetales (Piazzini et al. 2007). El objetivo del presente estudio es cuantificar la presencia de estas 3 especies en 16 localizaciones donde previamente habían sido detectadas.

### TRABAJOS DE CAMPO

En cada estación se definen 6 tramos de profundidad, entre los 30 metros y la superficie (0-5 m, 5-10 m, 10-15 m, 15-20 m, 20-25 m y de 25-30 m), calculándose el porcentaje de recubrimiento de cada una de las especies invasoras identificadas en un cuadro de 25 x 25 cm. El cuadro se divide a su vez, en 25 cuadrados de 5 x 5 cm y se anota la presencia/ausencia de algas invasoras en cada cuadrado.

En cada estación se realizan 30 réplicas, además de la toma de fotografías representativas de la comunidad presente en la zona.

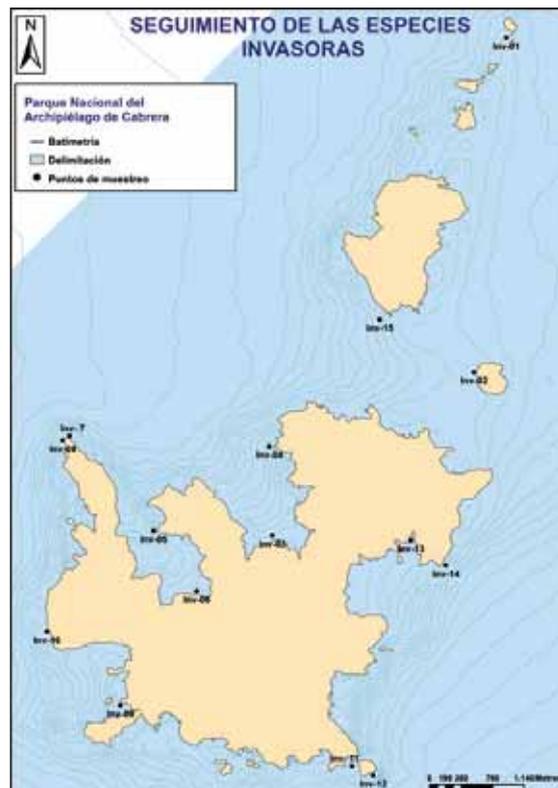


Figura 12. Puntos de muestreo de especies invasoras



Imagen 9. Muestreo de especies invasoras



## TRABAJOS DE GABINETE

Los trabajos de gabinete consisten en la elaboración de los datos para la construcción de las gráficas y el análisis de las tomas fotográficas realizadas durante el muestreo. Además, con el fin de detectar eventuales variaciones, se lleva a cabo una comparación con los datos del estudio de recubrimiento de estas tres especies de algas realizado el año 2008 (Ballesteros et al. 2009).

### 3.7.2 Resultados y conclusiones

En las 16 estaciones definidas para el estudio de comunidades de especies invasoras, se identifican únicamente dos de las tres especies objeto de estudio: el alga verde *Caulerpa racemosa* y el alga roja *Lophocladia lallemandii*.

La densidad de *Caulerpa racemosa* aumenta con la profundidad, presentando un promedio del 80% entre los 20 y 30 metros de profundidad en las estaciones objeto de estudio y una densidad del 10% en aguas someras.

Por el contrario *Lophocladia lallemandii* presenta su pico de densidad en zonas someras (promedio máximo del 40% entre 0 y 5 metros), mientras que el mínimo observado es del 20% en aguas profundas.

Considerando el conjunto de datos, *Caulerpa racemosa* presenta un porcentaje promedio de recubrimiento más elevado que *Lophocladia lallemandii*.

La ausencia de *Womersleyella setacea* en las estaciones de muestreo, indicaría que en la actualidad esta especie se encuentra en regresión en la zona, confirmando así los resultados del estudio del 2008 (Ballesteros, et al. 2009) llevado a cabo en las mismas estaciones, donde se observó una segregación de esta especie por debajo de los 30 metros.

Comparando estos resultados con los obtenidos en el seguimiento llevado a cabo por el Centre d'Estudis Avançats de Blanes (CEAB - C.S.I.C.), entre los años 2001 y 2008, donde se muestrearon los mismos puntos con la misma metodología (% de superficie recubierta por el alga invasora), se observa que la abundancia de *Lophocladia lallemandii* se mantiene más o menos constante respecto al muestreo llevado a cabo en el año 2008. Por otro lado, la abundancia de *Caulerpa racemosa* ha experimentado un notable aumento respecto a 2008, presentando los porcentajes de recubrimiento más elevados hasta el momento observados.



El conjunto de los resultados del presente estudio y la comparación con los estudios anteriores, indican que *Lophocladia lallemandii* ha alcanzado su máximo grado de colonización, encontrándose en el momento actual en una fase de estabilidad, mientras que la otra alga roja, *Womersleyella setacea*, sigue ausente en el rango batimétrico 0-30 metros. Por otro lado, *Caulerpa racemosa*, a pesar de las importantes variaciones interanuales, se encontraría actualmente en fase de expansión dentro del Parque.

## 3.8 CARACTERIZACIÓN DE FONDOS

### 3.8.1 Metodología

Los fondos del Archipiélago de Cabrera se caracterizan combinando métodos basados en imágenes obtenidas mediante vehículos operados a control remoto (R.O.V.) y cámaras remolcadas con métodos clásicos de dragado.

Los objetivos de esta caracterización son:

- Documentar visualmente las características de las comunidades más importantes y no accesibles con métodos directos, como el buceo autónomo (debido a la elevada profundidad).
- Realizar una caracterización sedimentológica y faunística de los fondos blandos.

## TRABAJOS DE CAMPO

### PROSPECCIONES VISUALES REMOTAS

Se filman transectos, de entre 50 y 100 metros de longitud, en 50 puntos situados sobre fondos someros (menos de 50 m), mediante un equipo de video remolcado. También se realizan filmaciones, a lo largo de 16 transectos de 50 metros de longitud, en fondos profundos (más de 50 m) mediante ROV.

### ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO Y CALIDAD AMBIENTAL

Para el estudio sedimentológico se toman 100 muestras distribuidas alrededor del Archipiélago de Cabrera.

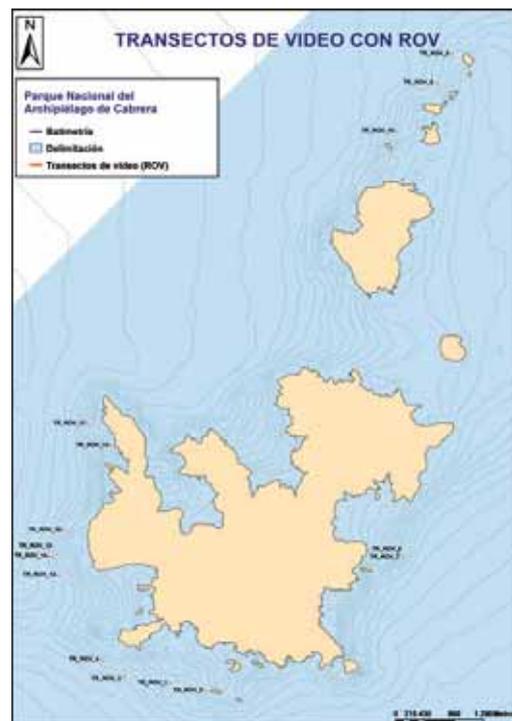


Figura 13. Localización de los transectos prospectados con R.O.V.

