



Estudio de la mesofauna en fondos arenosos y de *Halimeda incrassata* (Chlorophyta, Bryopsidales) del Cap Enderrocat, Mallorca

Memoria del Trabajo de Fin de Máster

Máster interuniversitario de Biología Marina

Curso Académico 2016 - 2017

Autor:	Iñigo Zabarte Maeztu
Tutor del trabajo:	Jorge Terrados Muñoz
Cotutor:	Fiona Tomas Nash
Tutor interno de la UDC:	Ignacio Bárbara Criado

Fecha: 3 de febrero del 2017

RESUMEN

Las especies invasoras pueden tener graves efectos negativos sobre los ecosistemas, siendo la segunda causa de pérdida de biodiversidad a nivel mundial. El mar Mediterráneo es uno de los mares más afectado por la invasión de especies foráneas debido a sus comunicaciones con el Atlántico mediante el estrecho de Gibraltar y con el mar Rojo mediante el canal de Suez y al intenso tráfico marítimo que en sus aguas ocurre. Una de las especies invasoras es el alga *Halimeda incrassata* que fue por primera vez localizada en el Mediterráneo (en aguas de Baleares) en 2011, es un alga de origen tropical que podría haber sido introducida mediante su uso en acuariofilia, turismo náutico o transporte marino. El área marina protegida de la Bahía de Palma en concreto el Cap Enderrocat ha sufrido una gran proliferación de esta alga en sus arenales desde su detección en 2011 y el objetivo de este trabajo es estudiar las comunidades de invertebrados que en esta localidad habitan, y testar un nuevo método de muestreo para epifauna. Para ello, se diseñó un experimento en el que se capturaron macroinvertebrados en 3 hábitats diferentes: banco de arena, pradera de *Halimeda incrassata* y pradera mixta de *Cymodocea nodosa* con *Halimeda incrassata*, mediante tres métodos diferentes. Los resultados muestran que la abundancia de los taxones estudiados es mayor tanto en la pradera mixta como en la de la *Halimeda incrassata* y por lo tanto se puede decir que la invasión tiene un efecto positivo para la abundancia de los siguientes grupos: Amphipoda, Isópoda, Cumacea, Mysidacea, Natantia, larvas Zoea y Ostracoda. Es decir, la invasión de *H. incrassata* en esta zona ha podido provocar un aumento de la biomasa de estos grupos de mesofauna, presas potenciales de peces que habitan en la zona como salmonetes pageles y raones, pudiendo provocar un efecto positivo para dichas especies. Al crear un nuevo hábitat antes inexistente (sobre fondo de arena), esta especie contribuye a escala local al aumento de la diversidad y biomasa de invertebrados. Sin embargo, al ser este un primer trabajo realizado debe complementarse en el futuro aumentando la escala espacial del estudio, incorporando el estudio de cambios temporales (tanto asociados a la estacionalidad de la planta como a su posible expansión e incremento de abundancia). Además, han de tenerse en cuenta las interacciones con otras especies en la zona y para ello se ha de seguir estudiando la evolución del macrófito y de las comunidades faunísticas asociadas así como sus interacciones con otros macrófitos o ingenieros ecosistémicos ya presentes en la zona como *P. oceanica* o *C. nodosa*.

ABSTRACT

Invasive species can have serious negative effects on ecosystems, being the second leading cause of biodiversity loss worldwide. The Mediterranean Sea is one of the most affected seas by the invasion of alien species due to the communications with the Atlantic by the Strait of Gibraltar, the Red Sea by the Suez canal and the long history of boating. One of invasive species is *Halimeda incrassata* which was first reported in the Mediterranean (Balearic waters) in 2011. This is a tropical alga which was likely introduced via the aquarium trade or marine transport. The marine protected area of the bay of Palma, specifically Cap Enderrocat has suffered a great proliferation of this alga and the main objective of this work is to examine the invertebrates communities in this area and assess different sampling methodologies. A comparative sampling approach was designed to capture macroinvertebrates from 3 different habitats: sandy bottom, *Halimeda incrassata* beds and beds of *Cymodocea nodosa* mixed with *Halimeda incrassata* using three different methods. The results show that the abundance of the studied taxa is greater in the mixed habitat and in the one of the *Halimeda incrassata* and therefore it can be said that the invasion has a positive effect for the abundance of the following groups: Amphipoda, Isópoda, Cumacea, Mysidacea, Natantia, Zoea and Ostracoda larvae. That allows to say that the invasion of *H. incrassata* has been able to promote an increase of the biomass of these groups of mesofauna, potential prey of fish that inhabit the area as razor fish and another labrids, being able to provoke a positive effect for these species. By creating a new habitat previously non-existent (on sandy bottom), this invasive species contributes locally to increased diversity and biomass of invertebrates. However, since this is a first work done, it should be complemented in the future by increasing the spatial scale of the study, incorporating the study of temporal changes (both associated to plant and plant seasonality and the possible expansion and increase of *H. incrassata*). It is necessary to continue studying the evolution of this invasive macrophyte and associated faunal communities as well as its interactions with other macrophytes or ecosystemic engineers already present in the area such as *P. oceanica* or *C. nodosa*.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	7
1.1 Antecedentes	7
1.2 Objetivos	10
2. MATERIALES Y MÉTODOS	11
2.1 Ubicación geográfica del estudio.....	11
2.2 Material y diseño experimental.....	12
2.2.1 Estudio de las comunidades de Epifauna	12
2.2.2 Estudio de las comunidades de Infauna.....	14
2.3 Procesamiento y mantenimiento de las muestras.....	15
2.2.3 Epifauna.....	15
2.2.4 Infauna	16
2.3 Medición de la distribución de tallas de los animales	17
2.4 Cuantificación y clasificación de los animales en grandes grupos taxonómicos	18
2.5 Tratamiento estadístico	19
3. RESULTADOS	19
3.1 Abundancia y composición de las comunidades	19
3.2 Biomasa de <i>Halimeda incrassata</i> y de <i>Cymodocea nodosa</i>	23
3.3 Análisis multivariante: PCA y RDA.....	25
3.4 Distribución de tallas de los organismos	30
3.5 Organismos clasificados a nivel de especie	32
3.6 Organismos en las muestras de infauna.....	35
4. DISCUSIÓN.....	36
5. CONCLUSIONES	41
6. AGRADECIMIENTOS	42
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Evolución temporal de <i>Halimeda incrassata</i> (HI) en el Cap Enderrocat	9
Figura 2: Ubicación geográfica de la localidad muestreada en la Reserva Marina de la Bahía de Palma (Mallorca). 1 Claro de arena; 2 Pradera mixta; 3 Pradera <i>Halimeda incrassata</i>	12
Figura 3: Tipo de trampa: Quatrefoil Light tramps	13
Figura 4: Tipo de trampa: Benthic light tramps	14
Figura 5: Esquema del experimento realizado, que representa los hábitats y métodos de muestreo además del número de réplicas	15
Figura 6: Extracción y almacenamiento de las muestras animales	16
Figura 7: Extracción de animales de las muestras de infauna	16
Figura 8: Medición del tamaño de poro de las mallas mediante programa (Image J)....	17
Figura 9: Medición del tamaño de los animales mediante programa Image J	18
Figura 10: Submuestreador de Folsom	18
Figura 11: Diversidad, abundancias totales medias y biomásas de animales (+ error estándar) para para los tres hábitats y para los dos métodos	20
Figura 12: Abundancias relativas medias de los principales grupos de animales recolectados en los tres hábitats para los dos métodos	22
Figura 13: Valores de biomasa de macrófito en peso seco para los hábitats mixto (<i>H. incrassata</i> , <i>C. nodosa</i> y filamentosas) y <i>Halimeda incrassata</i>	23
Figura 14: Valores de las abundancias y biomásas animales obtenidas para las diferentes biomásas totales de macrófito cuantificadas en la pradera mixta y <i>H. incrassata</i>	24
Figura 15: Valores de abundancia y biomasa divididos por biomasa de macrófito cuantificadas en la pradera mixta y <i>H. incrassata</i>	25
Figura 16: Valores de las abundancias medias para los tres hábitats con los dos diferentes métodos.....	26
Figura 17: PCA de las abundancias para los dos métodos por separado.....	27
Figura 18: PCA de las abundancias para los dos métodos	27
Figura 19: RDA de tendencias e intensidad de atracción de los grupos a los tres hábitats para las Benthic light traps	28
Figura 20: RDA de tendencias e intensidad de atracción de los grupos a los tres hábitats para las Quatrefoil light traps	29

Figura 21: RDA de tendencias e intensidad de atracción de los grupos a cada uno de los métodos.....	30
Figura 22: Densidad de animales (separado por grupos taxonómicos hábitat y trampa) por talla	31
Figura 23: Abundancia de animales (por superficie hábitat y trampa) por talla	31
Figura 24: Ejemplares los anfípodos <i>Monoculodes carinatus</i> (1) <i>Ampelisca truncata</i> (2), <i>Guernea coalita</i> (3), <i>Atylus massiliensis</i> (4), <i>Leptocheirus hirsutimanus</i> (5) y <i>Ochromenella nana</i> (6). Tamaño medio 2mm	32
Figura 25: Ejemplares de los cúmaceos <i>Iphinoe sp.</i> (1), macho adulto de <i>Bodotria sp.</i> (2), juvenil de <i>Bodotria sp.</i> , (3) y macho adulto de <i>Eucuma ferox</i> .(4). Tamaño medio 5mm	33
Figura 26: Ejemplares de isópoda del género <i>Gnathia</i> (parásitos de peces). Tamaño medio 3mm.....	33
Figura 27: Número de individuos de las clases bivalbia, gasterópoda y decapoda obtenidos en las muestras de infauna	35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Coordenadas de las estaciones de muestreo	12
Tabla 2: Test ANOVA para la comparación de diversidad en función de los tres hábitats	20
Tabla 3: Test ANOVA para la comparación de la diversidad en función de los dos métodos.....	21
Tabla 4: 2-way ANOVA para la comparación de abundancias en función de los tres hábitats y de los dos métodos	21
Tabla 5: 2-way ANOVA para la comparación de biomasa de animales en función de los tres hábitats y de los dos métodos.	21
Tabla 6: Test ANOVA para la comparación de las biomosas en la estación mixta y <i>Halimeda incrassata</i>	24
Tabla 7: Significación del análisis de la redundancia para testar diferencias entre hábitats para las Benthic light traps	28
Tabla 8: Significación del análisis de la redundancia para testar diferencias entre hábitats para las Quatrefoil light traps	29
Tabla 9: Significación del análisis de la redundancia para el factor método	30
Tabla 10: Número medio de individuos y desviación estándar de las especies de amphipoda estudiadas en función del hábitat y del método.	34
Tabla 11: Tabla ANOVA de los tres grupos de animales de infauna en función del hábitat.	35

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La biogeografía de especies de todo el mundo se está viendo modificada por factores como el cambio climático y actividades humanas como el transporte global de personas y mercancías. Los ecosistemas marinos son particularmente vulnerables a las invasiones biológicas con tasas de propagación superiores a las terrestres (Poloczanska et al. 2013).

