



# **ESTRUCTURA ESPACIAL Y DE TALLA DE UNA POBLACION DE LA GORGONIA *PARAMURICEA MACROSPINA* (ANTHOZOA, ALCYONACEA) EN LA PLATAFORMA CONTINENTAL DEL CANAL DE MENORCA.**

*Autor:*  
***Stefano Ambroso***

*Master de ciencias del mar: oceanografía y gestión del  
medio marino*

*Director:*  
***Josep-Maria Gili i Sardà***  
*Institut de Ciències del Mar*  
***CSIC***

*Director:*  
***Andrea Gori***  
*Institut de Ciències del Mar*  
***CSIC***

***Universidad de Barcelona. Septiembre 2011***



## INDEX

### RESUMEN

<b>1 INTRODUCCION .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 PROYECTO LIFE + INDEMARES.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 ESPECIE OBJETO DE ESTUDIO.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 ESTRUCTURA DE TALLA Y ESTRUCTURA ESPACIAL.....</b>	<b>5</b>
<b>2 MATERIAL Y METODOS.....</b>	<b>7</b>
<b>2.1 AREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2 GRABACIÓN DE LOS VIDEOS.....</b>	<b>9</b>
<b>2.3 ANALISIS VIDEO.....</b>	<b>10</b>
<b>2.4 ESTRUCTURA DE TALLA.....</b>	<b>11</b>
<b>2.5 ESTRUCTURA ESPACIAL.....</b>	<b>12</b>
<b>3 RESULTADOS.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1 ESTRUCTURA DE TALLA.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2 ESTRUCTURA ESPACIAL.....</b>	<b>15</b>
<b>4 DISCUSIÓN Y CONCLUSION.....</b>	<b>18</b>
<b>5 LIMITACIONES.....</b>	<b>21</b>
<b>6 BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>22</b>

## RESUMEN

La información que existe de las gorgonias mediterráneas que habitan las plataformas continentales, en comparación con la que se tiene de las poblaciones someras, es muy escasa. Esto se debe a la profundidad que limita su accesibilidad y por lo tanto su estudio.

En el mar Mediterráneo noroccidental se encontraron altas densidades de la gorgonia *Paramuricea macrospina* (Koch, 1882) a profundidades entre 85 y 90 m sobre todo en fondos de maërl. Sobre la ecología de esta especie hay poca información, por lo tanto, nuestros objetivos se enfocaron en investigar su estructura de talla y de población. En septiembre de 2010 y abril de 2011 en el Canal de Menorca se grabaron 10 vídeo-transectos con un sumergible tripulado (JAGO). Mediante el análisis de estos transectos pudimos concluir que la clase de talla más abundante de *Paramuricea macrospina* es la que está entre 10 y 20 cm. Además, se encontró una distribución agrupada en toda el área examinada y patrones espaciales a pequeña y media escala. Comparando nuestros resultados con los de otros estudios sobre otras especies mediterráneas, *Paramuricea macrospina* presenta una altura media inferior a la de *Paramuricea clavata* y una distribución espacial que no llega a cubrir regularmente el sustrato como en el caso de *Eunicella singularis*. Esto se debe a que los fondos de maërl presentan una menor estabilidad y una mayor vulnerabilidad a los efectos de la pesca, que el sustrato rocoso.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Las gorgonias están entre las principales especies estructurales (Jones et al. 1994) de muchas comunidades bentónicas de áreas tropicales (arrecifes de coral) y templadas (coralígeno), donde contribuyen significativamente al mantenimiento de la elevada biodiversidad que caracteriza estas comunidades (Lasker y Coffroth 1983; Gili y Ros 1985). En general, las gorgonias son especies muy longevas, que presentan un crecimiento lento y una madurez sexual tardía (Musick 1999). Se trata de especies que presentan dinámicas de población muy lentas y esto las hace especialmente vulnerables a los efectos de muchas actividades antrópicas (Linares et al. 2007). Por estos motivos, es muy importante conocer sus pautas de distribución y sus características demográficas con el fin de desarrollar eficientes planes de gestión y conservación (Mora y Sale 2011).

En los últimos 20 años el conocimiento sobre las poblaciones más someras de las especies de gorgonias del Mediterráneo ha aumentado considerablemente (Gili y Coma 1998; Ribes et al. 2007; Linares et al. 2008) debido al extendido uso del buceo con escafandra autónoma para la recogida de muestras a profundidades hasta los 40 m (Sink et al. 2006). En contra, existe a día de hoy una gran falta de información sobre las comunidades bentónicas de fondos rocosos que se encuentran a profundidades entre 40 y 150 metros (Sink et al. 2006). Esto se debe al hecho de que estas comunidades no pueden ser muestreadas mediante redes de arrastre o dragas, así como al hecho de que la gran mayoría de los estudios llevados a cabo utilizando ROVs (Remotely Operated Vehicles) y sumergibles tripulados se han concentrado principalmente a profundidades superiores a 150 m (Sink et al. 2006; Virgilio et al. 2006).

Sin embargo, el reciente desarrollo y la mayor accesibilidad a ROVs y sumergibles tripulados está permitiendo el multiplicarse de estudios cualitativos y cuantitativos sobre las comunidades de los fondos rocosos localizadas a profundidades mayores de 40 metros (Mortensen y Buhl-Mortensen 2005; Gori et al. 2011a), evidenciando la presencia de frecuentes y densas poblaciones de gorgonias (Bo et al. 2009; Gori et al. 2011b).

Las técnicas de muestreo mediante ROVs, además de permitir muestrear dentro de un elevado rango de profundidades, permiten obtener datos en una

amplia extensión espacial y con un mínimo efecto destructivo sobre las comunidades bentónicas estudiadas (Mortensen y Buhl-Mortensen 2005).

En los últimos años se están invirtiendo muchos recursos para analizar los efectos de la pesca sobre las comunidades bentónicas de las plataformas continentales (de Juan 2007). El uso del arrastre como principal técnica de pesca representa una seria amenaza para la diversidad de muchas de estas comunidades. Esta técnica de pesca tiene los mismos efectos devastadores que produce un corte de un bosque entero en tierra (Watling y Norse 1998). Debido al papel estructural que juegan las gorgonias en las comunidades bentónicas, éstas suelen funcionar como hábitat de refugio para muchas especies de peces y invertebrados (Krieger y Wing 2002). Eliminando las especies estructurales de las comunidades bentónicas, se produce una importante disminución de la biodiversidad local, amenazando la sostenibilidad de todo un ecosistema (Thrush y Dayton 2002). Además, muchos estudios indican que el mantenimiento de la biodiversidad es más simple que su restauración, y dependiendo de la naturaleza y extensión de los impactos, el ecosistema dañado puede tardar años en volver a su estado inicial (Scheffer y Carpenter 2003).

### 1.1 PROYECTO LIFE + INDEMARES

En respuesta a un creciente interés sobre el estado de conservación de áreas de elevado interés ecológico, la Unión Europea (UE) ha promovido recientemente programas de investigación con el objetivo de proteger diferentes áreas marinas. El presente estudio forma parte del proyecto europeo LIFE + Indemares, cofinanciado por la UE, y tiene como objetivo

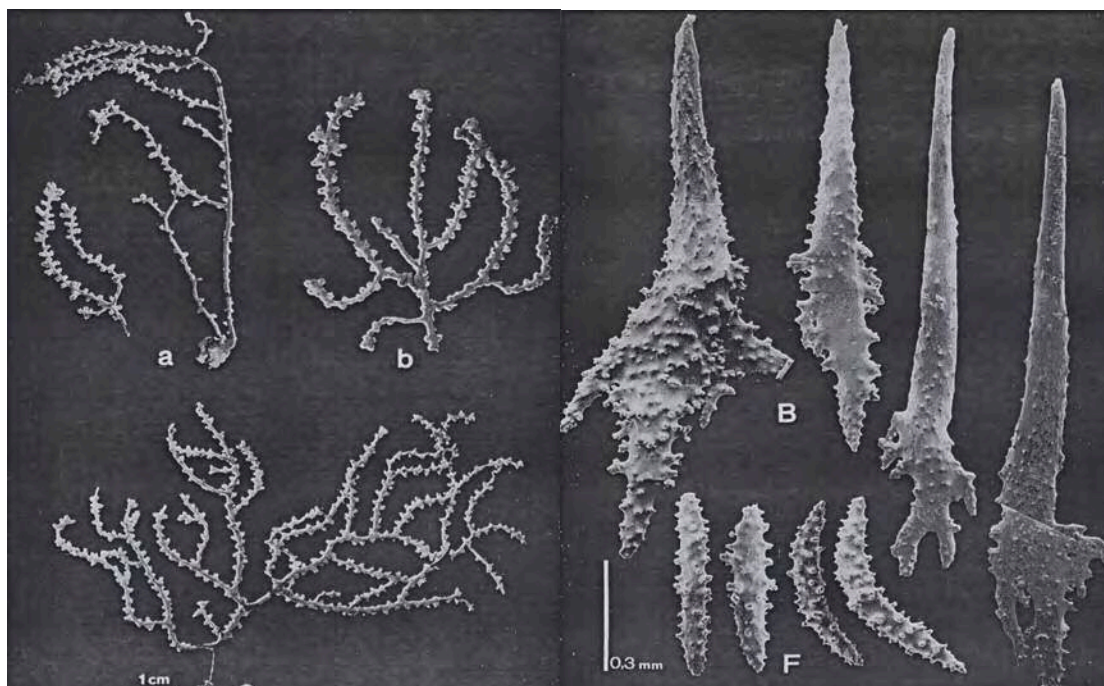


**Figura 1** – Mapa de las 10 áreas de estudio del proyecto INDEMARES. ([http://www.indemares.es/index.php?option=com\\_content&view=article&id=27&Itemid=56&lang=en](http://www.indemares.es/index.php?option=com_content&view=article&id=27&Itemid=56&lang=en))