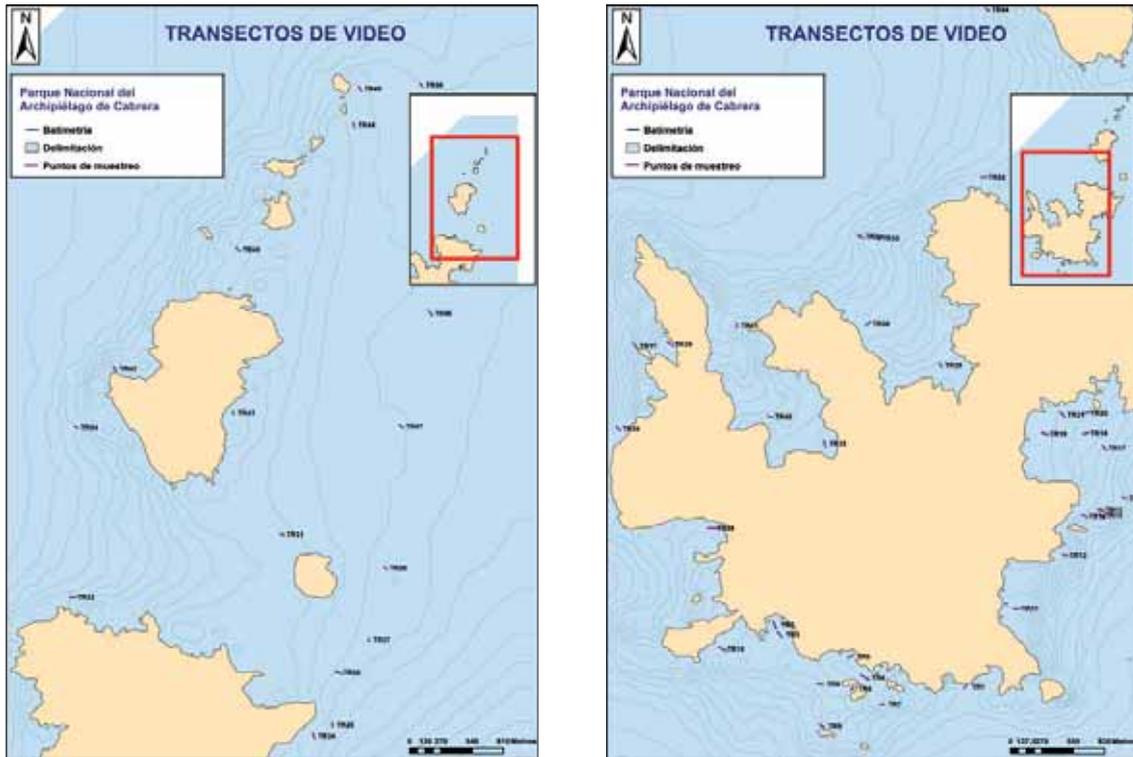


Figura 14. Localización de los transectos prospectados con video remolcado

Las muestras de sedimento son extraídas mediante una draga Van Veen, con cierre hermético para evitar la pérdida de finos. Posteriormente, las muestras son trasladadas en condiciones inalteradas al laboratorio, mediante refrigeración de las mismas y manteniéndose al abrigo de la luz en neveras.

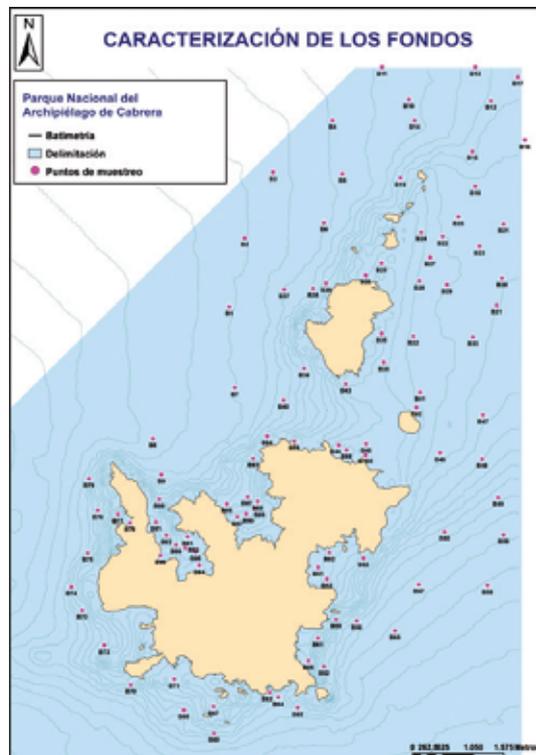


Figura 15. Localización de los puntos de muestreo de sedimento y comunidades bentónicas



## ANÁLISIS FAUNÍSTICO DEL SEDIMENTO

El muestreo de la macrofauna bentónica que se desarrolla sobre sustrato blando se lleva a cabo desde embarcación, mediante una draga tipo Van Veen con una abertura de 20 x 20 cm. Una vez en superficie, las muestras se filtran con un tamiz de 0,5 mm de luz de malla, que permite la retención de los organismos que se incluyen dentro de la macrofauna bentónica (tamaño igual o superior a 0,5 mm). Tras el tamizado, las muestras se fijan con formol al 4%, neutralizado con agua de mar.

## TRABAJOS DE LABORATORIO Y GABINETE

### PROSPECCIONES VISUALES REMOTAS

Los trabajos de gabinete consisten en visionar las filmaciones de cada transecto (cámara remolcada y ROV), con el fin de analizar el tipo de fondo y la presencia de especies características.

### ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO Y CALIDAD AMBIENTAL

Sobre las muestras de sedimento (100) se determina su granulometría y contenido de materia orgánica. Por otro lado, en 20 de las 100 estaciones, la analítica se completa con los siguientes parámetros:

- Granulometría completa
- Porcentaje de materia orgánica respecto al peso seco
- Concentración de metales pesados (cadmio, cobre, mercurio, zinc y plomo)
- Hidrocarburos totales

### ANÁLISIS FAUNÍSTICO DEL SEDIMENTO

En el laboratorio de taxonomía bentónica se procede al lavado de las muestras, a la separación de los organismos del sedimento y a su posterior clasificación hasta el nivel de especie, cuando es posible. La identificación taxonómica se realiza mediante lupa binocular y microscopio óptico, así como de amplia bibliografía sobre la taxonomía y sistemática de cada uno de los grupos identificados.

Los datos obtenidos del estudio cuantitativo de la macrofauna bentónica, se procesan con el fin de obtener los parámetros e índices que permitan caracterizar y evaluar la integridad biológica de la comunidad macrobentónica:

- Número total de individuos por unidad de superficie (m<sup>2</sup>)
- Riqueza Específica. Número de especies presentes en cada muestra analizada.



- Porcentaje de los diferentes grupos taxonómicos en cada estación
- Dominancia de los grupos tróficos en las diferentes comunidades estudiadas. Parámetro que tiene como objeto evaluar la contribución de los organismos bentónicos en la red trófica (Gaston & Nasci, 1988). Además, la categorización de las especies en diferentes grupos funcionales permite evaluar la respuesta de las comunidades bentónicas a perturbaciones medioambientales.
- Índice de Shannon-Wiener (H). Cálculo de la diversidad específica mediante la fórmula ( $H = -\sum p_i \ln p_i$ ), donde “p” es la proporción de la especie “i” en la muestra estudiada. Este índice aporta información sobre la distribución de los organismos entre las especies.
- Presencia o ausencia de especies indicadoras de perturbación o contaminación. En general, se trata de especies oportunistas que dentro del mismo grupo taxonómico sustituyen a las especies más especializadas que toleran cambios del medio no muy amplios.

### 3.8.2 Resultados y conclusiones

#### PROSPECCIONES VISUALES REMOTAS

Las observaciones de los fondos infralitorales se llevan a cabo, sobre todo, sobre praderas de *Posidonia oceanica* y *Cymodocea nodosa*, fondos rocosos de carácter fotófilo y esciáfilo y fondos sedimentarios detríticos. Destacan, por su importancia, las comunidades caracterizadas por la presencia de fanerógamas marinas, siendo la mayor perturbación encontrada, la presencia de las algas invasoras *Caulerpa racemosa* y *Lophocladia lallemandii* principalmente, detectadas sobre todo en la proximidad de las praderas de *Posidonia oceanica*.