Una especie introducida es por definición aquella especie cuya translocación a un ambiente fuera de su área de distribución original, dentro de los tiempos históricos, ha sido debida a la acción del hombre (de modo intencionado o accidental) (Olenin & Leppakoski 1999). Dicha especie se convierte en invasora si es capaz de establecerse, reproducirse, dispersarse y colonizar nuevas áreas.

Las especies invasoras son un problema a escala global ya que constituyen una amenaza para las especies nativas (Boudouresque & Verlaque 2002). La introducción de una especie invasora puede afectar a la fauna y a la flora nativa a diferentes niveles: introducción de nuevos depredadores, competencia por los recursos con las especies nativas, mezcla genética con especies nativas próximas, dispersión de patógenos, desplazamiento de especies, cambio de hábitats, etc

Sin embargo, no todas las invasiones son consideradas como negativas. En algunos casos, las especies invasoras tienen efectos positivos en sectores comerciales como la acuicultura, pesquerías (aumento de stocks) y pesca recreativa (Minchin & Rosenthal 2002).

Las especies formadoras de hábitat son aquellas que pueden formar estructuras que pueden servir como hábitat para otros organismos, pudiendo así modificar el paisaje y las comunidades de organismos asociados (Thomsen et al. 2009). La aparición de estas especies en el ecosistema tiene diferentes implicaciones para el ecosistema ya sea tanto a nivel de biodiversidad como de funcionamiento o a nivel trófico.

Las macroalgas son conocidas por su capacidad de aumentar la complejidad del hábitat dentro de las praderas marinas, generar sustrato, proporcionando fuentes de alimentación adicionales, espacio y refugio ante la depredación (Heck & Orth, 1980). Por lo tanto, es

presumible la influencia de las macroalgas en las densidades y distribución de los organismos asociados ya que estas especies exhiben una variedad de morfologías y pueden ofrecer una diversidad de microhábitats potenciales para las especies de fauna. Diversas fanerógamas marinas y macroalgas, con diferentes formas o arquitecturas y distintas cantidades de comida, espacio y refugio pueden hacer variar las comunidades de fauna asociadas (Tuya et al. 2001; Espino et al. 2011).

Por lo tanto, podemos considerar estos macrófitos marinos y algas como base de la cadena trófica a la que le siguen los invertebrados que de ellas o de sus epífitos se alimentan y que a su vez sirven de alimento para organismos superiores en la cadena trófica. En la misma línea, las especies invasoras formadoras de hábitat tienen el potencial de modificar la estructura y funcionamiento del ecosistema mediante efectos en cascada a lo largo de la cadena trófica (Piazzi et al. 2005).

El mar Mediterráneo es uno de los mares más afectado por la invasión de especies foráneas debido a su larga historia de uso humano y tráfico marítimo, actividades de acuicultura, y sus comunicaciones con el Atlántico mediante el estrecho de Gibraltar y con el mar Rojo mediante el canal de Suez construido en 1869 (Galil et al. 2014).

Dentro del Mediterráneo occidental, el archipiélago de las islas Baleares, es un “hotspot” de especies invasoras, en particular de algas. Las especies invasoras con carácter invasor más importantes son el decápodo *Percnon gibbessi* (H. Milne Edwards, 1853) y las macroalgas *Lophocladia lallemandii* (Montagne) F. Schmitz, *Womersleyella setacea* (Hollenberg) R.E. Norris, *Acrothamnion preisii* (Sonder) E.M. Wollaston, *Asparagopsis taxiformis* (Delile) Trevisan de Saint-Léon, *Caulerpa cylindracea* (Sonder) y *Caulerpa taxifolia* (M. Vahl) C.Agardh.

La protagonista de este trabajo es la macroalga invasora *Halimeda incrassata* (J. Ellis) J. V. Lamouroux observada por primera vez en el Mediterráneo en 2011 (Alos et al. 2016). También se citó por primera vez en la isla de Madeira en 2005 (Wirtz y Kaufmann 2005). *Halimeda incrassata* pudo ser introducida mediante el transporte marino o la acuariofilia aunque no se sabe exactamente cuál ha sido el origen exacto de la invasión (Alos et al. 2016). Es un organismo que habita de forma natural fondos de arena de latitudes tropicales del Pacífico oeste, océano Atlántico e Índico.

La razón por la que se ha desarrollado este trabajo es la colonización y proliferación de este macroalga en el área protegida de la Bahía de Palma de Mallorca en las Islas Baleares (Alos et al. 2016) habiendo sido también observada en el verano de 2015 en la localidad de la Colonia de Sant Jordi (F. Tomas, observación personal) y en la isla de Cabrera en verano 2016.

En la figura 1, puede observarse la gran colonización del alga desde 2011 hasta 2015.

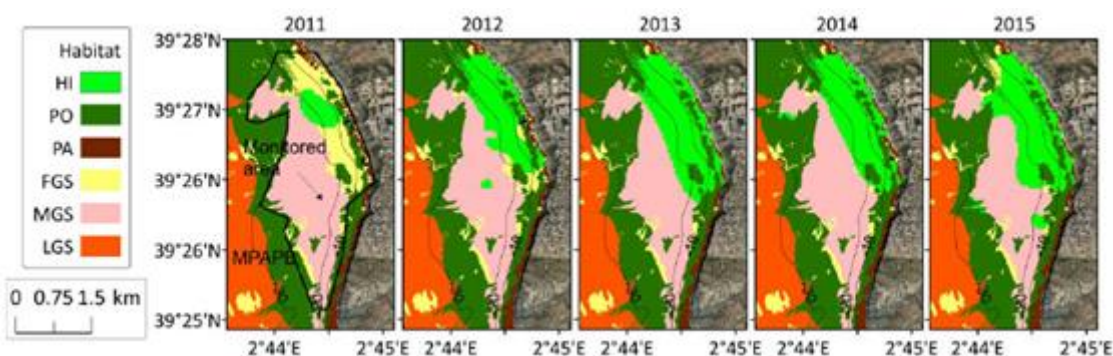


Figura 1: Evolución temporal de *Halimeda incrassata*(HI) en el Cap Enderrocat

Fuente: Alos, 2016

En su ambiente es un macroalga que cohabita con fanerógamas marinas (Zimmerman y Livingston, 1976, 1979; Thorhaug y Roessler, 1977; Cowper, 1978). Respecto a la fauna que habita estos sustratos marinos, la mayoría de los trabajos que se han realizado han sido sobre la diversidad y abundancia de organismos que habitan y se alimentan en las praderas de fanerógamas (Kikuchi y Péres, 1977; De Heck & Orth, 1980; Orth et al., 1984).

En el Cap Enderrocat esta alga convive con la fanerógama *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson potencialmente aportando diferentes sustratos o microhábitats a las especies de invertebrados que sobre ellas habitan. No se ha examinado hasta ahora las comunidades de invertebrados asociadas a esta alga en zonas invadidas, no obstante la presencia de este alga podría tener efectos ecológicos importantes si modifica la presencia de dichas comunidades de invertebrados, especialmente teniendo en cuenta que pueden ser organismos clave en las redes tróficas, y son de especial interés para la zona en referencia a especies de peces de interés comercial como el raor, *Xyrichtys novacula* (Linnaeus, 1758) (Oliver & Massutí, 1952)

Así pues, en esta tesis de máster se ha estudiado la riqueza y la abundancia de las comunidades de mesofauna del Cap Enderrocat ya sea en presencia de la macroalga invasora *Halimeda incrassata* o en sus fondos de arena.

Para ello, se hace una evaluación de la diversidad y abundancia de las comunidades de macroinvertebrados (segundo nivel en la cadena trófica tras las angiospermas marinas y algas) en diferentes sustratos en la localidad del Cap Enderrocat con el ánimo de conocer la influencia del alga invasora. Se han establecido tres hábitats de muestreo: un fondo de arena, un fondo de arena colonizado por *Halimeda incrassata*, y una pradera mixta (sobre arena) de *Cymodocea nodosa* y *Halimeda incrassata* (ya que fue imposible encontrar zonas de fanerógama sin ser invadidas por *H. incrassata*). Se han muestreado tanto las comunidades de epifauna (asociadas al dosel foliar o estrato algal) mediante dos métodos distintos, como también se ha muestreado la infauna del sustrato mediante “corers” (nucleadores, sacatestigos de sedimento).