contribuir a la protección y al uso sostenible de la biodiversidad en los mares españoles mediante la identificación de áreas de interés ecológico. En España, casi una cuarta parte del territorio terrestre forma ya parte de la Red Natura 2000. Sin embargo, en el ámbito marino, la Red Natura 2000 se encuentra muy poco desarrollada. Los altos costes y la complejidad asociados a la realización de estudios en zonas alejadas de la costa y a grandes profundidades dificultan la disponibilidad de información científica sobre hábitats y especies que debe guiar la identificación de los espacios a incluir en dicha red. Para recabar esta información y emprender las acciones de conservación y gestión oportunas, es preciso realizar un gran esfuerzo de caracterización de los ecosistemas marinos ([www.indemares.es](http://www.indemares.es)). En el 2005 fueron seleccionadas por el Gobierno Español 10 áreas en el océano Atlántico y en el mar Mediterráneo (Fig. 1) que suponen una superficie aproximada total de más de 2,5 millones de hectáreas. Dichas áreas forman parte de una propuesta de inventariación de la biodiversidad marina del Ministerio de Medio Ambiente (2004) y de la propuesta de una Red Representativa de Áreas Marinas Protegidas en España, que WWF España realizó en el año 2005. La región del Canal de Menorca fue propuesta como una de estas áreas de estudio.

## **1.2 ESPECIE OBJETO DE ESTUDIO**

En la plataforma continental de dicho canal, sobre fondo de maërl, se ha observado la presencia de la gorgonia *Paramuricea macrospina* (Koch, 1882) (Cnidaria, Octocorallia, Alcyonacea, Plexauridae). Generalmente, desde un punto de vista morfológico, las colonias de *Paramuricea macrospina* son más pequeñas, más frágiles y menos ramificadas, si comparadas con su especie mediterránea más cercana, *Paramuricea clavata* (Risso, 1826). El color puede variar entre blanco, amarillento y anaranjado (Fig. 2).

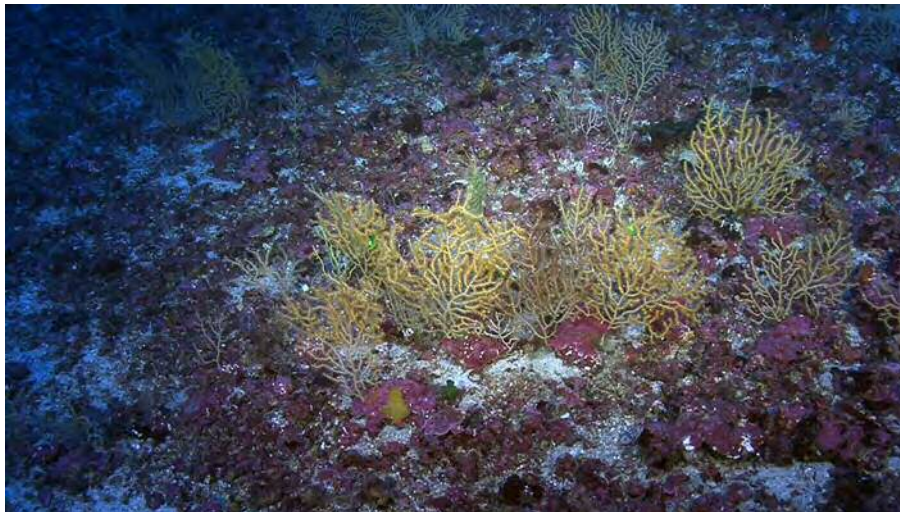


**Figura 2** – Morfología de las colonias de *Paramuricea macrospina* y características morfológicas de las espículas (Carpine y Grasshoff, 1975).

Los pólipos de esta especie presentan un cáliz cilíndrico que en una misma colonia puede ser de diferentes dimensiones. Las espículas tienen diferentes formas según la zona en la que se encuentren. En los cálices más grandes suelen haber 8 espículas muy alargadas dispuestas alrededor del pólipo y con una extremidad ramificada. Las mismas espículas, pero más cortas, se encuentran en los cálices de menor dimensión. Espículas aún más pequeñas se encuentran en el cenénquima que separa los diferentes pólipos (Fig. 2). El cenénquima puede tener una superficie arrugada o lisa, según que las espículas estén en una posición irregular o dispuestas paralelamente entre ellas (Carpine y Grasshoff 1975). Las espículas más largas presentes alrededor del cáliz, principal característica de *Paramuricea macrospina*, han sido repetidamente causa de errores en la diferenciación de las dos especies: *Paramuricea macrospina* y *Paramuricea clavata*. Ambas especies pueden presentar los dos tipos de espículas (largas y cortas), aunque las espículas más largas se encuentren más fácilmente en *Paramuricea macrospina* (Carpine y Grasshoff 1975). En el 1887 Koch no distinguió los dos tipos de espículas así que clasificó las dos especies como una sola. En el 1942, Stiasny distinguió las dos especies analizando las dos tipologías de espículas. Finalmente en el 1952 Pax y Muller analizaron ambos tipos de espículas pero cambiaron el nombre de *Paramuricea macrospina* en *Paramuricea placomus*,



aumentando aún más la confusión sobre esta especie (Carpine y Grasshoff 1975). *Paramuricea macrospina* raramente suele compartir el mismo hábitat con *Paramuricea clavata*. Mientras *Paramuricea clavata* se encuentra en comunidades de fondo rocoso vertical y en la comunidad del coralígeno (Mistri y Ceccherelli 1994), *Paramuricea macrospina* se encuentra preferentemente en fondos de maërl (Fig. 3) a profundidades entre



**Figura 3** – Fondo de maërl con colonias de *Paramuricea macrospina*. Plataforma canal de Menorca Prof. 85m (IFM-GEOMAR).

los 40 y los 100 metros, pero se puede encontrar hasta los 200 metros en frente de Saint-Tropez y en el golfo de Génova (Rossi 1959). *Paramuricea macrospina* es también abundante en la costa occidental de Córcega, en la costa de Túnez, en el golfo de Nápoles y en el Adriático, donde se encuentra en zonas más someras, mientras que se ha encontrado alrededor de los 100 metros en los fondos entre Sicilia y Túnez y en el Mar Egeo (Pérès y Picard 1956).

### **1.3 ESTRUCTURA DE TALLA Y ESTRUCTURA ESPACIAL**

Tanto la estructura de talla como la estructura espacial (la forma que tienen las colonias de ocupar el espacio) de una población de gorgonias reflejan los factores que afectan el reclutamiento, crecimiento, y las tasas de mortalidad para un período de tiempo igual a la longevidad de la misma población (Grigg 1975). El reclutamiento determina la entrada de nuevos individuos en una población y está influenciado por las características reproductivas de la especie, las capacidades de dispersión de las larvas, las características del fondo y el hidrodinamismo (Edmunds 2000). Sucesivamente los principales



factores ambientales, la disponibilidad de alimento, así como las interacciones biológicas (intra e inter específicas) y las perturbaciones determinan el crecimiento y la mortalidad de los individuos. La interacción entre reclutamiento, crecimiento y supervivencia determina la estructura de talla y la estructura espacial de las poblaciones de gorgonias (Dunstan y Johnson 1998). A su vez, ambas estructuras juegan un papel importante en la determinación de procesos biológicos como la reproducción y la alimentación (Dale 1999).

La distribución de los individuos en una población puede ser agrupada, regular o aleatoria. En una distribución agrupada los individuos forman regiones con alta densidad que se definen como *patches* alternadas a regiones con baja densidad denominados *gaps* (Dale y Blundon 1991; Dale 1999). En una distribución regular los individuos están separados el uno del otro por distancias fijas, mientras que en una distribución aleatoria los individuos están dispuestos al azar. En un estudio de la estructura espacial de cualquier población, un concepto muy importante que hay que tener en cuenta es que las pautas de distribución de una especie dependen de la escala a la que se examina el sistema (Duncan 1991; Skarpe 1991). En el caso de distribuciones no aleatorias, las estructuras espaciales resultantes tienen escalas (Dale 1999) que pueden cambiar a lo largo del desarrollo de una población. En general, en las primeras etapas de colonización de una nueva área la población presenta una estructura espacial a pequeña escala; a medida que la sucesión avanza, los grupos de individuos se hacen más grandes y eventualmente se fusionan, así que las pautas a pequeña escala desaparecen y la población presenta pautas espaciales a escalas siempre más grandes (Skarpe 1991). En estudios efectuados sobre gorgonias tropicales (Yoshioka y Yoshioka 1989) se observó que los reclutas se asientan mayoritariamente cerca de la base de las colonias que estaban previamente en la misma zona, sugiriendo que las colonias más viejas tienen un efecto positivo en el reclutamiento. De este modo, la dispersión filopátrica de los nuevos reclutas causa una distribución agrupada de los individuos alrededor de la colonia madre (Kershaw 1959; Yoshioka y Yoshioka 1989). En especies vegetales terrestres, la dispersión filopátrica de las semillas alrededor de la planta madre puede dar lugar a una distribución agrupada. La competencia intraespecífica puede convertir esta distribución inicialmente agrupada en aleatoria y finalmente en una distribución regular de los individuos

(King y Woodell 1973).