Entre los fondos sedimentarios destacan, por la importancia ecológica, los fondos detríticos arenosos encontrados en todo el litoral del Archipiélago, entre los 35 y los 50 m de profundidad. Al igual que en las praderas de fanerógamas, las prospecciones visuales han permitido constatar la importancia de *Caulerpa racemosa* en la zona sur del Archipiélago, a partir de los 20 m de profundidad, así como en el interior de la bahía del Puerto. A pesar de ello, se ha detectado la presencia de *Caulerpa racemosa* a lo largo de todo el Archipiélago sin observar un claro patrón de distribución.

En la zona sur del Archipiélago, entre el “Cap de Llebeig” y “La Imperial”, en puntos del infralitoral inferior y del circalitoral superior, se puede afirmar que las perturbaciones más importantes las producen la presencia de *Lophocladia lallemandii* y *Caulerpa racemosa*, esta última en mayor proporción.



El coralígeno, que entre las biocenosis profundas destaca por su elevada biodiversidad, se ha detectado en pequeños enclaves rocosos rodeados por sedimentos detríticos con una elevada densidad de maërl, sobre todo en la parte sur del Archipiélago. Las prospecciones visuales indican que los grandes poríferos (*Axinella polypoides*, *Axinella damicornis* y *Haliclona mediterranea*) son las especies más importantes.



Imagen 10. *Laminaria rodriguezii*

En varios de estos enclaves se detecta la presencia de la langosta mediterránea *Palinurus elephas*, con un moderado número de ejemplares de grades dimensiones

Por último, se debe destacar que las prospecciones mediante R.O.V. han permitido observar la presencia de *Laminaria rodriguezii* en la zona suroeste del Archipiélago de Cabrera (Transecto 16, a 78 m de profundidad).

### ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO Y CALIDAD AMBIENTAL

La distribución granulométrica de los fondos del Archipiélago de Cabrera está dominada por arenas gruesas y medias. El 33% de las muestras estudiadas tienen una moda de arenas gruesas (entre 0,5 y 1 mm), mientras que el 19% tienen moda de arenas medias (entre 0,25 y 0,5 mm).

Se observan principalmente dos tendencias, por un lado una disminución del tamaño de grano del sedimento a mayor profundidad. Por otro lado, se observa que las zonas norte y sur del archipiélago presentan las arenas más gruesas (entre 2 y 0,5 mm) mientras que en la zona central se encuentran los sedimentos de grano inferior (entre 0,25 y 0,036mm).

La distribución espacial del sedimento viene determinada por la interacción entre la aportación, el transporte y la deposición de partículas. En este sentido, desempeña un papel central, junto a las características de las partículas del sedimento, la dinámica marina y la presencia de determinadas comunidades bentónicas. Las partículas más gruesas, debido a su peso específico y densidad, soportan regímenes hidrodinámicos de mayor intensidad. En cambio, las partículas finas suelen ser transportadas a mayores distancias y se depositan en zonas profundas o abrigadas.

Teniendo en cuenta las apreciaciones anteriores, se puede destacar la relación entre la presencia de sedimentos más gruesos con la costa rocosa (generalmente más batida) y sedimentos finos con la costa llana (ensenadas) y la presencia de playas y calas.



Cabe destacar, también, las diferencias en la distribución granulométrica en relación a la batimetría. En este caso, el perfil granulométrico está estrechamente ligado al tipo de comunidad bentónica presente en el fondo. Entre los 25 y 75 metros de profundidad, especialmente en las zonas más batidas del archipiélago, se detecta la presencia de maërl. A partir de los 75 m de profundidad, la densidad de afloramientos de maërl disminuye, encontrándose una comunidad detrítico arenosa o detrítico enfangada a mayores profundidades en la zona sur del archipiélago.

Existe entre un 3 y un 4 % de **materia orgánica** presente en el sedimento analizado, a excepción de la zona interior de la bahía de Cabrera, donde dicho valor aumenta hasta el 11%. La estructura cerrada y bien protegida de dicha bahía implica que el régimen hidrodinámico en su interior sea muy suave, provocando que toda la materia orgánica generada en sus aguas (mayoritariamente fruto de la pradera de *Posidonia oceanica*) quede retenida en su interior.

Se han realizado analíticas para el estudio de la **concentración de metales pesados** (cadmio, cobre, plomo, zinc y mercurio) en un 20% de las muestras de sedimento obteniendo como resultado que la concentración de metales pesados es muy baja en todas las muestras analizadas. Se ha tenido en cuenta los límites definidos por el “*Centro de Estudios y Experimentación en obras Públicas (CEDEX)*” para el material objeto de regeneración de playas (*Guía metodológica para la elaboración de estudios de impacto ambiental de las extracciones de arena para la regeneración de playas*, CEDEX 2004).

Se puede decir que los sedimentos se encuentran exentos de contaminación por metales pesados. A pesar de eso, se han detectado niveles mayores de metales pesados en la zona cercana al Puerto de Cabrera debido posiblemente al mayor tránsito marítimo.

### ANÁLISIS FAUNÍSTICO DEL SEDIMENTO

Se identifican 5.562 organismos distribuidos entre 242 especies. Estas 242 especies se encuentran distribuidas en 12 grupos taxonómicos, destacando el grupo de los poliquetos, que representan más del 50% del total de los organismos identificados, seguidos en orden de importancia por los nematodos y crustáceos. Los restantes grupos presentan porcentajes inferiores al 5% del total de los organismos identificados.

La composición específica de las muestras analizadas se ve afectada por las características hidrodinámicas de la columna de agua que afecta las características de los sedimentos. El sedimento de los fondos blandos del Archipiélago de Cabrera, se caracteriza en muchas zonas por un elevado porcentaje de fracción gruesa, lo que indica un fuerte hidrodinamismo. Como consecuencia de este fuerte hidrodinamismo, la macrofauna ben-



tónica se encuentra constituida por especies de pequeño tamaño (básicamente poliquetos) que se desarrollan en la parte superficial del sedimento. Esto explica que los síllidos de pequeñas dimensiones sean una de las especies más frecuentes dentro de las familias de poliquetos.

La distribución entre los grupos tróficos, indica un elevado porcentaje de detritívoros de superficie, que alcanzan más del 50% del total de los organismos identificados. Cabe destacar, además, el elevado porcentaje de carnívoros y en menor medida de omnívoros, con valores próximos al 10%.

Como conclusión del análisis de macrofauna bentónica en los fondos blandos se puede decir que se trata de una comunidad bien estructurada y con altos valores de diversidad y riqueza específica.

La **densidad o abundancia** (expresada por número de organismos por metro cuadrado) presenta valores que varían entre 1.025 de la estación B55 y los 50 de la estación B29, siendo el valor promedio de abundancia de 434 organismos por metro cuadrado.

La disminución significativa de la abundancia (número de individuos/m<sup>2</sup>) y del número de especies con el aumento de la profundidad, se debe posiblemente a la reducción de la disponibilidad de alimento, como se ha observado en otras zonas oligotróficas del Mediterráneo (Karakassis & Eleftheriou, 1997).