Debido a la escasez de estudios sobre las comunidades de epifauna asociadas a praderas de *Halimeda spp*, se realizó un estudio de comparación de métodos con el objetivo de testar y observar cómo funciona un nuevo método y cuál es el método más adecuado para este tipo de estudios. Se fabricaron las trampas denominadas “Benthic light traps” como método innovador a testar frente a otros métodos utilizados en estudios previos, como son los “corers” y las Quatrefoil light traps. Mediante este estudio comparativo se pretende responder las siguientes preguntas: ¿Cuáles son los pros y los contras de cada uno de los métodos de muestreo?, ¿cuál es el método más adecuado para muestrear esta fauna?, ¿qué diferencias hay entre las comunidades que viven en el bentos y las que tienen cierta capacidad natatoria?, ¿es la luz capaz de atraer animales que viven en los intersticios del sedimento? y ¿qué método es más adecuado para muestrear cada taxón encontrado?

1.2 Objetivos

El objetivo general es estudiar la riqueza y abundancia de las comunidades de mesofauna de fondos someros de arena y fondos con presencia del alga invasora *Halimeda incrassata* del Cap Enderrocat.

Los objetivos específicos son:

OE1: Caracterizar las comunidades de epifauna e infauna asociadas a tres distintos hábitats (fondos de arena, praderas mixtas de *Cymodocea nodosa* y *Halimeda incrassata* y zonas tapizadas por *Halimeda incrassata*) mediante la determinación de su diversidad, abundancia y estructura.

OE2: Examinar la adecuación de los distintos métodos empleados en el muestreo para caracterizar las comunidades de epifauna y testar las ventajas y desventajas del nuevo método “Benthic light traps”.

OE3: Cuantificar la distribución de tallas de los individuos para la interpretación de las posibles interacciones depredador presa.

OE4: Discutir el efecto de la invasión.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Ubicación geográfica del estudio

El Cap Enderrocat, ubicado en la Reserva Marina de la Bahía de Palma (Mallorca), fue el lugar elegido para el estudio comparativo, pues se conoce la presencia y la dinámica de colonización de dicho lugar por el alga *Halimeda incrassata* (Alos et al. 2016). Se trata de un lugar en el que se puede trabajar en el agua por sus condiciones tranquilas y fondos relativamente someros. Esta reserva natural establecida como tal en 1982, cubre un área de aguas abiertas desde tierra hasta 30m de profundidad (Alós & Arlinghaus, 2013). Respecto a sus sustratos está dominada por una mezcla de lechos de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile, hábitats rocosos y sedimentarios y desde el año 2011 se ha observado la presencia de *H. incrassata* tanto sobre fondos de arena sin vegetación como en zonas colonizadas por la fanerógama marina *Cymodocea nodosa*. La Figura 2, muestra la ubicación geográfica del Cap Enderrocat y de los tres hábitats en los que se realizaron los muestreos.



Figura 2: Ubicación geográfica de la localidad muestreada en la Reserva Marina de la Bahía de Palma (Mallorca). 1 Claro de arena; 2 Pradera mixta; 3 Pradera *Halimeda incrassata*

Dentro de la zona del Cap Enderrocat, como se avanza en la introducción, se establecieron 3 hábitats de muestreo una zona de claro de arena, una zona tapizada por *Halimeda incrassata* y una zona mixta de *Halimeda incrassata* y *Cymodocea nodosa*, ya que fue imposible encontrar una pradera de *Cymodocea nodosa* en la que no hubiese *Halimeda incrassata*. A continuación, se muestran las coordenadas para cada una de las estaciones tabla 1.

Tabla 1: Coordenadas de las estaciones de muestreo

Estación	Profundidad	Habitat	UTM	UTMns	X	Y
1	15 m	Arena	31	S	476912	4367710
2	18 m	<i>Cymodocea+H.incrassata</i>	31	S	476854	4367691
3	18 m	<i>Halimeda incrassata</i>	31	S	476782	4367676

2.2 Material y diseño experimental

La metodología del presente estudio contempla trabajo descriptivo y experimental en el mar y en el laboratorio realizado desde agosto de 2016 hasta enero de 2017. El muestreo en campo se realizó entre finales de agosto y principios de septiembre de 2016.

2.2.1 Estudio de las comunidades de Epifauna

Para el muestreo de la epifauna se utilizaron dos métodos: las trampas denominadas Quatrefoil Light traps y las denominadas Benthic light traps (nuevo método a testar y fabricado en el marco del IMEDEA).

Las Quatrefoil Light traps han sido utilizadas en diferentes estudios sobre todo de larvas y de peces de pequeño tamaño (Choat et al., 1993; Hernandez & Shaw, 2003). A pesar de ser comúnmente utilizadas con este fin, son también muy útiles para atrapar invertebrados. Consisten en una cavidad en la que se introduce una luz química y otras cavidades en las que quedan atrapados los animales en un tamiz de 500 μ m de tamaño de poro, figura 3. Las trampas se colocan en la estación deseada desde una embarcación y quedan aproximadamente a medio metro del fondo, siendo recogidas al día siguiente al amanecer, para evitar que al haber luz los animales capturados por atracción durante la noche se escapen. Se colocaron 6 trampas, 2 por cada sustrato en dos noches diferentes, de manera que se obtuvieron 12 muestras para este método. Se pusieron 4 trampas por hábitat, obteniendo 12 replicas.



Figura 3: Tipo de trampa: Quatrefoil Light traps

Las Benthic light traps, figura 4, son un nuevo método a testar, las estructuras fueron fabricadas en el IMEDEA y están constituidas por dos botellas de plástico entre las que queda una luz y los animales se introducen entre ambas botellas y quedan atrapados. Dichas botellas van sujetadas al sustrato mediante unos vientos de nylon y abarcan una superficie de 177 cm² del mismo. Se colocaron mediante el uso de la escafandra autónoma y se distribuyeron 5 trampas por estación (dejando más de 7 metros entre cada una de ellas) de manera que se obtuvieron 15 réplicas para este método. El tamaño de poro de las mallas utilizadas en estas trampas fue de 250 μ m.



Figura 4: Tipo de trampa: Benthic light tramps

Además de recoger la fauna asociada, se recogió la biomasa de macrófitos asociada (*H. incrassata*, *C. nodosa* o algas filamentosas) para poder relacionar la composición y abundancia de epifauna con la comunidad vegetal asociada. Para calcular la biomasa, se secó el material vegetal y se almacenó en paquetes individuales durante aproximadamente 48 h, en una estufa a 60°C y posteriormente fueron pesados.

2.2.2 Estudio de las comunidades de Infauna

Para caracterizar las comunidades de infauna se utilizaron “corers”, con diámetro de 5.5 cm, y se introdujeron en los primeros 10 cm de la capa de sedimento. Las muestras fueron transportadas en frío hasta el laboratorio para su posterior procesado.

En resumen, la siguiente figura esquemática muestra los tres hábitats en los que se muestreó, los tres métodos que fueron utilizados, ilustrando además a qué distancia del sustrato se coloca cada tipo de trampa, y el número de réplicas obtenido.

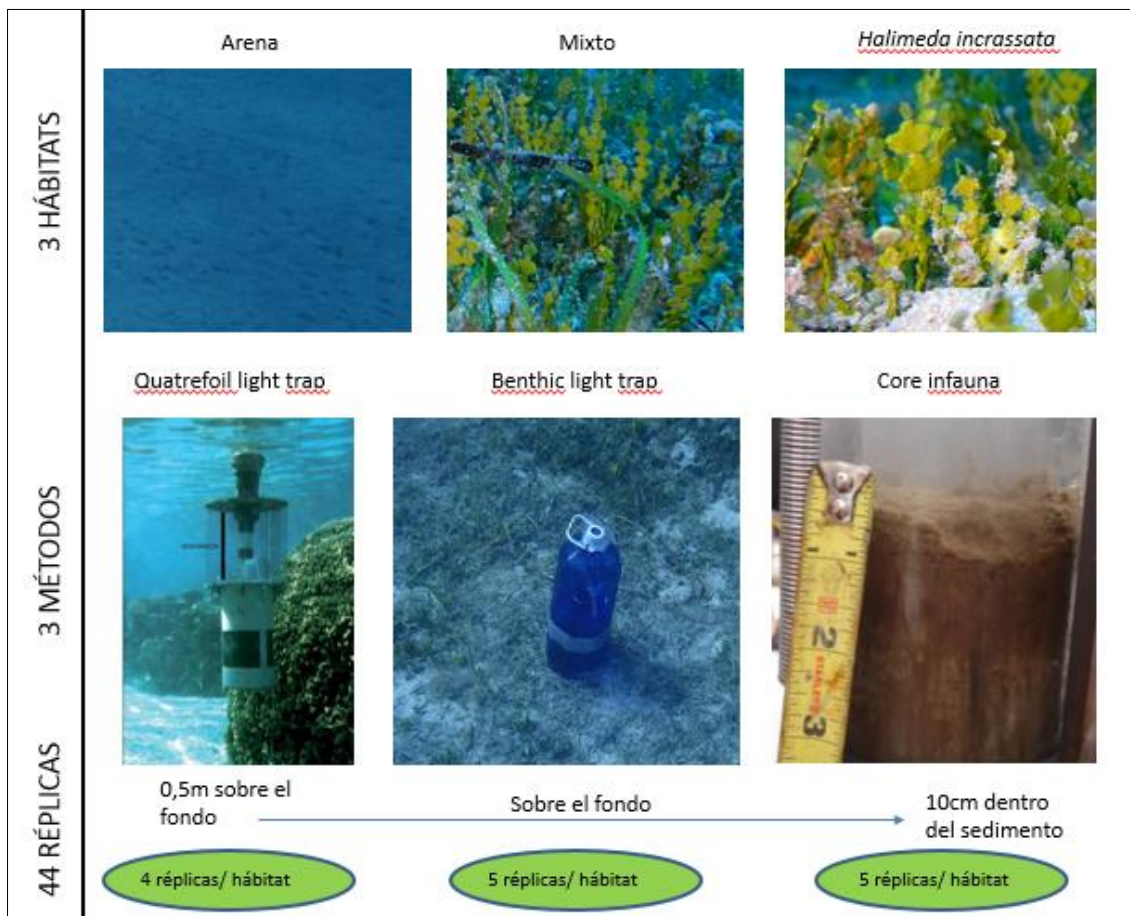


Figura 5: Esquema del experimento realizado, que representa los hábitats y métodos de muestreo además del número de réplicas

2.3 Procesamiento y mantenimiento de las muestras

2.2.3 Epifauna

Las muestras de ambos tipos de trampas fueron procesadas y mantenidas en iguales condiciones. Al ser trampas que capturan aquellos organismos que activamente migran hasta la zona cercana a la luz, dichas trampas contienen muy poco sedimento o material inorgánico, de manera que su procesado es simple. El contenido de las trampas se filtra por una malla de 250 micras y los animales capturados se almacenan en botes en una solución de etanol al 70%, como se observa en la figura 6.