En este estudio nos propusimos los siguientes objetivos:

- obtener datos de presencia y abundancia de la gorgonia *Paramuricea macrospina* en la plataforma continental del Canal de Menorca,
- estudiar la estructura de talla de sus poblaciones,
- estudiar la estructura espacial de sus poblaciones.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 ÁREA DE ESTUDIO

El archipiélago de las Islas Baleares dista de la Península Ibérica aproximadamente 170 km. Separadas por un corredor marino de 36 km de amplitud mínima (desde Cala Ratjada a Cap d'Artrutx), las islas de Mallorca y Menorca comparten una misma plataforma insular (Fig. 4).

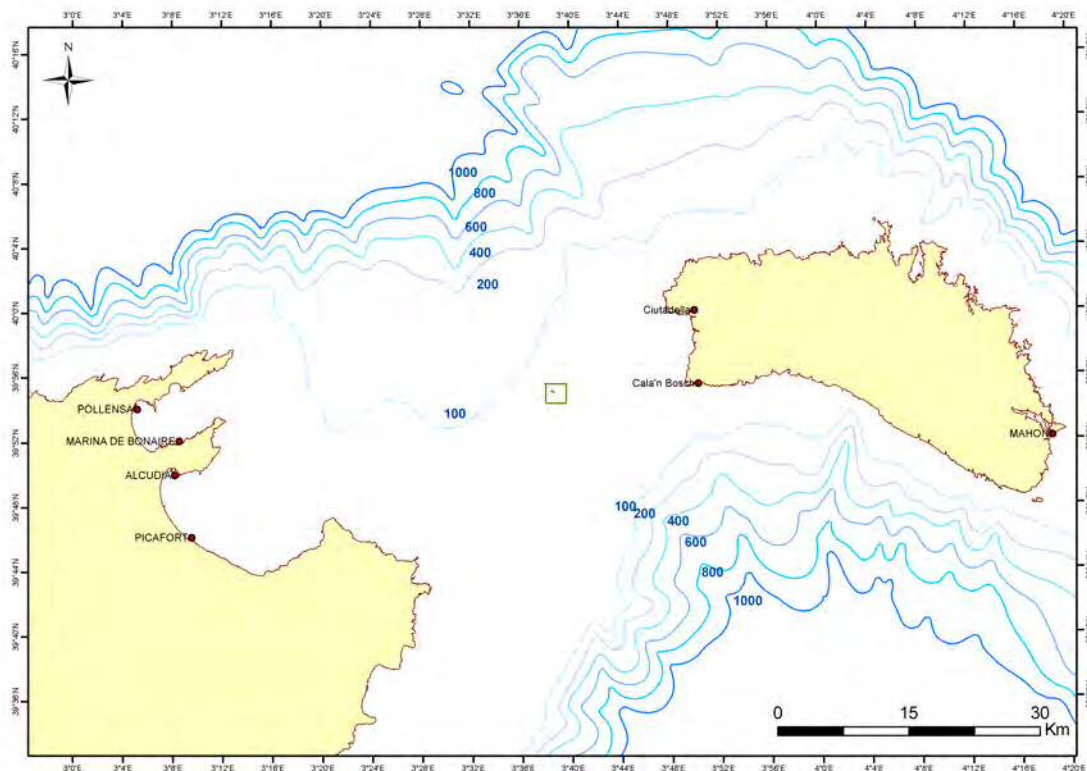


Figura 4 – Posición del área de estudio en la plataforma del canal de Menorca.

El canal marino que separa ambas islas, conocido como Canal de Menorca, posee fondos de plataforma someros de escasos 100 m de profundidad (Canals y Ballesteros 1997).

Las condiciones térmicas y salinas del área de estudio son altamente estables por debajo de los 200 metros, con una salinidad de 38,3-38,5 psu y una

temperatura de 13-13,5°C (Massuti y Reñones 2005), mientras que las aguas someras muestran variaciones estacionales, alcanzando los 13°C en invierno y 27°C en verano. En este periodo, un fuerte y claro gradiente de temperatura se establece entre los 50 y 100 m de profundidad (Fernández-Puelles et al. 2004). Morfológicamente, el Canal de Menorca se caracteriza por un fondo regular, y sometido a un régimen hidrodinámico intenso (Alonso et al.1988). La plataforma continental alrededor de Mallorca y Menorca está bastante reducida y está caracterizada básicamente por fondos arenosos y fondos arenoso-fangosos (Massuti y Reñones 2005). Las únicas excepciones son las bahías de Alcúdia, Pollença, Palma y los canales entre Mallorca y Menorca, y entre Mallorca y Cabrera donde aumenta la presencia de fondos de arena fangosa y la plataforma continental se hace más ancha (Canals y Ballesteros 1997). Además, la ausencia de aportes sedimentarios por ríos reduce la presencia de sedimentos terrígenos fangosos. Consecuentemente, en contraste con los fondos de la Península Ibérica, los fondos fangosos de las Islas Baleares son básicamente de origen biogénico (Canals y Ballesteros 1997). Además de fondos blandos, la plataforma continental está caracterizada también por fondos de maërl y rocas coralígenas que se desarrollan sobre todo por debajo de los 35-40 m alcanzando los 90 m de profundidad (Canals y Ballesteros 1997). Los fondos de maërl se establecen sobre fondos de sustrato blando de la zona fótica, dependiendo su distribución batimétrica de la transparencia de las aguas, encontrándose en zonas de corrientes intensas y unidireccionales. Son comunidades vegetales caracterizadas por la acumulación de algas rodofíceas calcáreas (Canals y Ballesteros 1997) y presentan una elevada diversidad, tanto en grupos taxonómicos como tróficos, estando constituidas por más de 300 especies de macrófitos y 700 especies animales (Kamenos et al. 2004). Cada rodolito está formado por un alga coralinácea cuya forma varía fundamentalmente dependiendo de la especie que lo constituye y de las condiciones hidrodinámicas. Así, en zonas con corrientes moderadas los rodolitos suelen ser ramificados y de pequeño tamaño, mientras que son redondeados y más grandes en zonas con corrientes de mayor intensidad (Keegan 1974). El crecimiento de los rodolitos depende de la especie de alga que lo forma y de las condiciones ambientales (iluminación, nutrientes, temperatura, hidrodinamismo) pero en todo caso sus tasas de crecimiento son

muy bajas por lo que los grandes lechos de maërl pueden tardar cientos o miles de años en desarrollarse (Kamenos et al. 2004).

## 2.2 GRABACIÓN DE LOS VÍDEOS

Los dos vídeo-transectos que se utilizaron para este estudio, se registraron en la plataforma continental que separa la isla de Mallorca de la de Menorca, uno durante la campaña oceanográfica Indemares 3 (3-14 Septiembre 2010) y el otro durante la campaña Indemares 4 (31-10 Abril 2011), dentro del proyecto europeo LIFE+ Indemares. Las profundidades a las que se grabaron estos vídeo-transectos van desde los 75 hasta los 92 m de profundidad. Para las grabaciones se utilizó en ambas campañas el sumergible tripulado JAGO (Leibniz Institute of Marine Sciences [IFM-GEOMAR], Kiel), a bordo del buque oceanográfico García del Cid (Fig. 5).



**Figura 5** – Sumergible tripulado JAGO (Leibniz Institute of Marine Sciences, Kiel) usado para la grabación de los vídeo-transectos [IFM-GEOMAR].

Los vídeo-transectos fueron grabados en cintas de vídeo usando una vídeo camera SONY HDV que permitía obtener imágenes en alta definición (1080 líneas de resolución horizontal). El submarino estaba equipado con dos láseres paralelos que distaban el uno del otro por 50 cm, permitiendo tener una escala por toda la longitud de los transectos y un *LinkQuestTrackLink* 1500 HA junto