Los fondos blandos del Archipiélago de Cabrera se caracterizan por el elevado porcentaje de materia orgánica, lo que contrasta con el porcentaje de finos en el sedimento, que resulta en general bastante bajo, de acuerdo con estudios anteriores (Ballesteros et al. 2009). El origen de esta materia orgánica se debe al acúmulo de restos vegetales procedentes de las praderas de *Posidonia oceanica* y de la extensa comunidad algal. La presencia de este detrito vegetal determina una disminución del oxígeno utilizado en los procesos de descomposición disponible en el sedimento. Estas condiciones favorecen la aparición y el aumento de abundancia de aquellas especies que se consideran

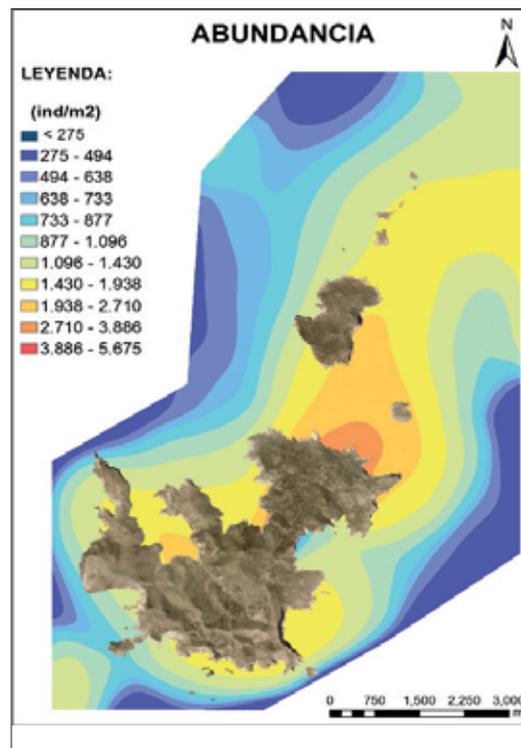


Figura 16. Abundancia. Los valores más elevados se localizan en la parte este del archipiélago y los más bajos en la parte noroeste



tolerantes y oportunistas y que pueden aprovechar condiciones del medio que determinan una disminución de las especies sensibles a la acumulación de materia orgánica.

La **riqueza específica o número de especies** varía entre las 41 especies de la estación B55, y las 3 de la estación B29. Por otro lado, el número promedio de especies es de 18. Los valores más elevados se encuentran en la parte este, central y sur del archipiélago, y los más bajos en la parte noroeste.

Los poliquetos, y en menor medida, los crustáceos, son los **grupos más importantes en la mayoría de estaciones de muestreo**. Otro grupo con una elevada frecuencia de aparición, y en unos casos con un elevado porcentaje de abundancia relativa, son los nematodos. Finalmente, cabe destacar el grupo de los bivalvos que, aunque con porcentajes bajos de abundancia relativa, está presente en casi todas las estaciones de muestreo.

La **distribución de las especies entre los grupos tróficos** indica una clara dominancia de carnívoros y detritívoros en todas las estaciones de muestreo. Otros grupos con un elevado porcentaje de aparición son los omnívoros y, en menor medida, los detritívoros excavadores. Finalmente, el resto de los grupos presentan una frecuencia de aparición y porcentajes de abundancia relativa bajos. No se observa ningún patrón de distribución espacial de los grupos tróficos.

La diversidad específica, medida mediante el **Índice de Shannon – Wiener**, presenta un rango de valores bastante amplio con valores que oscilan entre 3,44 en la estación 55 y poco más de 0,5 en la estación 29. El valor promedio es de 2,34. En general, el promedio (H) en las comunidades naturales con una elevada diversidad específica (elevado número de especies y distribución homogénea de las abundancias entre las diferentes especies), no suele alcanzar el valor de 5 (Krebs, 1985). Por esta razón se puede afirmar que, en el presente estudio, la diversidad específica de la comunidad macrobentónica varía entre valores muy bajos, en la estación B29, y medio-altos, en la estación B55.

El estudio de la macrofauna bentónica indica la presencia, en un importante porcentaje de muestras, de **especies oportunistas** indicadoras de perturbación, en especial de las especies *Cirratulus cirratus*, *Capitella capitata* y *Tharyx marioni*, que normalmente se encuentran en fondos con un aporte importante de materia orgánica y se desarrollan en condiciones de déficit de oxígeno en el sedimento, por lo que se definen como oportunistas. De las tres especies, *Cirratulus cirratus* es la más frecuente en las muestras analizadas, seguida por *Capitella capitata* y por el otro cirratúlido *Tharyx marioni*.

Estas tres especies, que se enmarcan en el grupo de los detritívoros excavadores, se caracterizan por presentar un pequeño tamaño y un ciclo vital muy breve, que determina



en las poblaciones una elevada tasa de renovación. Estas especies se localizan principalmente en las dos bahías más cerradas del archipiélago de Cabrera, en el Port y en la Cala de Santa María, que es zona de reserva integral. Los resultados confirman que la organización de los grupos tróficos resulta de la combinación de dos factores: hidrodinamismo y granulometría, siendo este último dependiente del primero (Dauvin, 1988).

Finalmente, hay que destacar que los resultados del estudio indican que las características de la macrofauna bentónica reflejan las condiciones abióticas (hidrodinámicas y sedimentológicas) propias del Archipiélago de Cabrera y de la época de muestreo.

## 3.9 CARACTERIZACIÓN DE LAS MASAS DE AGUA

### 3.9.1 Metodología

Los muestreos para la caracterización de las masas de agua se llevan a cabo en dos periodos. Primeramente, a lo largo del mes de diciembre de 2011, paralelamente a los trabajos del seguimiento extensivo (realizado por la empresa Mediterráneo Servicios Marinos), se toman muestras en 18 puntos y, posteriormente, a lo largo del mes de julio de 2012, se muestrean otros 35 puntos. De esta manera se obtienen datos para la caracterización de la columna de agua en distintas épocas del año, con condiciones ambientales diferentes.

#### TRABAJOS DE CAMPO

##### MUESTREO DICIEMBRE 2011

Para una caracterización física y química de la masa de agua circundante al Archipiélago de Cabrera se utiliza la sonda multiparamétrica o CTD YSI 650 MDS. Este aparato hidrográfico es alimentado internamente por un grupo de baterías y tiene incorporados sensores para determinar los siguientes parámetros:

- Profundidad
- Turbidez
- Oxígeno disuelto
- Temperatura
- Conductividad
- Densidad
- Salinidad

Para el cálculo de la transparencia, coeficiente de extinción de la luz y la profundidad de compensación, se utiliza un disco de Secchi convencional (de 30cm de radio) fuertemente lastrado, para conseguir la máxima perpendicularidad del cabo que lo sujeta



respecto a la superficie y minimizar la acción de la corriente sobre el mismo, obteniendo una medida precisa. El disco se hace descender verticalmente anotando la profundidad de pérdida de visión y la de recuperación de su visión, para posteriormente realizar una media de estos dos valores.

La transparencia se mide en los mismos puntos donde se toman medidas con sonda multiparamétrica.

## MUESTREO JULIO 2012

La caracterización de la columna de agua se realiza en 35 estaciones mediante el levantamiento de perfiles hidrográficos de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, turbidez y fluorescencia (como indicador de clorofila “a”). Se toman, además, mediante una botella hidrográfica tipo Niskin, muestras de agua en 10 de las 35 estaciones para determinar la concentración de nutrientes e hidrocarburos. Dichas estaciones se localizan en las siguientes zonas:

- 3 estaciones situadas en puntos cardinales N (H2O-03), S (H2O- 20) y E (H2O-14)
- 5 Estaciones situadas en el interior de la Bahía del Puerto (H2O-26, H2O 27, H2O- 28, H2O-29, H2O-30)
- 2 Estaciones situadas en la Cala S’Olla (H2O-15, H2O-16)

En el proceso de implantación de la Directiva Marco de Aguas (DMA) en el litoral balear se han definido, en la masa de agua del Archipiélago de Cabrera (MA-12), tres estaciones de muestreo (“Cala Santa María”, “Port de Cabrera – Castell” y “S’Olla”). Con la finalidad de comparar los resultados obtenidos en el presente estudio con los valores de referencia establecidos en la DMA, se tendrán en cuenta la estaciones situadas en la Bahía del Puerto de Cabrera así como las de Cala S’Olla.