Figura 6: Extracción y almacenamiento de las muestras animales

2.2.4 Infauna

Las muestras correspondientes a la infauna, que fueron recogidas mediante corers, fueron congeladas a -20°C para posteriormente ser limpiadas y tamizadas figura 7. Se limpiaron mediante la técnica del remonte (shock osmótico) con agua dulce creando cierta turbulencia y después ese agua fue tamizada.



Figura 7: Extracción de animales de las muestras de infauna

Finalmente, se cuantificó la biomasa correspondiente al material vegetal que queda debajo de las Benthic light traps. Para cuantificar la biomasa se secó el material vegetal y se almacenó en paquetes individuales durante 48 h, en una estufa a 60°C y posteriormente fueron pesados.

2.3 Medición de la distribución de tallas de los animales

Para la elaboración de las trampas Benthic se utilizaron mallas de 250µm, las cuales fueron medidas mediante el programa Image J, figura 8.

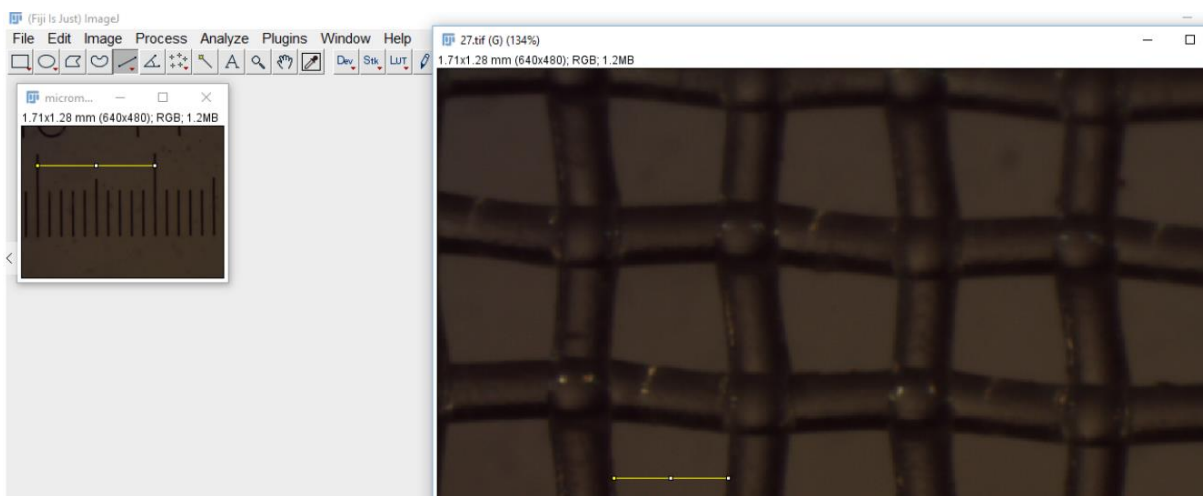


Figura 8: Medición del tamaño de poro de las mallas mediante programa (Image J)

La medición de la distribución de tallas de los diferentes grupos animales se realizó mediante análisis fotográfico utilizando el programa Image J. En primer lugar, se determina en que magnificación ha sido obtenida la fotografía (ya que no es siempre la misma debido a los diferentes tamaños de los animales) y a esa misma magnificación se hace una fotografía de un micrómetro. Una vez tenemos la fotografía del micrómetro, mediante el programa se mide cuántos pixeles es una distancia conocida. Finalmente, se mide las distancias deseadas en pixeles, y mediante un factor de conversión se calcula la longitud real figura 9.

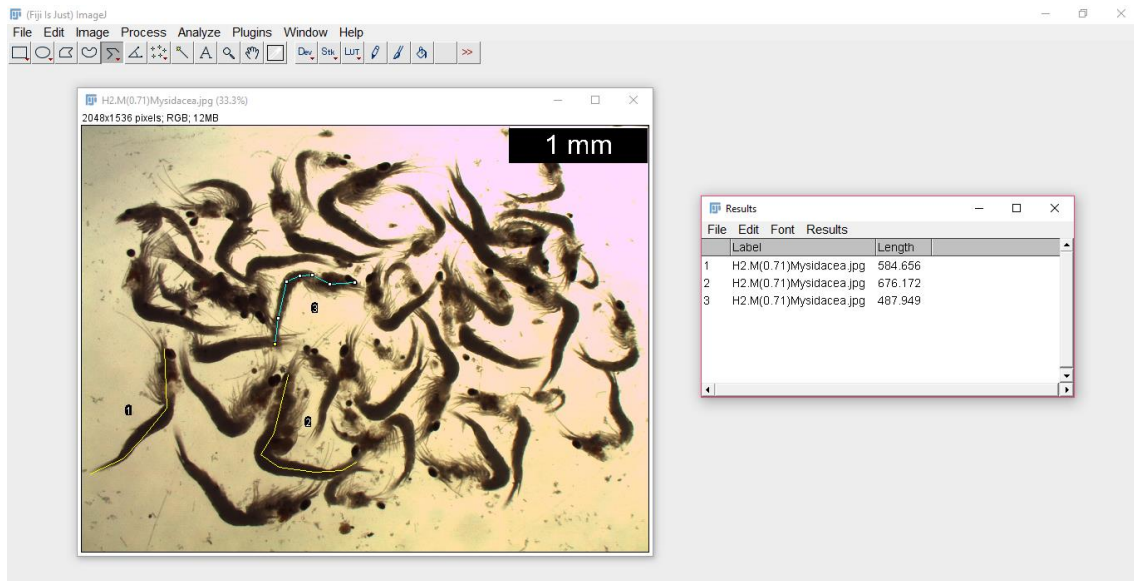


Figura 9: Medición del tamaño de los animales mediante programa Image J

2.4 Cuantificación y clasificación de los animales en grandes grupos taxonómicos

Una vez procesadas todas las muestras se examinaron para determinar su diversidad y abundancias.

Las muestras contenían un gran número de individuos, de manera que se realizaron sub-muestras mediante el sub-muestreador de Folsom (McEwen, et al. 1954, figura 8). Esta técnica es comúnmente utilizada en estudios de plancton para poder estimar la cantidad de animales que hay en cada muestra a través de una alícuota manejable. La técnica consiste en dividir la muestra por mitades hasta obtener un número de individuos que el investigador sea capaz de estudiar en un periodo de tiempo razonable. En este estudio se obtuvieron sub-muestras que contenían aproximadamente entre 100-150 individuos.

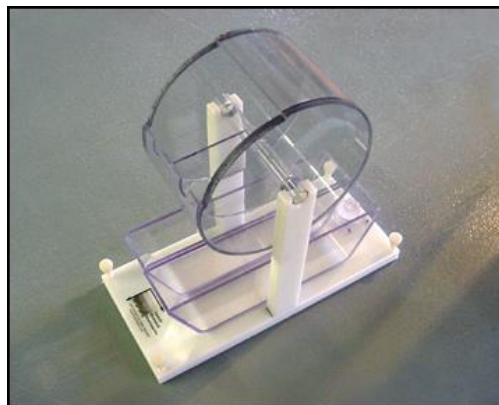


Figura 10: Submuestreador de Folsom

El estudio se realizó a nivel de grandes grupos (cumáceos, copépodos, isópodos, anfípodos, larvas zoea, ostrácodos, tanaidáceos, poliquetos, mysidáceos y natantia) excepto para anfípodos y cumáceos, grupos para los cuales se contó con el apoyo del Dr. D. Jaume y el Dr. J. Corbera, respectivamente, ambos expertos taxónomos, lo cual permitió realizar identificaciones a nivel de género o especie en algunos casos (Lincoln, 1979).

2.5 Tratamiento estadístico

Para el análisis estadístico se consideró un diseño factorial de dos factores cruzados: el tipo de método de muestreo utilizado para la captura (con dos niveles: trampas Quatrefoil y Benthic) y el hábitat sustrato arenoso sin vegetación, *H. incrassata* y pradera mixta de *C. nodosa* y *H. incrassata*.

Se cuantificaron y compararon las siguientes variables: número total de taxones encontrados como medida de la diversidad, número total de individuos por trampa, biomasa de animales por trampa, número de individuos por biomasa de macrófitos y biomasa total de fauna normalizada por biomasa de macrófito mediante ANOVAs. Pevio a dichos análisis, se testó la normalidad de los residuos de las variables biológicas mediante el test de Shapiro.