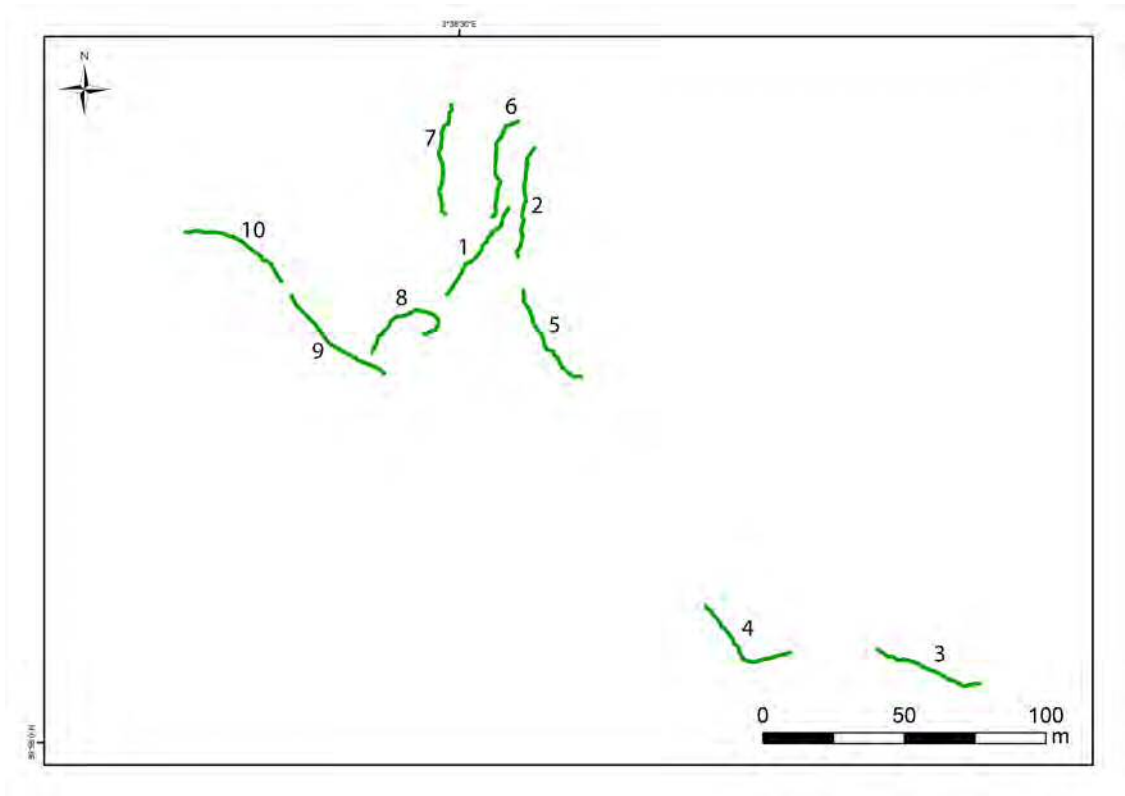
con un transponder TN 1510B para registrar las posiciones exactas del JAGO cada 10 segundos. Estos datos fueron analizados utilizando el software ArcGIS obteniendo el mapa de las posiciones y las longitudes de los transectos.

### **2.3 ANÁLISIS VÍDEO**

Los vídeos fueron digitalizados, transfiriendo toda la información en un disco duro mediante el software Final Cut Pro 6 (Apple). La digitalización de las imágenes se hizo convirtiendo todos los vídeos grabados en calidad HDV (1920 x 1080 líneas) a ficheros en formato .mov.

El primer paso antes de poder empezar el análisis cuantitativo de los vídeos fue la identificación de las secuencias en las que el sumergible se quedaba parado en el fondo (recogiendo muestras, fotografiando, etc.). Estas secuencias se eliminaron para no sobreestimar la longitud de los transectos. Este proceso hizo que de un total de 5 horas y 15 minutos de vídeo registrados se pasara a 3 horas de vídeo utilizable por el análisis cuantitativo.

El segundo paso fue la identificación de las secuencias no analizables, así como aquellos tramos de vídeo en que el sumergible se está moviendo pero está demasiado lejos del fondo, o va de lado, o no se ven los láseres o hay poca visibilidad por culpa del sedimento en suspensión. Se apuntaron también las características del fondo marino a lo largo de cada transecto, diferenciando fondos blandos, fondos rocosos, maërl, fango y fondos sedimentarios con restos detríticos. Finalmente, una vez editado el vídeo y mapeado el recorrido del submarino en el fondo, se definieron 10 transectos de 40 metros cada uno (Fig. 6; Tabla 1) en los cuales se estudiaron la estructura de talla y la estructura espacial de las colonias de *Parmuricea macrospina*.



**Figura 6** – Mapa de la posición de los 10 transectos usados para el estudio de talla y espacial de las colonias de *Paramuricea macrospina* en el área de estudio (ver fig. 4).

En estos transectos el sumergible se movía con una dirección aproximadamente recta, a una velocidad constante siendo posible la identificación de todas las colonias de gorgonias presentes.

**Tabla 1** – Listado de los transectos, respectivas coordenadas geográficas, longitud, duración de la grabación (s) y velocidad del ROV (m/s).

Transecto	Longitud (m)	Lat I	Long I	Lat F	Long F	s	m/s
1	40	39,918083	3,641585	39,918328	3,641817	140	0,29
2	40	39,918548	3,64195	39,818217	3,641875	140	0,29
3	40	39,916833	3,643773	39,916922	3,643398	143	0,28
4	40	39,916937	3,64299	39,91754	3,642403	161	0,25
5	40	39,917818	3,642403	39,91808	3,641903	172	0,23
6	40	39,91833	3,641772	39,918627	3,641868	154	0,26
7	40	39,918687	3,661608	39,918348	3,64157	133	0,30
8	40	39,917957	3,64159	39,917908	3,641278	132	0,30
9	40	39,917832	3,641323	39,918055	3,64096	129	0,31
10	40	39,91813	3,6409	39,918287	3,64052	188	0,21



## **2.4. ESTRUCTURA DE TALLA**

La estructura de talla se investigó midiendo la altura máxima de las colonias de *Paramuricea macrospina* mediante el software Carnoy (Schols y Smets 2001) en imágenes extraídas del vídeo donde los punteros láseres estaban en el mismo plano del pie de la gorgonia. La distancia entre los láseres se utilizó para calibrar las imágenes para luego poder medir la altura desde el pie de cada colonia hasta el final de la rama más alta. Todas las colonias fueron repartidas en 5 clases de talla, con rangos de 10 cm cada una. Finalmente se calcularon los porcentajes de las colonias pertenecientes a cada clase de talla y se representaron gráficamente.

## **2.5. ESTRUCTURA ESPACIAL**

El estudio de la estructura espacial se condujo en los mismos transectos marcando la posición de cada colonia a lo largo de cada transecto. La estructura espacial fue analizada aplicando técnicas de estadística espacial utilizando el programa PASSAGE 2.0 (Rosenberg 2008). La distribución de las colonias jóvenes y de las adultas a lo largo de los transectos se representó en gráficas de distribución de densidad (*density plots*). Se consideraron como colonias pequeñas las colonias más pequeñas que se podían distinguir desde el vídeo (2 – 5 cm de altura). Para estudiar el tipo de distribución de las colonias (agregado, casual o regular) a múltiples escalas, se ha utilizado la versión unidimensional de la función K de Ripley, graficada como función L:  $L(t)=t - K(t)/2$  (Ripley 1976, 1981, Haase et al. 1996, Fortin y Dale 2005) con una corrección de margen para las colonias cercanas a los márgenes del transecto (Fortin y Dale 2005). Esta estadística ha sido aplicada en el pasado para el estudio de las pautas de distribución de plantas en forestas tropicales (Sternier et al. 1986), en ambientes desérticos (Skarpe 1991) y en estepas (Zhang y Skarpe 1995) pero más recientemente también para el estudio de corales y gorgonias (Orejas et al. 2009, Gori et al. 2011). En la estadística K de Ripley, se contrasta la distribución observada contra la hipótesis nula de una distribución espacial casual, mediante la generación de 999 distribuciones aleatorias del mismo número de colonias (Haase 1996). Valores superiores al 95% de los valores obtenidos en estas distribuciones aleatorias indican una distribución regular de las colonias, valores menores indican una distribución

agrupada, mientras que valores intermedios indican una distribución casual de las colonias (Fortin y Dale 2005).

Para determinar la escala de las pautas de distribución se utilizó la estadística espacial Three-Term Local Quadrat Variance (3TLQV) (Dale 1999). Para hacer esto cada transecto fue transformado en una serie continua de rectángulos (0,2 \* 0,5 m) y se contó el número de colonias grandes y pequeñas por cada unidad. La estadística 3TLQV examina la abundancia de gorgonias que hay entre tres bloques contiguos formados por número progresivamente mayores de rectángulos. El programa suma el número de gorgonias que hay en los dos bloques laterales restando dos veces el número de gorgonias presentes en el bloque central. Los valores resultantes se representan gráficamente como función de la escala (el número de rectángulos), y los máximos relativos son indicativos de un patrón de distribución a la escala correspondiente (Dale 1999).

Por último, se analizó la covariancia espacial entre las colonias grandes y las pequeñas mediante la estadística espacial Three-Term Local Quadrat Covariance (3TLQC) (Dale y Blundon 1991; Rosenberg 2008). Mediante este análisis es posible ver si la distribución de las colonias pequeñas (2 - 5 cm de altura máxima) está influenciada por la distribución de las colonias grandes. Definida  $V_A$  como la variancia de la distribución de densidad de las colonias pequeñas,  $V_B$  como la de las colonias grandes y  $V_{A+B}$  como la variancia de la suma de las colonias grandes y pequeñas, entonces la covariancia se puede definir como:  $Cov = (Var_{A+B} - Var_A - Var_B)/2$  (Kershaw 1959; Dale 1999).