Para la realización del perfilado de la columna de agua se emplea una sonda multiparamétrica tipo HYDORLAB, equipada con los sensores necesarios.

En todas las estaciones (35) también se realiza el cálculo de la transparencia del agua mediante disco de Secchi.

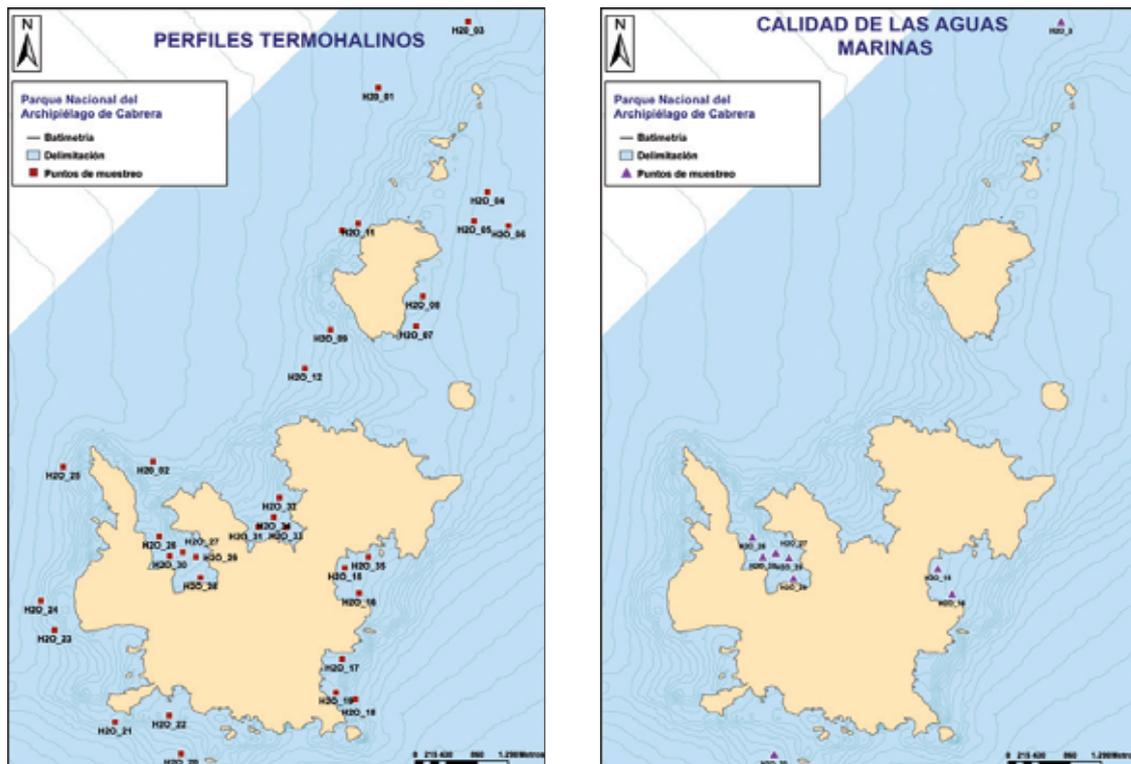


Figura 17. Localización de los puntos de muestreo de caracterización de las masas de agua

## CALIDAD FÍSICO - QUÍMICA DEL AGUA

En 10 de las 35 estaciones definidas para el estudio de la columna de agua se toman muestras de agua mediante una botella hidrográfica tipo Niskin. En dichas muestras se determina la concentración de hidrocarburos y la de nutrientes (nitritos, nitratos, fosfatos, amonio y silicatos).

## ANÁLISIS FITOPLANCTÓNICO

Mediante el uso de una botella Niskin de cinco litros de capacidad se toman muestras de agua en 11 puntos, a 1 metro por debajo de la superficie, destinadas al análisis de la comunidad fitoplanctónica.

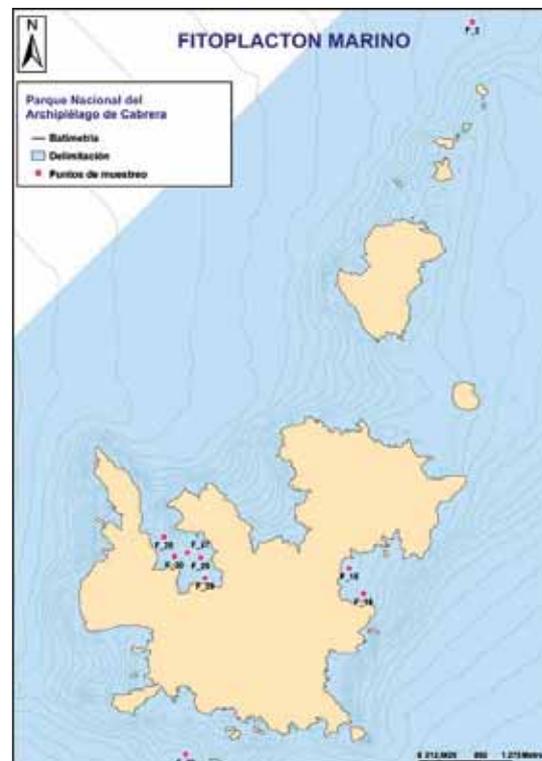


Figura 18. Localización de los puntos de muestreo de fitoplancton marino



## ANÁLISIS ZOOPLANCTÓNICO

En los mismos puntos donde se realiza el estudio fitoplanctónico, se realiza el estudio cuantitativo del zooplancton. Se efectúan pescas verticales desde la máxima profundidad de la estación hasta la superficie, con una red estándar tipo KCDenmark. Dicha red tiene forma de cilindro cónico, con mallas de 200 micras y con una superficie de boca de aproximadamente 1250 cm<sup>2</sup>. Las pescas verticales se fijan inmediatamente con formol neutralizado, hasta conseguir una concentración final entre el 5 y el 10%.

## TRABAJOS DE LABORATORIO Y GABINETE

### CALIDAD FÍSICO - QUÍMICA DEL AGUA

Para el análisis de los nutrientes en la columna de agua se usa el equipo Smartchem 200 que es un analizador automático de acceso discrecional.

La analítica de hidrocarburos totales se realiza mediante cromatografía líquida de alta presión (HPLC), metodología usada para el análisis de hidrocarburos en agua de mar.

### ANÁLISIS FITOPLANCTÓNICO

Las muestras se homogeneizan por agitación manual suave (20 vueltas a las botellas) y se colocan en cubetas de sedimentación de metacrilato de 50 ml de capacidad, dotadas de base removible. El análisis se realiza por el método de Utermöhl (1957) después de 24 horas de sedimentación en cubetas, empleando un microscopio invertido XSB-1<sup>a</sup>, dotado de objetivos de óptica plana de 5, 10, 25 y 40 aumentos y oculares de 10 aumentos.

Los organismos más abundantes y el nanoplancton (2-20 micrómetros) son cuantificados en dos transectos a 250x. La identificación de los organismos se realiza al taxón más preciso posible (especie o género) en dinoflagelados, diatomeas y cocolitoforales.

Los resultados del fitoplancton se expresan en número de células por litro. Otros organismos cuantificados pertenecen al zooplancton (tales como ciliados desnudos, tintínicos, copépodos y rotíferos) y su resultado se expresa en n<sup>o</sup> de organismos por litro.