Para evaluar las diferencias existentes en abundancia entre los grupos taxonómicos, se realizó un análisis multivariante PERMANOVA. Se realizaron PCAs (análisis de componentes principales), que permiten ver agrupaciones por similitud de la diversidad de la comunidad teniendo en cuenta los dos factores siendo este un análisis cualitativo. Para testar estadísticamente cada uno de los factores por separado se realizaron RDAs (Análisis de la redundancia), análisis que permite extraer un factor ya sea el método o el sustrato para estudiar cómo se distribuyen los grupos únicamente para cada uno de los factores.

3. RESULTADOS

3.1 Abundancia y composición de las comunidades

La figura 11 muestra la diversidad (representada como número de taxones), la abundancia total y la biomasa total de animales por cada uno de los hábitats y métodos.

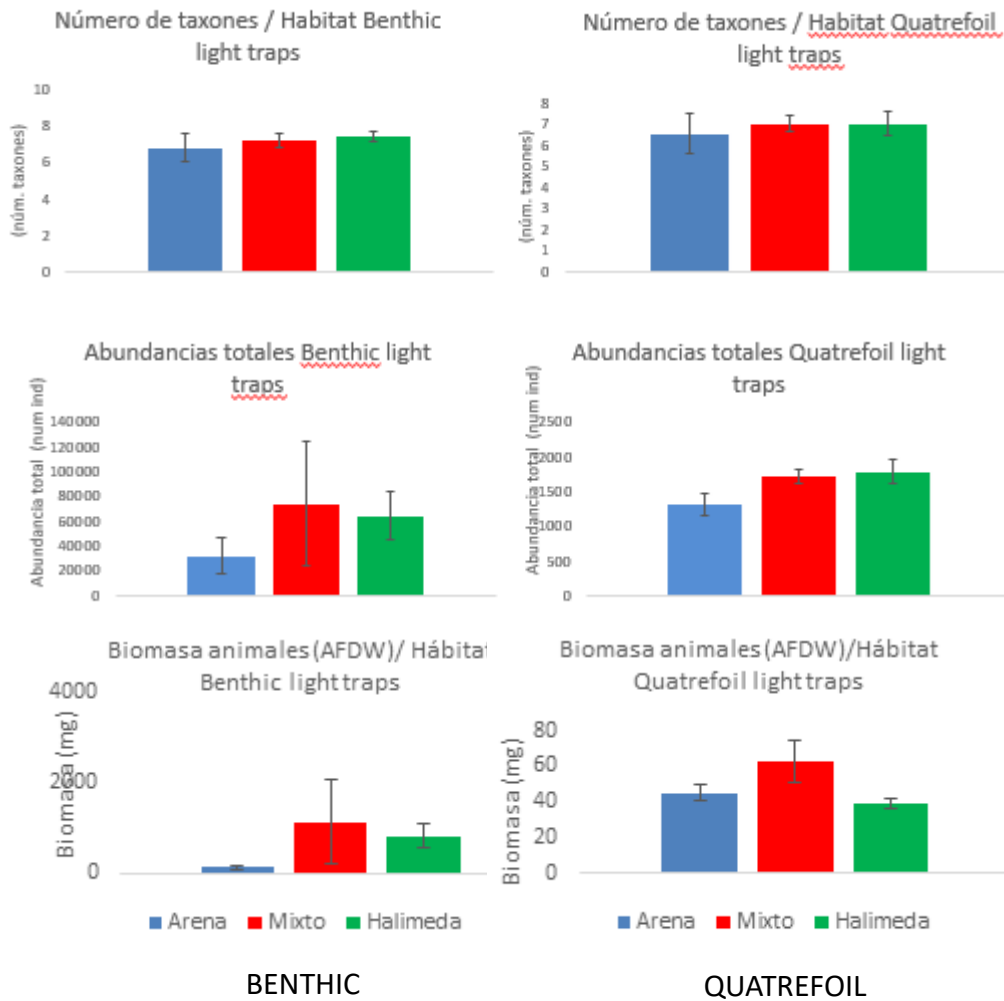


Figura 11: Diversidad, abundancias totales medias y biomasa de animales (+ error estándar) para los tres hábitats y para los dos métodos

Respecto a la diversidad se aprecia que es ligeramente superior en las praderas mixtas y de *Halimeda incrassata* respecto a la arena, pero no muestra ninguna tendencia. El análisis estadístico nos indica que no se observan diferencias en diversidad, entendida como número de taxones encontrados, ni entre hábitats (tabla 2) ni entre métodos (tabla 3).

Tabla 2: Test ANOVA para la comparación de diversidad en función de los tres hábitats

Habitat	Degree of freedom	MS	F	p-value
Num taxones	3	0,8	1,1	0,357
Error	23	0,7		

Tabla 3: Test ANOVA para la comparación de la diversidad en función de los dos métodos

Method	Degree of freedom	MS	F	p-value
Num taxones	3	0,4	1,5	0,244
Error	23	0,2		

Respecto a la abundancia, en la figura 11 se observa que las Quatrefoil light traps muestran una tendencia positiva partiendo desde la arena hacia la mixta y la *H. incrassata*. Para las Benthic light traps se observa que el valor máximo de abundancias se da en la pradera mixta, siendo el mínimo en la arena y el intermedio en la *H. incrassata*. Para comparar estos datos de abundancias se realizó una ANOVA de dos factores (para la variable logtransformada) mediante la que se concluye que no se observaron diferencias significativas entre los hábitats y sí entre los métodos, siendo las abundancias significativamente superiores en el método de las Benthic light traps. Previamente se testó la normalidad de todos los datos mediante el test de Shapiro.

Tabla 4: 2-way ANOVA para la comparación de abundancias en función de los tres hábitats y de los dos métodos

2-way	Degree of freedom	MS	F	P-value
Habitat	2	1,10E+09	0,444	0,647
Method	1	2,01E+10	8,168	0,009
Habitat*Method	2	1,05E+09	0,426	0,659

Respecto a la biomasa de animales se puede observar que el mayor valor se da en la pradera mixta para los dos métodos. A continuación, se testan las diferencias estadísticamente mediante una ANOVA de dos factores.

Tabla 5: 2-way ANOVA para la comparación de biomasa de animales en función de los tres hábitats y de los dos métodos.

2-way	Degree of freedom	MS	F	P-value
Habitat	2	3,0138	0,9187	0,420
Method	1	0,3648	0,1112	0,743
Habitat*Method	2	3,4415	1,0491	0,374

No se observan diferencias significativas entre los hábitats ni entre los métodos en biomasa de animales. Que no se observen diferencias entre métodos, es atribuible a que aunque mediante las Benthic light traps se capturen más individuos, su tamaño es menor que los que son capturados con las Quatrefoil light traps, haciendo esto que las biomásas no sean diferentes.

A continuación, se muestran las abundancias relativas medias de los diez grandes grupos para los dos métodos en los tres hábitats figura 12.

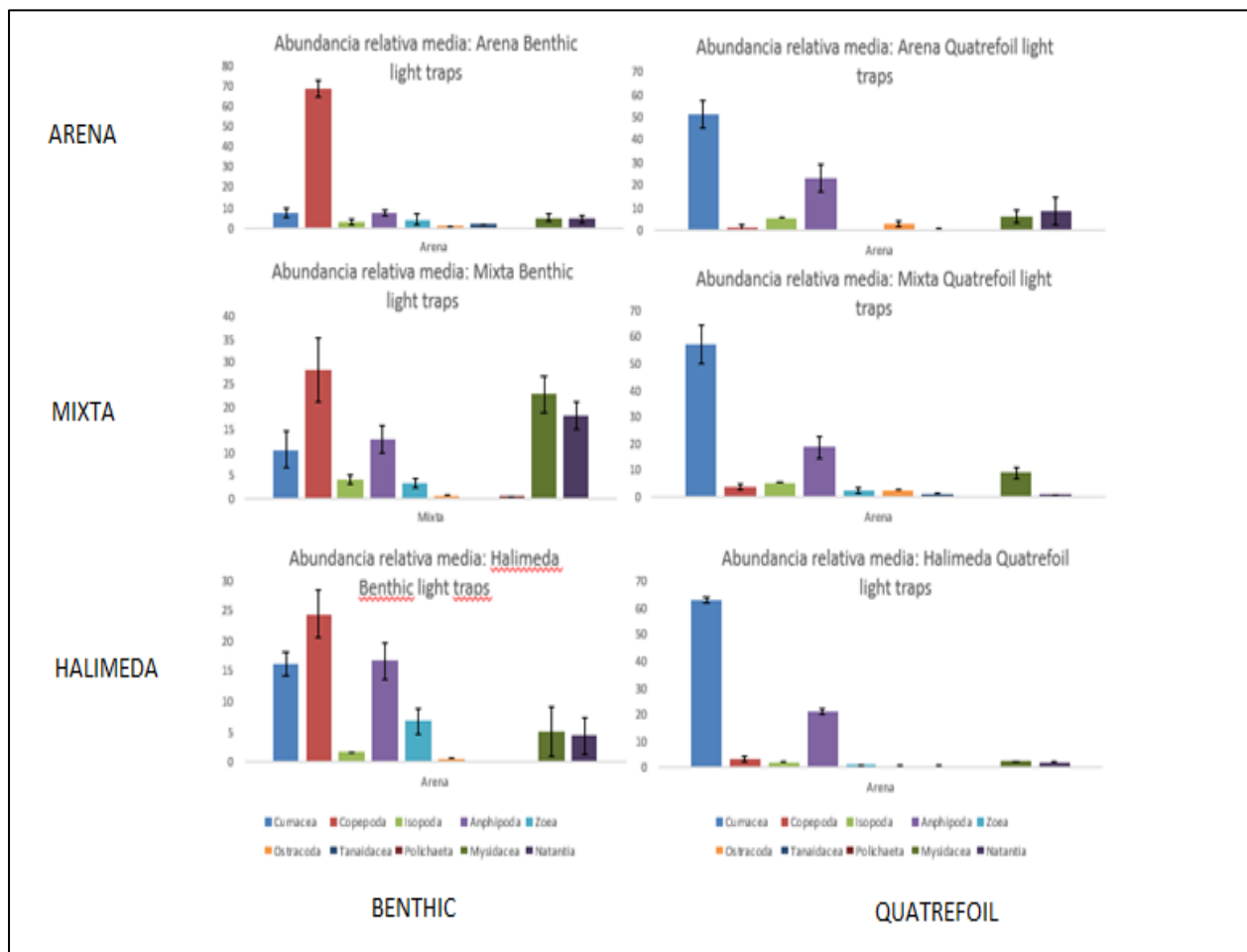


Figura 12: Abundancias relativas medias de los principales grupos de animales recolectados en los tres hábitats para los dos métodos

En la figura 12 se puede observar como las abundancias relativas de los diferentes grupos varían en los hábitats de muestreo. En las Benthic, en la arena, el grupo dominante son los copépodos con una abundancia relativa media del 68%, y tanto en la estación mixta como en la correspondiente a la *Halimeda incrassata*, se observa que dicho valor desciende al 28% y 24% respectivamente. También se aprecia como los otros grupos son

más abundantes en las estaciones que no son la arena, es decir, tanto anfípodos como cumáceos, mysidáceos y natantia.