### **3 RESULTADOS**

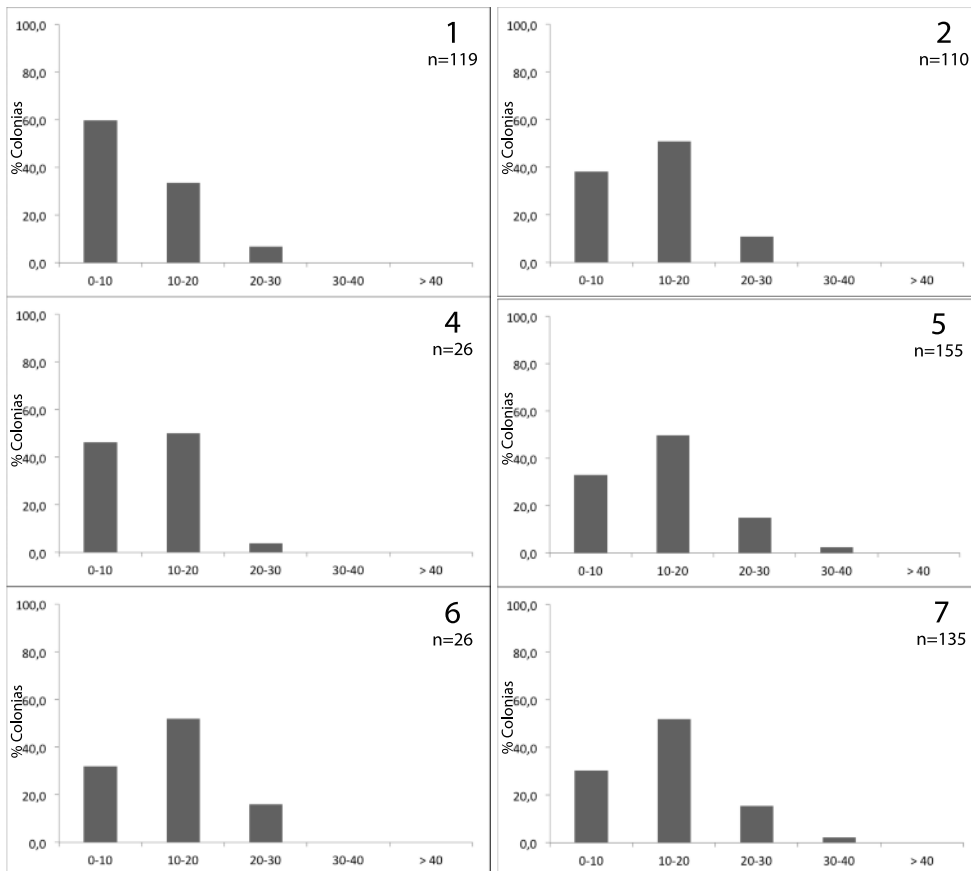
#### **3.1 ESTRUCTURA DE TALLA**

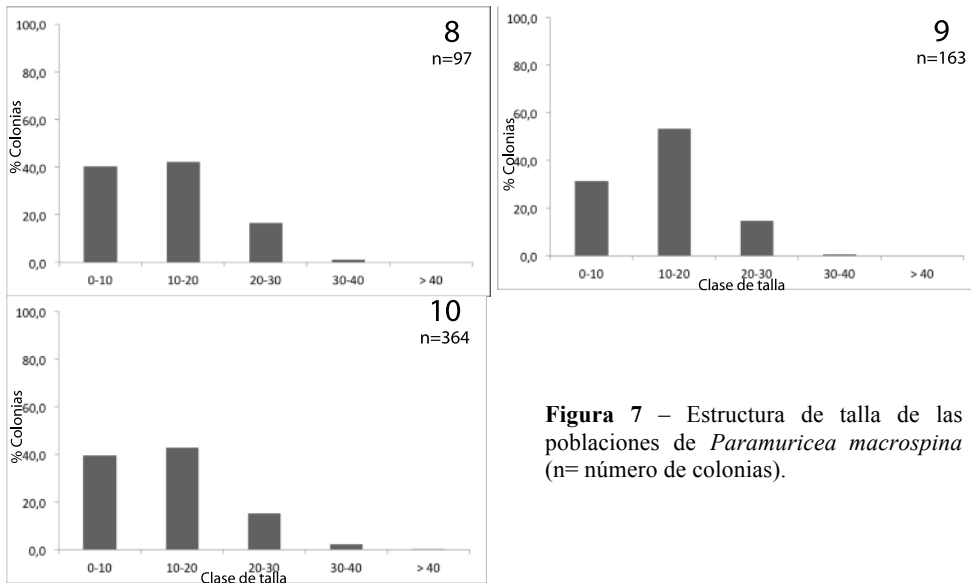
Colonias de *Paramuricea macrospina* se observaron en 9 de los 10 transectos analizados, y para el estudio de la estructura de talla se midieron un total de 1194 colonias. La altura mínima y máxima de las colonias se encontraron respectivamente en el transecto 1 (1,9 cm) y en el transecto 10 (41,5 cm), mientras que la media por todo el área de estudio ha resultado ser de  $12,8 \pm 6,6$  cm. Comparando entre los diez transectos, el transecto 1 presentó una altura media más baja que los demás transectos, mientras que la altura media más alta se encontró en el transecto 5 (Tabla 2).

**Tabla 2** – Características de la estructura de talla de las poblaciones de *Paramuricea macrospina*.

Transecto	Número colonias	Media	Altura		
			DS	Máxima	Minima
1	119	9,15	5,5	22,5	1,9
2	110	12,38	5,7	26,4	2,7
3	0	0	0	0	0
4	26	10,22	4,6	20,1	5,0
5	155	14,19	6,8	35,5	2,9
6	25	14,00	6	29,4	5,3
7	135	14,00	6,2	35,5	3,2
8	97	13,20	6,8	30,6	2,9
9	163	13,19	6,1	34,6	2,8
10	364	13,08	7	41,4	3,1
total	1194	12,85	6,6	41,4	1,9

La mayoría de los transectos mostraron una distribución simétrica con alta presencia de colonias con altura entre los 10 y los 20 cm. Solamente en un transecto (1), se encontró una distribución asimétrica dominada por colonias pequeñas (Figura 7).





**Figura 7** – Estructura de talla de las poblaciones de *Paramuricea macrospina* (n= número de colonias).

### 3.2 ESTRUCTURA ESPACIAL

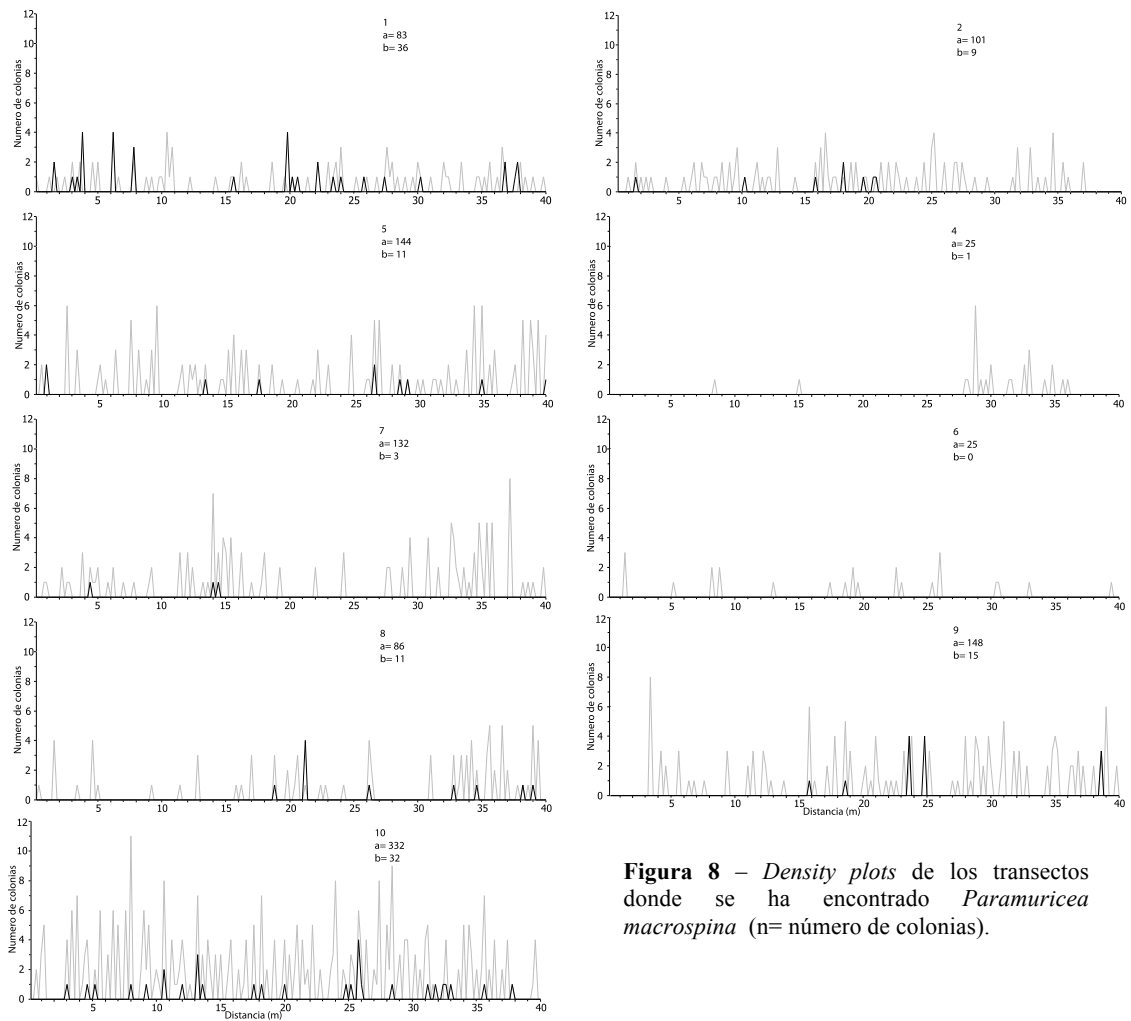
Para el estudio de la estructura espacial se registró la posición de un total de 1199 colonias.

La densidad de las colonias a lo largo de cada transecto, la densidad de las colonias en los rectángulos ocupados y el porcentaje de rectángulos ocupados (grado de ocupación del espacio) resultaron bastante variables de un transecto a otro (Tabla 3).