Finalmente, los datos se analizan mediante el análisis de escala multidimensional no métrico (nMDS). El nMDS es una metodología estadística de análisis multivariante que permite agrupar o separar las estaciones de muestreo en base a la similitud de la estructura taxonómica. Por consiguiente, las estaciones con una composición taxonómica parecida se encontrarán muy cerca entre ellas, al contrario que las estaciones que presentan una composición taxonómica diferente, que estarán muy separadas.



## ANÁLISIS ZOOPLANCTÓNICO

Se realiza filtración inversa y se analiza la totalidad de la muestra, dada la baja densidad de zooplancton observada. La identificación y recuento se lleva a cabo mediante el estereoscopio Olympus SZ61 y microscopio óptico Olympus BX41.

Siempre que sea posible, el análisis se realiza llegando hasta nivel de especie. El tratamiento y procesado de las muestras se realiza siguiendo las metodologías estandarizadas del ICES Zooplankton Methodology Manual (2000).

Para el cálculo de la abundancia zooplanctónica se tienen en cuenta los siguientes datos:

- Luz de malla de la red utilizada = 200  $\mu\text{m}$
- Tipo de arrastre = vertical
- Diámetro de la red = 20 cm
- Profundidad = variable dependiendo de las muestras (rango de -5 a -60 metros)

### 3.9.2 Resultados y conclusiones

#### MUESTREO DICIEMBRE 2011

Las aguas del Parque Nacional del Archipiélago de Cabrera son las aguas más transparentes y de mayor calidad del mediterráneo occidental. Esto hace que los resultados de los perfiles de temperatura, salinidad, saturación de oxígeno y turbidez sean muy similares en todas las estaciones.

La transparencia del agua en las 18 estaciones de muestreo es muy similar y se encuentra alrededor de los 20 m, excepto dos estaciones donde la transparencia es igual a la profundidad del punto de muestreo.

#### MUESTREO JULIO 2012

##### CALIDAD FÍSICO – QUÍMICA DEL AGUA

El perfil de **temperatura** observado es el esperado, teniendo en cuenta que el muestreo se lleva a cabo durante el mes de julio. Los valores de temperatura observados se caracterizan por la presencia de una clara termoclina situada entre los 20 y 30 m de profundidad, con una temperatura homogénea de alrededor de 26°C entre la capa superior, y una temperatura que disminuye hasta los 14°C en las capas profundas.



En cuanto a la **salinidad**, en algunas estaciones se observan pequeñas fluctuaciones en los primeros metros de la columna de agua, debido a la estabilización de los sensores de la sonda multiparamétrica. Por otro lado, entre los 20 y 35 m de profundidad, coincidiendo con la termoclina, se observa la presencia de un ligero cambio en la salinidad. La existencia de una termoclina indica la presencia de dos masas de agua independientes; en la zona de transición, debido a la existencia de distintos estratos (capas de agua con características diferentes), se observan fluctuaciones puntuales de la salinidad. A pesar de las oscilaciones generadas por la existencia de una termoclina, los datos de salinidad del agua presentan valores muy homogéneos a lo largo de toda la columna de agua y en todas las estaciones estudiadas.

Los perfiles descriptores del comportamiento del **oxígeno disuelto** a lo largo de toda la columna de agua muestran que entre la superficie y los primeros 25 m de profundidad, la concentración de oxígeno se encuentra entre 6 y 7 mg/L y, a partir de ese punto, dicha concentración aumenta hasta los 8 mg/L de promedio.

Los perfiles de **clorofila** observados son homogéneos y estables en los 20-30 primeros metros de la columna de agua, presentando valores de entre 0 y 0,2  $\mu\text{g/L}$ . A partir de los 30 metros, esta concentración aumenta hasta 1  $\mu\text{g/L}$ . Estos valores coinciden con los obtenidos por López-Jurado (2009), donde se observa que durante primavera y verano los máximos de fluorescencia se encuentran por debajo de la termoclina, alrededor de los 60 m de profundidad, y con unos máximos de entre 0,8 y 1  $\mu\text{g/L}$ .

Las medidas de **turbidez** obtenidas en la zona de estudio presentan unos valores muy bajos (<1 FTU), indicando un elevado grado de transparencia en las aguas. No se observan cambios espaciales importantes. En algunas estaciones se observan pequeñas fluctuaciones en los primeros metros de la columna de agua, debido a la estabilización de los sensores de la sonda multiparamétrica.

El valor de **pH** se sitúa alrededor de 8, sin diferencias significativas entre las zonas ni la profundidad de cada estación. Los valores obtenidos pueden considerarse dentro del rango de la normalidad, teniendo en cuenta que los valores de pH en el litoral levantino-balear se encuentran alrededor de los 8,2 (Millero et al. 1979; Delgado & Estrada, 1994)

Los valores de pérdida de visibilidad del disco de Secchi son cotas muy elevadas (20-25m), pudiendo afirmarse que la penetración de la luz no se ve limitada por efecto de la materia en suspensión (MES) o turbidez. En aquellas estaciones donde la profundidad es inferior a 20 m, el disco se ve hasta el fondo, por lo que no se considera esta profundidad como una medida válida para la profundidad de pérdida de visión del disco.



La concentración de nutrientes inorgánicos observada es muy baja. Amonio, nitritos, fosfatos, fósforo y nitrógeno se encuentran por debajo del límite de detección del método analítico, mientras que los valores de nitratos y silicatos son muy bajos.

Los compuestos reducidos de nitrógeno (amonio y nitritos) son de procedencia fundamentalmente contaminante y su presencia en el medio marino se relaciona frecuentemente con vertidos cercanos de aguas residuales. Los niveles de nitritos, amonio, fosfatos y silicatos se encuentran, en todas las muestras analizadas, por debajo del límite de detección, lo que parece indicar que la zona de estudio no se halla contaminada por vertidos de aguas residuales.

La concentración de nitratos promedio observada en las aguas de Cabrera se encuentra alrededor de 0,15 mg/L, mientras que las concentraciones de amonio, nitritos y fosfatos presentan valores por debajo del límite de detección (0,01 mg/L). Por lo que podemos clasificar las aguas como aguas en buen estado y concluir que no se detecta la presencia de ninguna fuente de contaminación.

La DMA define los límites de hidrocarburos para aguas costeras y de transición muy modificadas por la presencia de puertos, con un límite para calidad de aguas buenas/moderadas de 0,7 mg/L, siendo los valores encontrados en las aguas de Cabrera inferiores a 0,5 mg/L; por lo que se puede concluir que no existe contaminación por hidrocarburos en las aguas del litoral de Cabrera.

### ANÁLISIS FITOPLANCTÓNICO

El conjunto de muestras describe una situación típica de aguas costeras en la época de verano, con una diversidad limitada. El grupo más importante de fitoplancton en términos de biomasa es el de los cocolitoforales, seguidos por diatomeas y dinoflagelados. Cabe destacar la presencia de otros grupos, que en algunos casos alcanzan el 50% de la biomasa. El número de taxones varía entre poco más de 15 (estación F3), a más de 40 (estación F16). Estos valores se pueden considerar entre bajos y moderados, teniendo en cuenta la época de muestreo. El número de células por litro oscila entre 25000, en la estación F-27, y 220000 cel./L, en la estación F-20.

En el estudio realizado por Puigserver & Moyà (2010) en el archipiélago Balear, se observó, en los muestreos realizado en verano, una abundancia variable entre 250000 y 1600000 cel./L. Asimismo, el número de taxones identificados en dicho estudio en el conjunto de campañas fue de 193. La comparación de los valores obtenidos en el presente estudio con los datos observados por Puigserver & Moyà (2010) permite afirmar



que la densidad y diversidad de las muestras fitoplanctónicas del Archipiélago de Cabrera es entre baja y moderada, acorde con la época de muestreo.

No se detectan especies susceptibles de producir toxicidad para los humanos.