Las abundancias relativas en las Quatrefoil light traps muestran un patrón en el que para los tres sustratos observamos que el grupo dominante son los cumáceos, con un porcentaje superior al 50% en todos los casos, siendo más abundantes en la *Halimeda incrassata* que en la estación mixta y que en la arena. A diferencia del otro método, los copépodos no abundan en ninguna de los 3 hábitats, siendo su máxima abundancia relativa del 7%. Los anfípodos se mantienen relativamente constantes en este método, con valores en torno al 20%.

También observamos diferencias claras entre grupos, cuáles son mejor muestreados con cada método, debido al hecho de que un método Benthic está ligado físicamente al sustrato y el Quatrefoil queda a medio metro del sustrato entre aguas.

3.2 Biomasa de *Halimeda incrassata* y de *Cymodocea nodosa*

El hábitat de pradera de *H. incrassata* contiene una mayor biomasa, aproximadamente 4 veces superior, que el hábitat de pradera mixta (*Cymodocea nodosa* + *Halimeda incrassata* + algas filamentosas) figura 13, (Tabla 6).

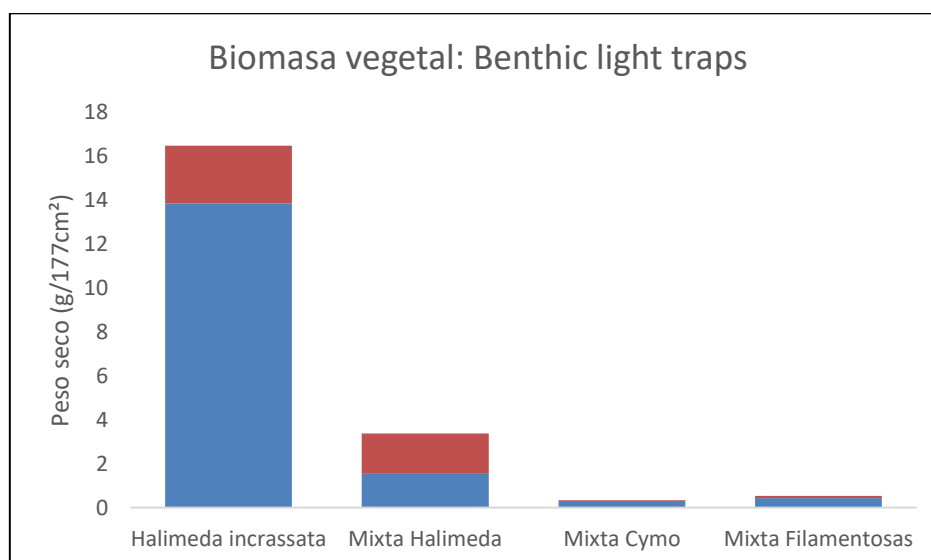


Figura 13: Valores de biomasa de macrófito en peso seco para los hábitats mixto (*H. incrassata*, *C. nodosa* y filamentosas) y *Halimeda incrassata*.

Para observar diferencias se realizó una ANOVA (tabla 6) en la que se observaron diferencias significativas entre los dos hábitats.

Tabla 6: Test ANOVA para la comparación de las biomases en la estación mixta y *Halimeda incrassata*

Biomasa/habitat	Degree of freedom	MS	F	P-value
Habitat	2	138,1401	6,33273	0,006
Error	24	21,8137		

A continuación, se representan los valores de abundancia en escala logarítmica para los valores totales de biomasa para la pradera mixta y *H. incrassata* obtenidos con las Benthic light traps, figura 14, donde no se aprecia ninguna relación entre abundancia de mesofauna y abundancia de macrófitos (siendo el $R^2 = 0,04329$ para la pradera mixta y $R^2 = 0,0073$ para la pradera de *Halimeda incrassata*, lo que nos indica que no hay una relación significativa). También se observa que la biomasa de animales en función de la biomasa de macrófito sigue un patrón bastante similar al de las abundancias, siendo el ($R^2 = 0,5855$) para la pradera mixta y ($R^2 = 0,3392$) para la pradera de *Halimeda incrassata*, lo que nos indica que no hay una relación significativa.

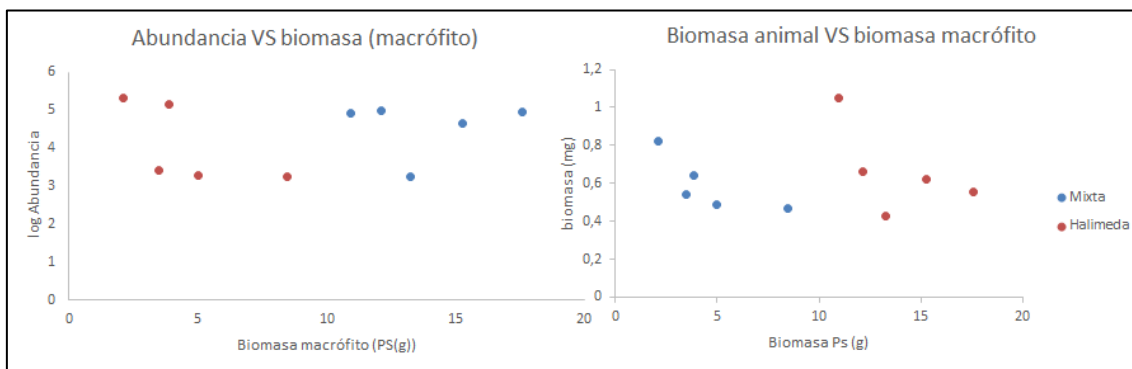


Figura 14: Valores de las abundancias y biomases animales obtenidas para las diferentes biomases totales de macrófito cuantificadas en la pradera mixta y *H. incrassata*.

Se muestra la representación de los valores de abundancia y biomasa de animales divididos por la biomasa de macrófito, figura 15, con el objetivo de observar si alguna de los hábitats carga con una mayor cantidad de fauna y se puede observar que la pradera

mixta tiene unos valores de biomasa y abundancia por macrófito superiores a los de la pradera de *Halimeda incrassata*.

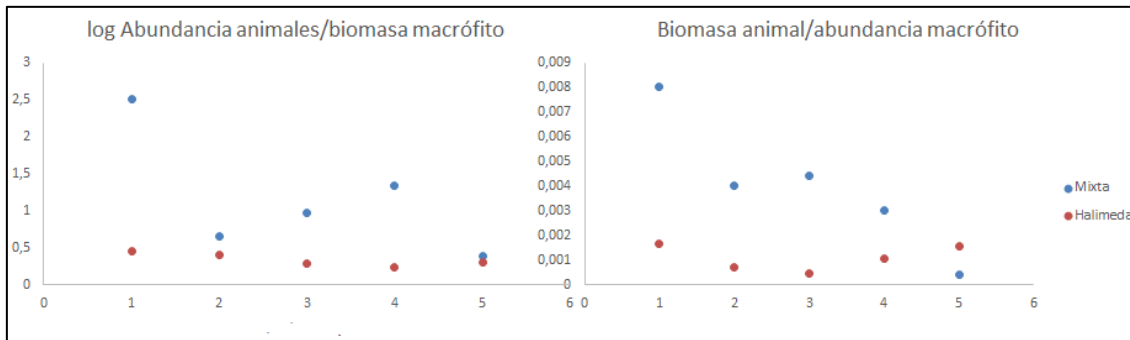


Figura 15: Valores de abundancia y biomasa divididos por biomasa de macrófito cuantificadas en la pradera mixta y *H. incrassata*.

3.3 Análisis multivariante: PCA y RDA

Para continuar con el análisis de los resultados se analizan las abundancias medias de cada uno de los grupos para cada uno de los hábitats y métodos. En la figura 16, se observan las abundancias para los tres sustratos y la diferencia tan grande en abundancias que hay para los dos métodos. Además, se puede observar como en la arena, los valores de abundancia de casi todos los grupos a excepción de los copépodos son significativamente diferentes en comparación a los otros hábitats.

A continuación, se hace una lectura del gráfico para cada método:

Con las trampas Benthic se aprecian diferencias significativas entre la arena y los otros dos hábitats para los cumáceos, anfípodos, isópoda, mysidácea, natantia, tanaidaceo y larvas zoea. No se observan para copépodos grupo dominante en la estación de Arena.

Con las trampas Quatrefoil, en los anfípoda no se observan diferencias entre la estación mixta y la arena, pero sí con la *Halimeda incrassata*, siendo en esta último su valor máximo de abundancia. Para los copépodos, mysidáceos y cumáceos sí que se observan diferencias entre los tres hábitats. Los cumáceos son, con mucha diferencia, el grupo más abundante capturado con este método.