**Tabla 3** – Densidad y ocupación de *Paramuricea macrospina* en los transectos.

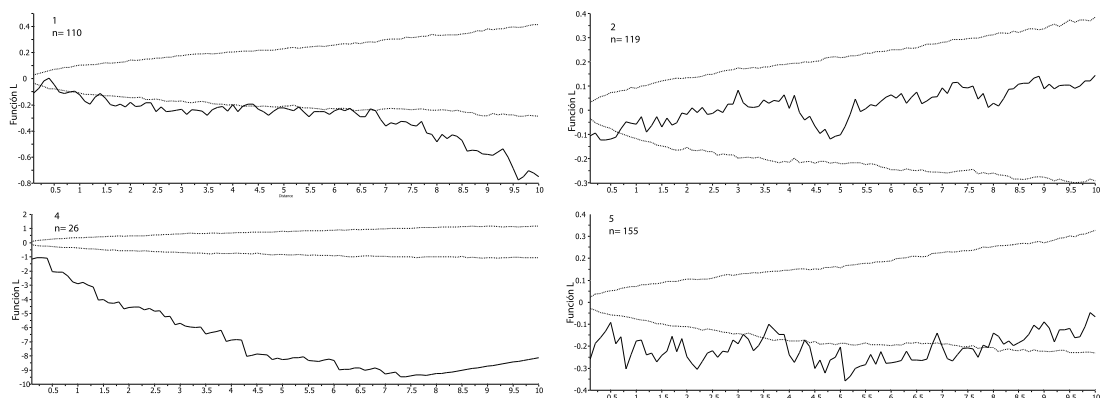
Transectos	Densidad	Ocupación	DS	% Cuadrados Ocupados
1	0,60	1,7	1,0	34,5
2	0,55	1,7	0,9	32
3	0	0	0	0
4	0,13	1,6	1,3	8
5	0,75	2,6	1,7	30
6	0,13	1,5	0,7	8,5
7	0,68	2,5	1,7	27,5
8	0,49	2,6	1,5	19
9	0,82	2,8	1,7	29,5
10	1,82	3,7	2,4	49,5

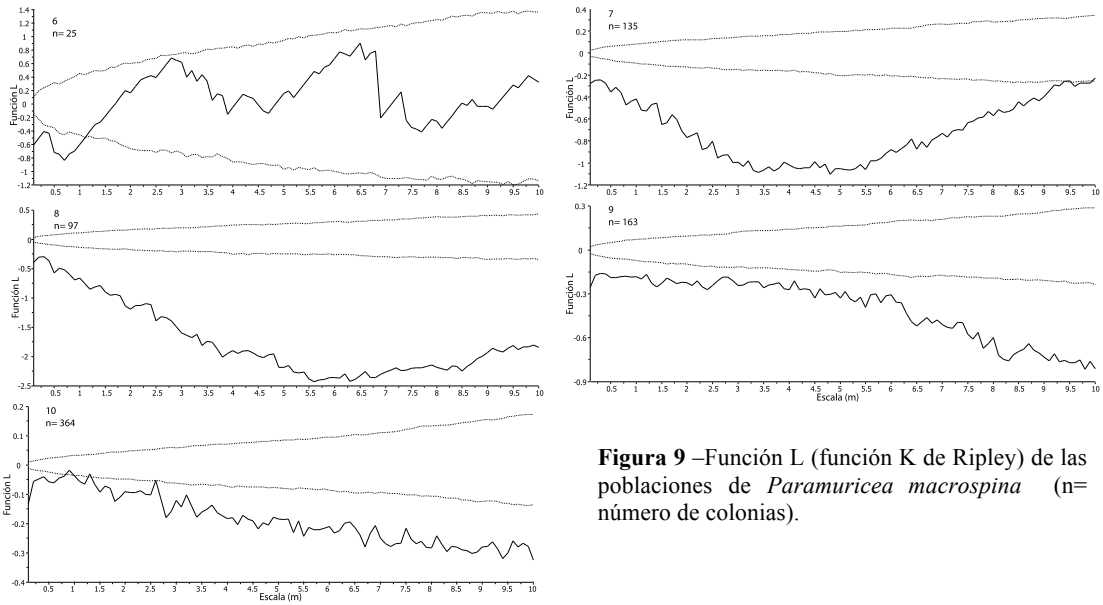
La densidad y el grado de ocupación del espacio más elevados se encontraron en el transecto 10; por el contrario, en el transecto 4 se encontró el menor número de gorgonias (Figura 8, Tabla 3).



**Figura 8** – Density plots de los transectos donde se ha encontrado *Paramuricea macrospina* (n= número de colonias).

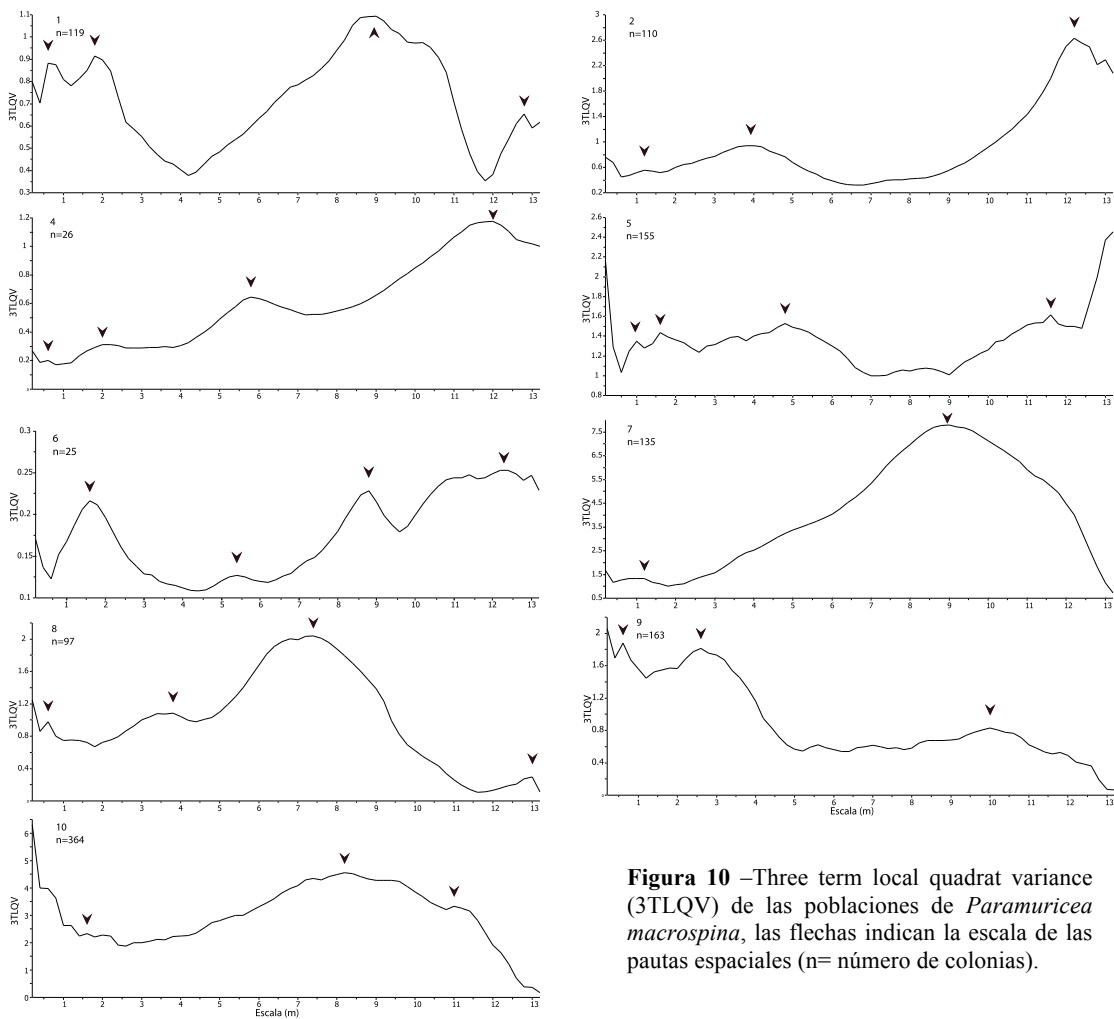
La estadística K de Ripley reveló que en siete de los nueve transectos, las gorgonias mostraron una distribución agrupada para todas las escalas examinadas. Solamente en dos transectos (2 y 6) la distribución cambia de agrupada a aleatoria por encima de una escala de 0,7 y 1,2 m. (Figura 9).





**Figura 9** –Función L (función K de Ripley) de las poblaciones de *Paramuricea macrospina* (n= número de colonias).

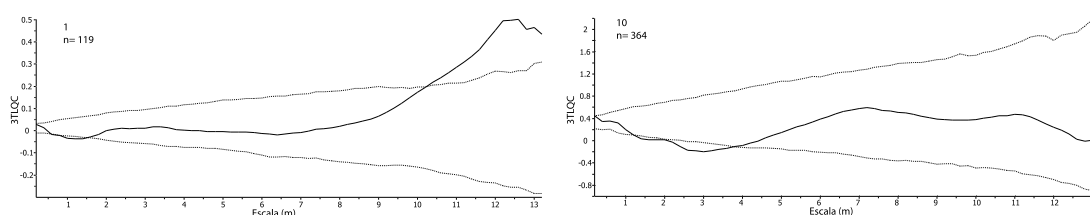
La estadística 3TLQV indicó que todas las poblaciones presentaron una pauta espacial a pequeña escala entre 0,7 y 1,5 m. Pautas espaciales a escalas mayores se han visto en todas las poblaciones entre 2 y 13 m (Figura 10).