### ANÁLISIS ZOOPLANCTÓNICO

Existe un predominio de la fracción holoplanctónica en todas las muestras estudiadas. Del análisis taxonómico realizado, se observa una dominancia mayoritaria del grupo de los copépodos, principalmente de sus fases larvarias (copepoditos), seguido de sus estadios adultos. Los porcentajes de estos grupos varían entre el 69,5% (muestra H2O-20) y el 100% (muestra H2O-26, H2O-28 y H2O-30) de la composición de las muestras. La composición de otros grupos es minoritaria.

Hay que destacar la especie *Acartia (Hypocartia) adriatica* por ser una de las especies más frecuentes en las muestras estudiadas.

Los valores de abundancia de la comunidad zooplanctónica varían entre un mínimo de 0,2 ind/m<sup>3</sup>, en el norte del archipiélago (estación H2O-3), y un máximo de 56,3 ind/m<sup>3</sup>, en la proximidad de l'Olla (H2O-15). Estos valores se pueden considerar bajos si se comparan con los resultados de otros estudios realizados en el Mediterráneo occidental, donde para la misma época del año se han descrito valores de entre 200 ind/m<sup>3</sup> y 900 ind/m<sup>3</sup> (Sabatés et al. 1989; Calbet et al., 2001). Los valores bajos de abundancia se pueden justificar tanto por la zona de estudio, que se caracteriza por su oligotrofia, como a la época de muestreo, ya que es durante el verano que se observan las abundancias zooplanctónicas más bajas.

Los valores de diversidad se consideran moderados (Sabatés et al. 1989), exceptuando las muestras H2O-3 y H2O-30, que presentan valores nulos (no se ha podido calcular la diversidad debido a que sólo se detecta una especie en la muestra), y la muestra H2O-26, que presenta valores bajos. Como era de esperar por la época de muestreo (Sabatés et al. 1989), los copépodos y las larvas de copépodos son los dos grupos dominantes en casi todas las estaciones.

Con respecto a la equitatividad, teniendo en cuenta que puede alcanzar valores entre 0 y 1 (Krebs, 1985), todas las muestras presentan valores moderados y altos, que indican una distribución bastante homogénea de las abundancias entre las especies, exceptuando la muestra H2O-26, que presenta valores bajos, y las muestras H2O-3 y H2O-30, que presentan valores nulos.



## **4. CONCLUSIONES**

Este proyecto piloto se ha realizado en el marco de Plan de Seguimiento y Evaluación de la Red de Parques Nacionales y servirá para conocer el estado actual de los sistemas naturales marinos que componen el Parque Nacional del Archipiélago de Cabrera y, unido a otros proyectos de investigación que también han generado información primaria, formará parte de la información de partida en la que se basará el futuro programa de seguimiento de la Red.

Además, este estudio está resultando esencial en el establecimiento de los Protocolos de Seguimiento Ecológico del medio marino –Protocolo de seguimiento específico para Cabrera y Protocolo general de seguimiento de la Red, si bien es necesario el planteamiento de otros trabajos que permitan estudiar el resto de sistemas naturales presentes en el resto de Parques con ámbito marino (Islas Atlánticas, Doñana y Timanfaya), que ayuden a concretar e implementar dichos protocolos.

En cuanto a los resultados de este trabajo y a modo de conclusión, cabe citar que el Parque Nacional marítimo - terrestre del archipiélago de Cabrera se caracteriza por su elevada heterogeneidad tanto a nivel de comunidades biológicas como a nivel de tipología de fondos marinos.

El estado de conservación de las praderas de *Posidonia oceanica* es bueno, no observándose elevadas proporciones de mata muerta. En cuanto a la densidad de este tipo de praderas, se confirma que ésta disminuye según aumenta la profundidad debido a la disminución de la intensidad de luz, si bien, se detecta praderas de *Posidonia oceanica* con densidades medias y altas a más de 25 m de profundidad.

En lo relativo a las comunidades ícticas y sus hábitats asociados, las zonas de uso restringido del Parque, en las que está permitida la pesca artesanal, se caracterizan por una mayor complejidad de hábitat (rugosidad, % bloques) que las zonas de reserva integral. Asimismo, los parámetros poblacionales de muchas especies características (tallas, abundancia, etc) tienen tendencia a ser más elevados en estas zonas de uso restringido probablemente debido a las características de los fondos, si bien esta tendencia, no tiene significancia estadística. En este sentido, se puede afirmar que la composición de las comunidades ícticas tiene una mayor influencia de las condiciones hidrodinámicas que del modelo de gestión.



En cuanto al impacto del buceo en las comunidades bentónicas, cabe reseñar el buen estado de conservación de las colonias del briozoo *Myriapora truncata* presentes en las cavidades o cuevas semioscuras, pudiéndose afirmar que no se aprecian diferencias entre las zonas donde está permitida la actividad y aquellas donde se encuentra prohibida. Asimismo, resaltar que en todos los puntos donde se han localizado comunidades de precoralígeno y coralígeno, su estado de conservación es óptimo, destacando la elevada biodiversidad encontrada a elevadas profundidades.

Hay que destacar también que, en la zona suroeste del Archipiélago de Cabrera, a elevadas profundidades, se detecta la presencia de *Laminaria rodriguizii*, alga parda endémica del Mediterráneo y escasamente documentada en Cabrera.

En lo relativo a la presencia y estado de especies invasoras, se concluye que la especie *Womersleyella setacea* se encuentra en regresión en la zona, no habiéndose localizado en ninguno de los puntos de muestreo.

Sin embargo, la *Caulerpa racemosa* se encuentra en progresión, ya que los porcentajes de recubrimiento detectados son los más altos hasta la fecha, observándose un aumento en la densidad de esta especie con la profundidad.

En el caso de la especie *Lophocladia lallemandii*, ésta se encuentra estabilizada actualmente, situándose los mayores porcentajes de recubrimiento en las zonas someras.

Desde el punto de vista de calidad de las aguas y fondos, apenas se detecta contaminación. La concentración de metales pesados es muy baja en todos los puntos muestreados, las aguas son altamente transparentes y la medición de parámetros como pH, clorofila, turbidez, oxígeno disuelto, etc, han resultado tener valores normales (correspondientes a la época de medición).

En definitiva, tras este trabajo se constata el buen estado de conservación general del Parque, se han podido clasificar los sistemas naturales presentes en las 6.300 has. estudiadas y los resultados obtenidos servirán tanto para la definición de los futuros protocolos de seguimiento como para la toma de decisiones en lo relativo a la gestión y posible planteamiento de mejoras en la zonificación y usos del Parque Nacional.