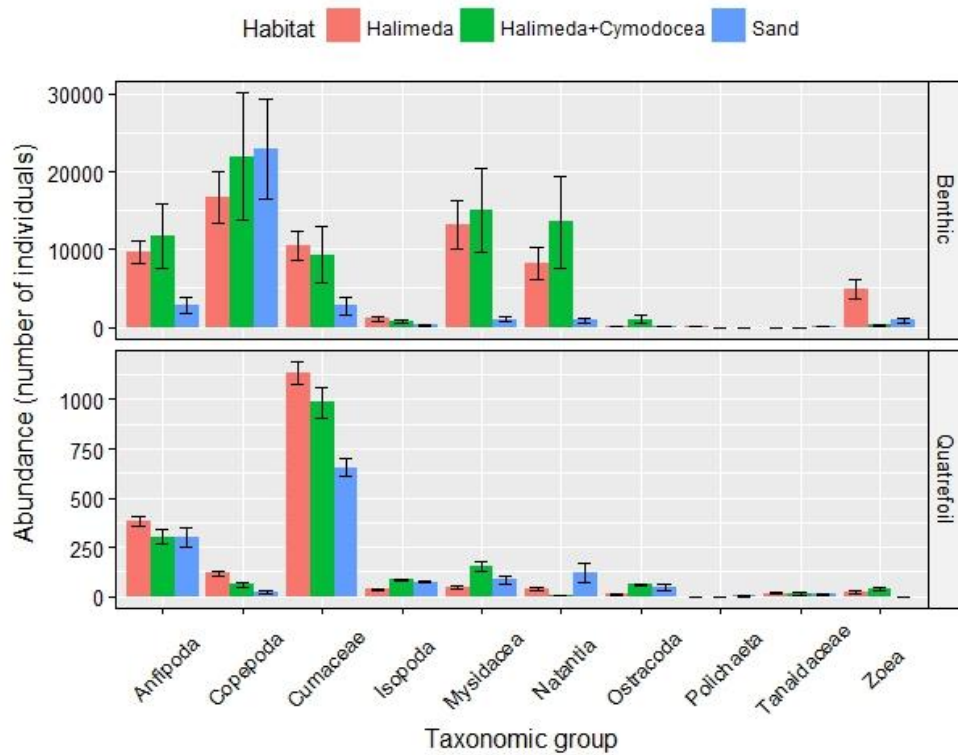


Figura 16: Valores de las abundancias medias para los tres hábitats con los dos diferentes métodos

Análisis de componentes principales:

En la figura 17 se observan dos PCA uno por cada método (uniendo los datos de los tres hábitats) que nos explican la variabilidad de los datos. De esta manera, se puede entender y tratar mejor los datos de los 10 taxones en dos dimensiones (explicándose el 66% de la variabilidad de los datos). Se puede observar que las Benthic light traps, como las Quatrefoil light traps, muestran una gran variabilidad lo que hace complejo su análisis.

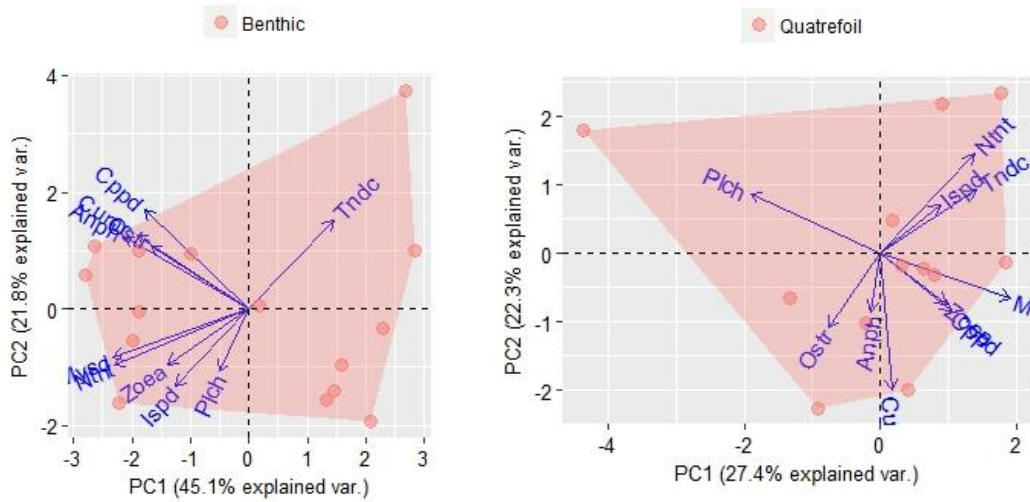


Figura 17: PCA de las abundancias para los dos métodos por separado

Al superponer los dos métodos Figura 18 en un mismo PCA se puede observar la diferencia que hay entre ambos:

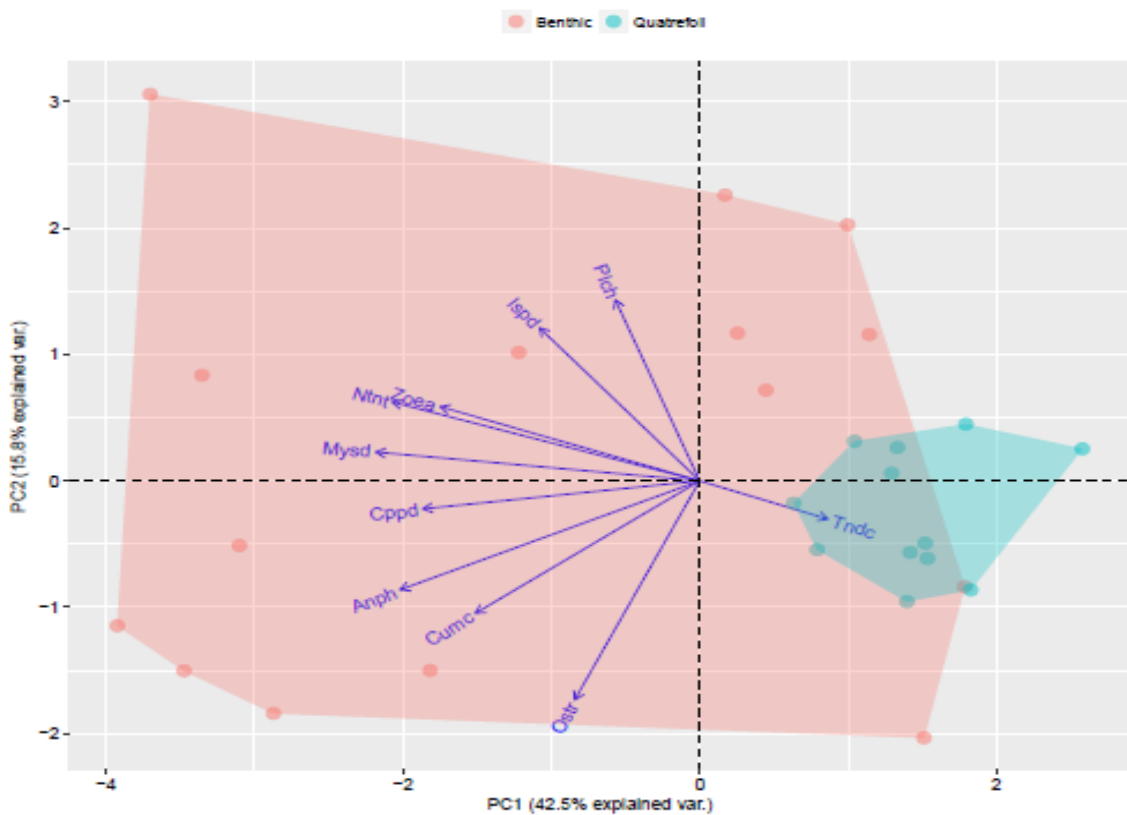


Figura 18: PCA de las abundancias para los dos métodos

Análisis de la redundancia:

Se realiza un RDA para testar si hay diferencias entre hábitats para las Benthic light traps (tabla 7). No se observan diferencias significativas.

Tabla 7: Significación del análisis de la redundancia para testar diferencias entre hábitats para las Benthic light traps

RDA 1 Benthic	Df	Variance	F	P-value
Método	2	6,599	1,7952	0,067
Residual	23	42,276		

La figura 19 representa, para las trampas Benthic, qué grupos taxonómicos tienden a qué tipo de hábitat y la intensidad de sus tendencias. Los tanaidáceos tienden a ser más abundantes en la arena; los isópodos, ostrácodos, natantia y mysidáceos tienden a serlo más en la pradera mixta, y cumáceos, larvas zoea y anfípodos a la *H. incrassata*.

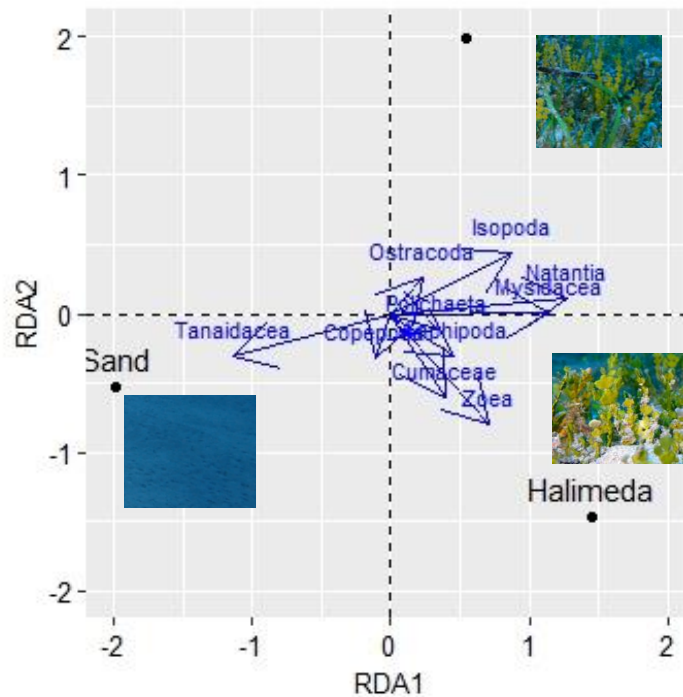


Figura 19: RDA de tendencias e intensidad de atracción de los grupos a los tres hábitats para las Benthic light traps

Se realiza el mismo análisis para las Quatrefoil light traps, la (tabla 8) indica que no se observaron diferencias significativas entre hábitats.