**Figura 10** –Three term local quadrat variance (3TLQV) de las poblaciones de *Paramuricea macrospina*, las flechas indican la escala de las pautas espaciales (n= número de colonias).



Solamente en dos transectos (1 y 10) la densidad de las colonias pequeñas fue bastante elevada para permitir la aplicación de la estadística 3TLQC. En ambos transectos, resultó una correlación negativa entre las dos clases de talla a escalas pequeñas (desde 0,3 hasta 3,8 m), indicando que donde las colonias grandes están presentes, las pequeñas no aparecen y viceversa. A las demás escalas las colonias pequeñas resultaron distribuidas de forma independiente de las colonias grandes. Sólo en el transecto 1 se observa, a una escala mayor (10,3 m), una asociación significativa entre colonias grandes y pequeñas (Figura 11).



**Figura 11** –Three term local quadrat covariance (3TLQC) de dos transectos donde aparecieron suficientes colonias pequeñas de *Paramuricea macrospina*, (n= número de colonias).

#### 4 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Este trabajo demuestra que *Paramuricea macrospina* es una especie frecuente y abundante en el área investigada del Canal de Menorca. Debido a las escasas informaciones previas disponibles sobre *Paramuricea macrospina*, este estudio es el primero en examinar aspectos de su ecología y las características de su distribución.

Los resultados sobre la estructura de talla nos indican que en las poblaciones de *Paramuricea macrospina* presentes en el Canal de Menorca prevalecen individuos de clase de talla mediana (entre 10 y 20 cm). Esta estructura de talla se considera como el resultado de pasados eventos de reclutamiento (Grigg 1975, Lasker 1991) o como típica de poblaciones en un estado de desarrollo más maduro en las cuales el reclutamiento es limitado por la presencia de muchas colonias grandes de la misma especie. Poblaciones con estructura de tallas de este tipo se han observado en especies de gorgonias tropicales (Yoshioka 1994), de aguas profundas (Mortensen y Buhl-Mortensen 2005), así como en otras especies de gorgonias Mediterráneas como *Paramuricea clavata* (Linares et al. 2008), *Eunicella cavolinii* (Weinbauer y Velimirov 1996) y

poblaciones profundas de *Eunicella singularis* (Gori et al. 2011b). Al contrario, muchas poblaciones de *Corallium rubrum* están mayoritariamente dominadas por individuos pequeños, mostrando un reclutamiento intenso (Santangelo y Abbiati 2001), y poblaciones someras de *Eunicella singularis* presentan también estructuras de talla dominadas por colonias pequeñas (Linares et al. 2008, Gori et al. 2011b).

Varios factores pueden ser los responsables de la prevalencia de una u otra clase de talla (competición intraespecífica, presencia y tipo de sustrato colonizable y eventos de fuerte reclutamiento). La variación en el reclutamiento puede afectar significativamente la estructura de talla de una población. Un momento de alto reclutamiento, evidentemente causa un aumento de la densidad de la población. Estos eventos consiguen modificar también la estructura de talla de la población, aumentando considerablemente la abundancia de organismos pequeños (Gotelli 1991). Nuestros datos excluyen un reciente evento de reclutamiento muy elevado, debido al bajo porcentaje observado de colonias pequeñas.

Además, las alturas máximas de las colonias de *Paramuricea macrospina* observadas en este trabajo han resultado ser superiores a las alturas descritas previamente por esta especie (Carpine y Grasshoff 1975), apuntando también al hecho de que se trate de poblaciones más bien maduras. Pero, al comparar estos valores con los valores observados en *Paramuricea clavata*, la única otra especie mediterránea del mismo género, *Paramuricea macrospina* resulta tener colonias significativamente más pequeñas. Siendo el maërl un tipo de sustrato mucho menos estable comparado con el sustrato rocoso en los cuales se encuentra la *Paramuricea clavata* (Weinberg 1979, Linares et al. 2008, Gori et al. 2011a), esto podría explicar la diferencia entre la altura media de las colonias de las dos especies.

Contrariamente a otras especies de gorgonias que presentan una distribución regular (Endean et al. 1997) o aleatoria (Mistri 1995) de sus colonias, en la mayoría de los transectos estudiados las colonias de *Paramuricea macrospina* presentaron una distribución agrupada a toda la escala analizada, sugiriendo la falta de competición intraspecífica entre las colonias de esta especie a estas escalas espaciales. Patrones de distribuciones agregadas de las colonias han sido observados previamente en especies de gorgonias tropicales y profundas

(Yoshioka y Yoshioka 1989, Mortensen y Buhl-Mortensen 2004), así como en la gorgonia mediterránea *Eunicella singularis* (Gori et al. 2011).

Igual que la gran mayoría de las poblaciones de *Eunicella singularis* (Gori et al. 2011), *Paramuricea macrospina* presentó patrones espaciales a pequeña escala ( $<1.5$  m). Esto podría ser el resultado de una distribución filopátrica de los reclutas (Kersaw 1959, Weinberg y Weinberg 1979). Además se encontraron pautas de distribución también a escala media (de 3 a 13 metros) que indican que los pequeños *patches* presentes a pequeña escala se juntan formando *patches* de mayor tamaño, recubriendo así más regularmente el sustrato.

La falta de una pauta de distribución a escalas mayores de las que hemos explorado, indica la ausencia de coalescencia de estos *patches* de mayor tamaño, en contraste con lo que ocurre en la mayoría de poblaciones profundas de *Eunicella singularis* donde se han encontrado grandes *patches* y un recubrimiento más homogéneo del sustrato (Gori et al. 2011).

El análisis de la covariancia de las dos clases de talla no mostró un patrón claro en relación a la distribución de las colonias pequeñas respecto a las grandes. A pequeña escala, hay una correlación negativa entre las dos clases de talla sugiriendo que, a esta escala, hay una competición intraespecífica entre individuos grandes y pequeños, o que el régimen de corrientes presente en la zona no permite el asentamiento de las larvas muy cerca de las colonias grandes.

Los resultados de este trabajo han mostrado que *Paramuricea macrospina* es una especie que presenta poblaciones maduras y con elevadas densidades en los fondos de maërl del Canal de Menorca, evidenciando que se trata de una especie cuyo papel ecológico puede llegar a ser determinante en esta comunidad del bentos mediterráneo. Esto contrasta con la escasez de informaciones previas sobre su biología, y con la falta casi total de conocimientos sobre su ecología. Estando esta especie asociada a fondos de maërl, es posible que en el pasado *Paramuricea macrospina* fuese frecuente también en la plataforma continental de otros lugares en el mar Mediterráneo. Sin embargo la presión de la pesca de arrastre sobre este tipo de comunidad puede haber causado una disminución drástica, o incluso la desaparición

completa de *Paramuricea macrospina* en muchas áreas. En el caso del Canal de Menorca el pequeño tamaño de la flota pesquera, el predominio de la pesca artesanal, la utilización de nasas y otros artes no impactantes y la escasa presencia de barcos de arrastre en la zona son factores que pueden haber favorecido la conservación de la comunidad del maërl en general, y de las poblaciones de *Paramuricea macrospina* en particular.

## **5 LIMITACIONES**

Los estudios basados sobre observaciones efectuadas mediante ROVs permiten investigar amplias áreas espaciales y a profundidades muy elevadas, pero comportan una pérdida en la precisión de las medidas y los recuentos que se efectúan, si comparados con estudios basados en muestreos con escafandra autónoma.

Para que el estudio de la distribución de las tallas de una población pueda ser utilizado como indicador de la edad de la misma población hace falta poder relacionar la talla con la edad de las colonias mediante la cuantificación de las tasas de crecimiento de las colonias. Con esta finalidad se está llevando a cabo actualmente un experimento en acuarios de crecimiento en colonias de *Paramuricea macrospina*.

El presente trabajo se basa en el análisis de un número limitado de vídeo-transectos videos efectuados en una pequeña área de estudio, de cara a la caracterización de las poblaciones de *Paramuricea macrospina* hará falta extender este trabajo al análisis de más vídeo-transectos que cubran de forma más completa el área del Canal de Menorca.

## 6 BIBLIOGRAFIA

Alonso B, Guillen J, Canals M, Serra J, Acosta J, Herranz P, Sanz JL, Calafat A, Catafau E (1988) Los sedimentos de la plataforma continental balear. *Acta Geologica Hispanica* 23:185-196

Bo M, Bavestrello G, Canese S, Giusti M, Salvati E, Angiolillo M, Greco S (2009) Characteristics of a black coral meadow in the twilight zone of the central Mediterranean Sea. *Mar Ecol Prog Ser* 397:53–61

Canals M, E Ballesteros (1997) Production of carbonate particles by phytobenthic communities on the Mallorca-Menorca shelf, northwestern Mediterranean Sea. *Deep-Sea Res* 44:611-629

Carpine C, Grasshoff M (1975) Les gorgonaires de la Méditerranée. *Bull Inst Océanogr Monaco* 71:1–140

Dale MRT (1999) *Spatial pattern analysis in plant ecology*. Cambridge University Press, Cambridge, p 324

Dale MRT, Blundon DJ (1991) Quadrat covariance analysis and the scales of interspecific association during primary succession. *J Veg Sci* 2:103–112

de Juan S, Thrush SF, Demestre M (2007) Functional changes as indicator of trawling disturbance on a benthic community located in a fishing ground (NW Mediterranean Sea). *Mar Ecol Prog Ser* 334:117-129

Duncan RP (1991) Competition and the coexistence of species in a mixed podocarp stand. *J. Ecol* 79:1073-1084.