## **5. BIBLIOGRAFÍA**

- Ballesteros, E. (2006). Mediterranean coralligenous assemblages: a synthesis of present knowledge. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*. 44: 123-195.
- Ballesteros (2009). Invasión del Parque Nacional del Archipiélago de Cabrera por algas introducidas: dinámica de la invasión y efectos sobre las comunidades bentónicas. Informe Técnico. 90 pp.
- Ballesteros, E., Pinedo, S., Martínez-Crego, B., Vich, M.A., Díaz-Valdés, M., Terradas, M., Casas, E., Cefali, M. (2009). Avaluació de la qualitat ambiental de les masses d'aigua costaneres utilitzant les macroalgues i els macroinvertebrats bentònics com a bioindicadors. In: I Jornada científico técnica Directiva Marco de l'Aigua. Palma de Mallorca, 26 de noviembre de 2009.
- Centre Balear de Biología Aplicada. (2009). Asistencia técnica para la evaluación de los recursos ícticos y el seguimiento de la actividad pesquera en el Parque Nacional de Cabrera. Año 2008. 102 pp.
- Centro de Estudios Avanzado de Blanes (CEAB-CSIC) & Fundación Parques Naturales
- Infraestructura de dades espacials de les Illes Balears (IDEIB). (<http://ideib.caib.es/visualitzador/visor.jsp>).
- CEDEX (2004) Guía metodológica para la elaboración de estudios de impacto ambiental de las extracciones de arena para la regeneración de playas. Ministerio de Fomento.
- Delgado, O.; Estrada, M. (1994). CO<sub>2</sub> system in a Mediterranean frontal zone. *Scientia Marina* 58: 237- 250.
- Díaz-Almela, E. & Marbà, N. (2009). 1120 *Posidonia oceanica*. Praderas de *Posidonia oceanica*. En VV. AA., Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés Comunitario en España. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 129 pp.
- Francour, P., Ganteaume, A. & Poulain, M., (1999). Effects of Boat Anchoring in *Posidonia oceanica* seagrass bed in the Port-Cross National Park (North-Western Mediterranean Sea). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 9: 391-400.
- Frederiksen, M.S., Holmer, M., Díaz-Almela, E., Marbà, N., Duarte, C.M. (2007). Sulfide Invasion in the seagrass *Posidonia oceanica* at Mediterranean fish farms: assessment using stable sulfur isotopes. *Marine Ecology Progress Series* 345: 93-104.
- García-March (2005). Aportaciones al conocimiento de la biología de *Pinna nobilis* Linneo, 1758 (Mollusca: Bivalvia) en el litoral Mediterráneo ibérico. Tesis Doctoral, 335 pp. Universitat de València.



- Garcia-Rubies, A. (1997). Estudi ecològic de les poblacions de peixos litorals sobre substrat rocós a la Mediterrània occidental: efecte de la fondària el substrat, la estacionalitat y la protecció. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona. 262 pp.
- Gaston, C. and Nasci, J. (1988). Trophic Structure of Macrobenthic Communities in the Calcasieu Estuary, Louisiana. *Estuaries*, 11 (3): 201-211.
- Giraud, G. (1977). Contribution à la description et à la phénologie des herbiers à *Posidonia oceanica* (L.) Delile. Thèse Doctorat 3ème Cycle, Univ. Aix-Marseille II: 150.
- Harmelin-Vivien, M., Harmelin, J.G., Chauvet, C., Duval, C., Galzin, R., Legune, P., Barbabé, G., Blanc, F., Chevalier, R., Duclerc, J., Laserre, G. (1985). Evaluation des peuplements et populations des poissons. Méthodes et problèmes. *Rev. Ecol. Terre Vie*, 40: 467-539.
- Hendriks, I., Deudero, S., Marbá, N., Cabanellas, M., Alvarez, E., Duarte, C.M. (2008). Estructura poblacional de la nacra *Pinna nobilis* en praderas de *Posidonia oceanica* en las islas Baleares. Jornades de Medi Ambient de les Illes Balears. Palma de Mallorca.
- Karakassis, J. & Eleftheriou, A. (1997). The continental shelf of Crete: structure of macrobenthic communities. *Marine Ecology Progress Series*, 160: 185-196.
- Krebs, C.J. (1985). *Ecological Methodology*. Harper and Row, Publishers. New York. 654 pp.
- Yeager, M.L., Layman, C.A., Allgeier, J.E. (2011). Effects of habitats heterogeneity at multiple spatial scales on fish community assembly. *Oecologia*, 167: 157-168.
- Luckhurst, B.E. & Luckhurst, K. (1978). Analysis of the influence of substrate variables on coral reef fish communities. *Marine Biology*, 49: 317-323.
- Marbá, N., Duarte, C.M., Holmer, M., Martinez, R., Basterretxea, G., Orfila, A., Jordi, A., Tintorè, J. (2002). Effectiveness of protection of seagrass (*Posidonia oceanica*) populations in Cabrera National Park (Spain). *Environmental Conservation* 29 (4): 509-518.
- Millero, F.J., Morse, J., Chen, C.-T. (1979). The carbonate system in the western Mediterranean sea. *Deep Sea Research Part I*, 26 (12): 1395-1404.
- Moreno, D., Aguilera, P.A., Castro, H. (2001). Assessment of the conservation status of seagrass (*Posidonia oceanica*) meadows: implications for monitoring strategy and decision making process. *Biological Conservation*, 102: 325-332.
- Morey, G., Moranta, J., Massutí, E., Grau, A., Linde, M., Riera, F., Morales-Nin, B. (2003). Weight-length relationships of litoral to lower slope fishes from the western Mediterranean. *Fisheries Research*, 62: 89-96.
- Pergent, G., Pergent-Martini, C. & Boudouresque, C.F. (1995). Utilisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée: Etat des connaissances. *Mesogée*, 54: 3-27.



- Pergent-Martini, C., Pergent, G. (1996). Spatio-Temporal Dynamics of *Posidonia oceanica* beds near a sewage outfall (Mediterranean - France). En: Kuo, J., Phillips, R.C., Walker, D.I. & Kirkman, H. (eds.). Seagrass Biology: Proceedings of an International Workshop. Rottneest Island (Western Australia) 25-29 de enero de 1996. pp 299-306.
- Piazzzi, L., Balata, D., Foresi, L., Cristaudo, C., Cinelli, F. (2007). Sediment as a constituent of Mediterranean benthic communities dominated by *Caulerpa racemosa* var. *Cylindracea*. *Scientia Marina*, 71: 129-135.
- Puigserver, M. y Moyà, G. (2010). Estudio del fitoplancton, destinado a la evaluación del estado ecológico de las masas de agua costeras de las Islas Baleares, en el marco de implantación de la Directiva Marco de Agua (WFD). Fase II. Universidad de las Islas Baleares.
- Reñones, O., Moranta, J., Coll, J., Morales-Nin, B. (1997). Rocky bottom fish community of Cabrera Archipelago National Park (Mallorca, Western Mediterranean). *Scientia Marina*, 61 (4):495-506
- Ruiz, J.M., Barberá, C., Marin, L., Garcia, R. (2006). La praderas de *Posidonia oceanica* en Murcia. Red de seguimiento y voluntariado ambiental. Instituto Español de Oceanografía. Centro Oceanográfico de Murcia.
- Sabates, A., Gili, J.M., Pagés, F. (1989). Relationship between zooplankton distribution geographic characteristic and hydrographic patterns off the Catalan coast (Western Mediterranean). *Marine Biology*, 103: 153-159.
- Sanchez-Poveda, M., Martín, M.A., Sanchez-Lizaso, J.L. (1996). Un nuevo índice para caracterizar el estado de conservación de las praderas de *Posidonia oceanica* (L.) Delile. 12ª reunión bienal de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Tomo extraordinario. 125 Aniversario de la R.S.E.H.N., 448-450.
- Syms, C., Jones, G.P. (2000). Disturbance, habitat structure and the dynamics of a coral-reef fish community. *Ecology*, 81: 2714 - 2729.
- Terrados, J. & Medina Pons, F.J. (2008). Epiphyte load on the seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile does not indicate anthropogenic nutrient loading in Cabrera Archipelago National Park (Balearic Island, Western Mediterranean). *Scientia Marina*, 72 (3): 503-510.
- Williams, B.K. (2002). Analysis and Management of Animal Populations. San Diego, USA: Academic Press. 793 pp.
- Wooster, W.S., & Bailey K.M. (1989) Recruitment of marine fishes revisited. In: Effects of ocean variability on recruitment and an evaluation of parameters used in stock assessment models. pp: 153-159. Ed. By R.J. Beamish and G.A., McFarlane. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences. 108.
- Zar, J.H. (1984). Biostatistical analysis. Prentice Hall, Inc New Jersey. 663 pp.









GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN  
Y MEDIO AMBIENTE

ORGANISMO  
AUTÓNOMO  
REGULADOR  
NACIONAL