Dunstan PK, Johnson CR (1998) Spatio-temporal variation in coral recruitment at different scales on Heron Reef, southern Great Barrier Reef. *Coral Reefs* 17:71–81

Endean R, Cameron AM, Fox HE, Tilbury R, Gunthorpe L (1997) Massive corals are regularly spaced: pattern in a complex assemblage of corals. *Mar Ecol Prog Ser* 152:119–130

Edmunds PJ (2000) Patterns in the distribution of juvenile corals and coral reef community structure in St. John, US Virgin Islands. *Mar Ecol Prog Ser* 202:113–124

Fernández de Puellas ML, Valencia J, Vicente L (2004) Zooplankton variability and climatic anomalies from 1994 to 2001 in the Balearic Sea (Western Mediterranean). *ICES J Mar Sci* 61:492-500

Fortin MJ, Dale MRT (2005) *Spatial analysis: a guide for ecologists*. Cambridge University Press, Cambridge, p 365

Gili JM, Coma R (1998) Benthic suspension feeders: their paramount role in littoral marine food webs. *Tree* 13:316–321

Gili JM, Ros J (1985) Study and cartography of the benthic communities of Medes Islands (NE Spain). *PSZNI Mar Ecol* 6:219–238

Gori A, Rossi S, Berganzo E, Pretus JL, Dale MRT, Gili JM (2011a) Spatial distribution patterns of the gorgonians *Eunicella singularis*, *Paramuricea clavata* and *Leptogorgia sarmentosa* (Cape of Creus, Northwestern Mediterranean Sea). *Mar Biol* 158:143–158

Gori A, Rossi S, Linares C, Berganzo E, Orejas C, Dale M, Gili JM (2011b) Size and spatial structure in deep versus shallow populations of the Mediterranean gorgonian *Eunicella singularis* (Cap de Creus, Northwestern Mediterranean Sea). *Mar Biol* DOI: 10.1007/s00227-011-1686-7

Gotelli NJ, Ellison AM (1991) *A primer of ecological statistics*. Sinauer Associates, Sunderland, p 510



Grigg RW (1975) Age structure of a longevous coral: a relative index of habitat suitability and stability. *Am Nat* 109:647–657

Haase P, Pugnaire FI, Clark SC, Incoll LD (1996) Spatial patterns in a two-tiered semi-arid shrubland in southeastern Spain. *J Veg Sci* 7:527–534

Jones CG, Lawton JH, Shachak M (1994) Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69:373–386

Kamenos NA, Moore PG, Hall-Spencer JM (2004) The nursery area function of maerl grounds for juvenile queen scallops (*Aequipecten opercularis*) and other invertebrates. *Mar Ecol Prog Ser* 247:183–189

Keegan BF (1974) The macrofauna of maerl substrates on the west coast of Ireland. *Cahiers de Biologie Marine* 15:513–530

Kershaw KA (1959) An investigation of the structure of a grassland community. II. The pattern of *Dactylis glomerata*, *Lolium perenne* and *Trifolium repens*. *J Ecol* 47:31–43

King TJ, Woodell SRJ (1973) The causes of regular pattern in desert perennials. *J Ecol* 61:761–765

Krieger KJ, Wing BL (2002) Megafaunal associations with deepwater corals (*Primnoa* spp.) in the Gulf of Alaska. *Hydrobiol* 471:83–90

Lasker HR (1991) Population growth of a gorgonian coral: equilibrium and non-equilibrium sensitivity to changes in life history variables. *Oecologia* 86:503–509

Lasker HR, Coffroth MA (1983) Octocoral distributions at Carrie Bow Cay, Belize. *Mar Ecol Prog Ser* 13:21–28

Linares C, Doak DF, Coma R, Díaz D, Zabala M (2007) Life history and viability of a long-lived marine invertebrate: the octocoral *Paramuricea clavata*. *Ecology*

88:918–928

Linares C, Coma R, Garrabou J, Díaz D, Zabala M (2008) Size distribution, density and disturbance in two Mediterranean gorgonians: *Paramuricea clavata* and *Eunicella singularis*. *J Appl Ecol* 45:688–699

Massutí E, Reñones O (2005) Demersal resource assemblages in the trawl fishing grounds off the Balearic Sea Islands (Western Mediterranean). *Sci Mar* 69:167–181

Mistri M (1995) Population structure, secondary production of the Mediterranean octocoral *Lophogorgia ceratophyta* (L. 1758). *PSZN Marine Ecol* 16:181–188

Mistri M, Ceccherelli VU (1994) Growth and secondary production of the Mediterranean gorgonian *Paramuricea clavata*. *Mar Ecol Prog Ser* 103:291–296

Mora C, Sale PF (2011) Ongoing global biodiversity loss and the need to move beyond protected areas: a review of the technical and practical shortcomings of protected areas on land and sea. *Mar Ecol Prog Ser* 434:251–266

Mortensen PB, Buhl-Mortensen L (2004) Distribution of deep-water gorgonian corals in relation to benthic habitat features in the Northeast Channel (Atlantic Canada). *Mar Biol* 144:1223–1238

Mortensen PB, Buhl-Mortensen L (2005) Morphology and growth of the deep-water gorgonians *Primnoa resedaeformis* and *Paragorgia arborea*. *Mar Biol* 147:775–788

Musick JA (1999) Ecology and conservation of long-lived marine animals. *American Fisheries Society Symposium* 23:1–10

Orejas C, Gori A, Lo Iacono C, Puig P, Gili JM, Dale MRT (2009) Cold-water corals in the Cap de Creus canyon (north-western Mediterranean): spatial

distribution, density and anthropogenic impact. *Mar Ecol Prog Ser* 397:37–51

Pérès JM, Picard J (1958) Recherches sur les peuplements benthiques de la Méditerranée nord-orientale. *Ann Inst Oceanogr* 34:213–291

Ribes M, Coma R, Rossi S, Micheli M (2007) The cycle of gonadal development of *Eunicella singularis* (Cnidaria: Octocorallia): trends in sexual reproduction in Mediterranean gorgonians. *Inv Biol* 126:307–317

Riedl R (1971) Water movement: animals. In: Kinne O (ed) *Marine ecology* vol 1, part 2. Wiley-Interscience, London, pp 1123–1149

Ripley BD (1976) The second order analysis of stationary point processes. *J Appl Prob* 13:255–266

Ripley BD (1981) *Spatial statistics*. J. Wiley, New York, NY

Rosenberg MS (2008) PASSaGE: Pattern Analysis, Spatial Statistics, and Geographic Exegesis. Version 2. <http://www.passagesoftware.net>. Accessed 15 October 2008

Rossi L (1959) Contributo allo studio della fauna di profondità vivente presso la Riviera Ligure di levante. *Res Linguisticae CVII Doriana* 2:92-105

Santangelo G, Abbiati M (2001) Red coral: conservation and management of an overexploited Mediterranean species. *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* 11:253–259

Scheffer M, Carpenter SR (2003) Catastrophic regime shifts in ecosystems: linking theory to observation. *Trends Ecol Evol* 18:648–656

Schols P, Smets E (2001) Carnoy: analysis software for LM, SEM and TEM images. Leuven: distributed by the authors. <http://www.carnoy.org>. Accessed 21 January 2009

Sheppard CRC (1979) Interspecific aggression between reef corals with reference to their distribution. *Mar Ecol Prog Ser* 1:237–247

Sink KJ, Boshoff W, Samaai T, Timm PG, Kerwath SE (2006) Observations of the habitats and biodiversity of the submarine canyons at Sodwana Bay. *S Afr J Sci* 102:466–474

Skarpe C (1991) Spatial patterns and dynamics of woody vegetation in an arid savanna. *J Veg Sci* 2:565–572

Sterner RW, Ribic CA, Schatz GE (1986) Testing for life historical changes in spatial patterns of four tropical tree species. *J Ecol* 74: 621–633

Thrush SF, Dayton PK (2002) Disturbance to marine benthic habitats by trawling and dredging: implications for marine biodiversity. *Ann Rev Ecol Syst* 33:449–473

Virgilio M, Airoidi L, Abbiati M (2006) Spatial and temporal variations of assemblages in a Mediterranean coralligenous reef and relationships with surface orientation. *Coral Reefs* 25:265–272

Watling L, Norse E (1998) Disturbance of the seabed by mobile fishing gear: A comparison to forest clear-cutting. *Conservation Biology* 12:301–305

Weinbauer M, Velimirov B (1996b) Population dynamics and overgrowth of the sea fan *Eunicella cavolinii* (Coelenterata: Octocorallia). *Estuar Cstl Shelf Sci* 42:583–595

Weinberg S (1979) Autoecology of shallow-water octocorallia from Mediterranean rocky substrata. I. The Banyuls area. *Bijdr Dierk* 49:1–15

Yoshioka PM (1994) Size-specific life history pattern of a shallowwater gorgonian. *J Exp Mar Biol Ecol* 184:111–122

Yoshioka PM, Yoshioka BB (1989) A multispecies, multiscale analysis of spatial pattern and its application to a shallow-water gorgonian community. *Mar Ecol Prog Ser* 54:257–264

Zhang Wei, Skarpe C (1995) Small-scale species dynamics in semi-arid steppe vegetation in Inner Mongolia. *J Veg Sci* 6:583-592