Tabla 8: Significación del análisis de la redundancia para testar diferencias entre hábitats para las Quatrefoil light traps

RDA 2 Quatrefoil	Df	Variance	F	P-value
Método	2	6,599	1,7952	0,058
Residual	23	42,276		

La figura 20 representa para las trampas Quatrefoil, qué grupos taxonómicos tienden a qué tipo de hábitat y la intensidad de sus tendencias. Los tanaidáceos tienden a la arena; los isópodos, ostrácodos, larvas zoea y mysidáceas tienden a la pradera mixta y los natantia a la *H. incrassata*.

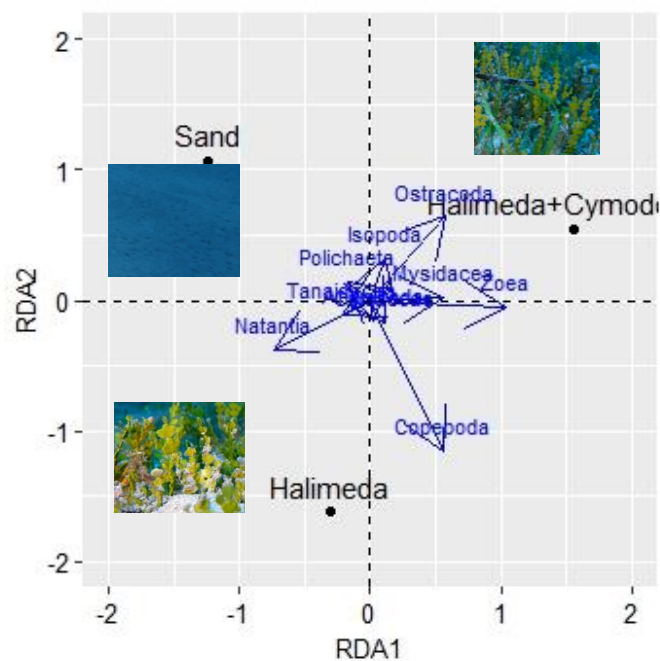


Figura 20: RDA de tendencias e intensidad de atracción de los grupos a los tres hábitats para las Quatrefoil light traps

A continuación, se realiza el mismo análisis pero teniendo en cuenta ambos métodos a la vez y no por separado como se ha realizado con anterioridad. El RDA 3 (tabla 9) sirve para extraer el efecto del hábitat, y por lo tanto, testar el efecto del método, mediante un método de 999 permutaciones, que nos permite observar diferencias significativas entre métodos (tabla 9).

Tabla 9: Significación del análisis de la redundancia para el factor método

RDA 3	Df	Variance	F	P-value
Método	1	21,73	11,822	0,001
Residual	23	42,276		

La figura 21 permite observar que grupos taxonómicos tienden hacia qué tipo de método sin tener en cuenta el hábitat. En este caso, el eje horizontal nos representa cada una de las dos metodologías utilizadas y nos muestra que los grupos zoea, natantia, mysidácea y anfípodos tienden a las trampas Benthic, como se puede interpretar de la angulación de los vectores de similitud de dichos grupos con el eje.

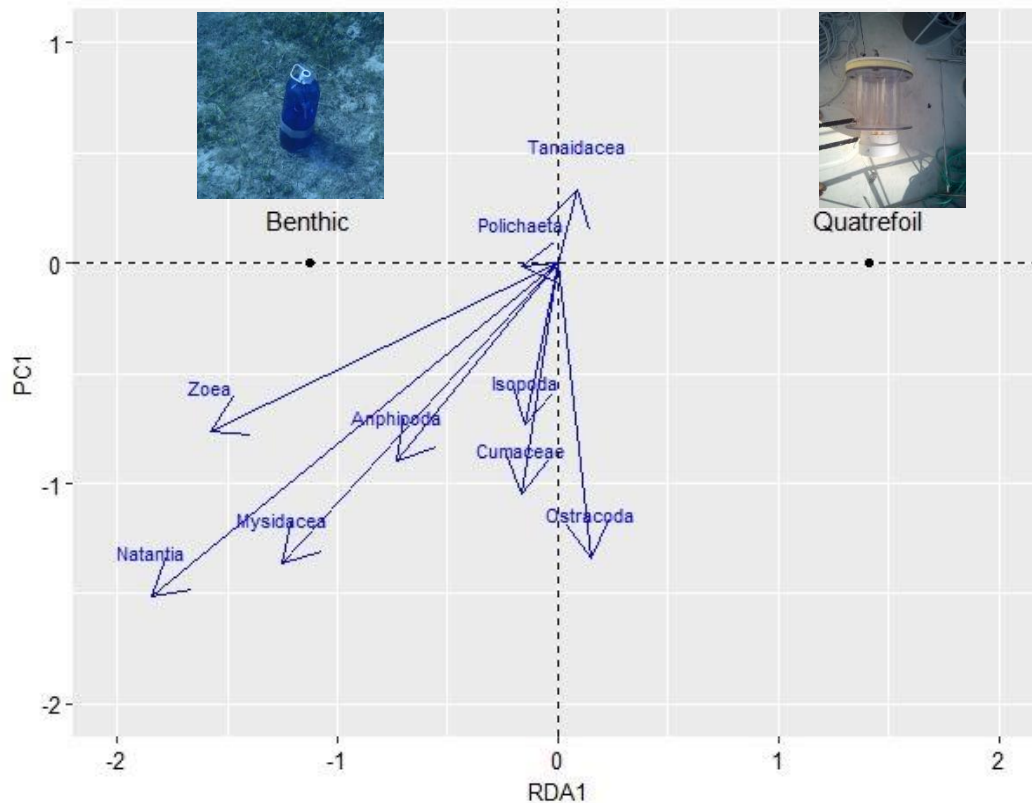


Figura 21: RDA de tendencias e intensidad de atracción de los grupos a cada uno de los métodos

3.4 Distribución de tallas de los organismos

Las tallas de 2750 individuos de epifauna fueron medidas mediante el programa Image J. Se observa que se obtienen más individuos pequeños mediante las Benthic light traps, sobre todo en la arena, correspondiente a los copépodos Figura 22 y 23. También se observa un patrón de dos picos en las curvas correspondientes a las tallas de 1mm y 5 mm

respectivamente, indicando que son los valores de tallas más abundantes para los diferentes grupos. Se aprecia que los animales más pequeños son los copépodos, abundantes sobre todo en la arena y capturados con mayor intensidad con las Benthic light traps. Podemos considerar animales medianos los amphipoda, natantia, mysidacea e isópoda y grandes los cumáceos.

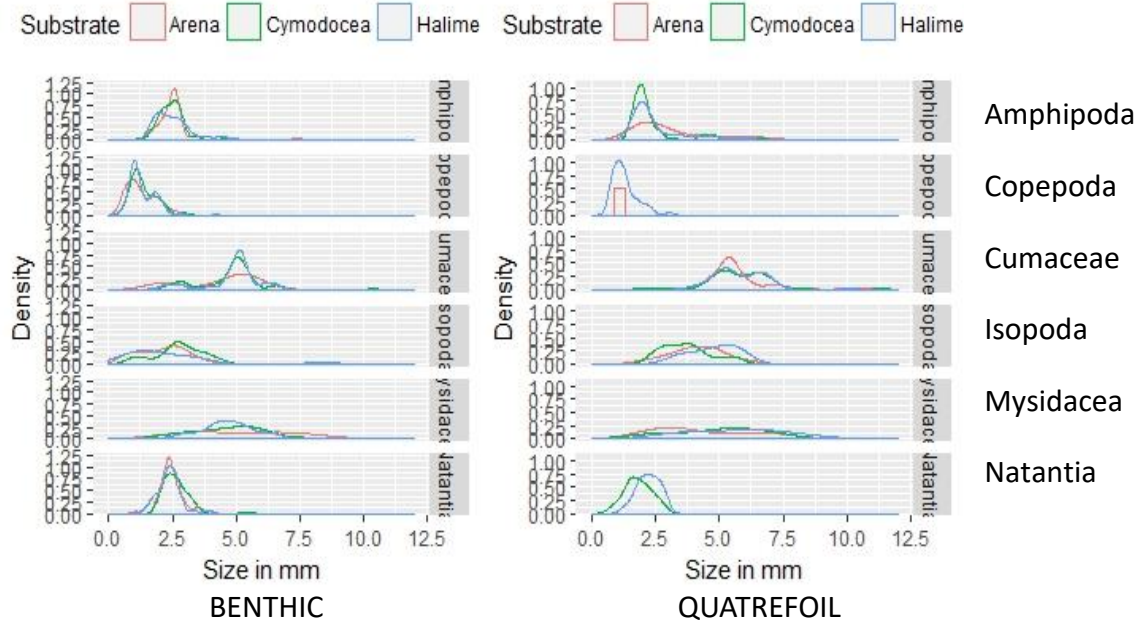


Figura 22: Densidad de animales (separado por grupos taxonómicos hábitat y trampa) por talla

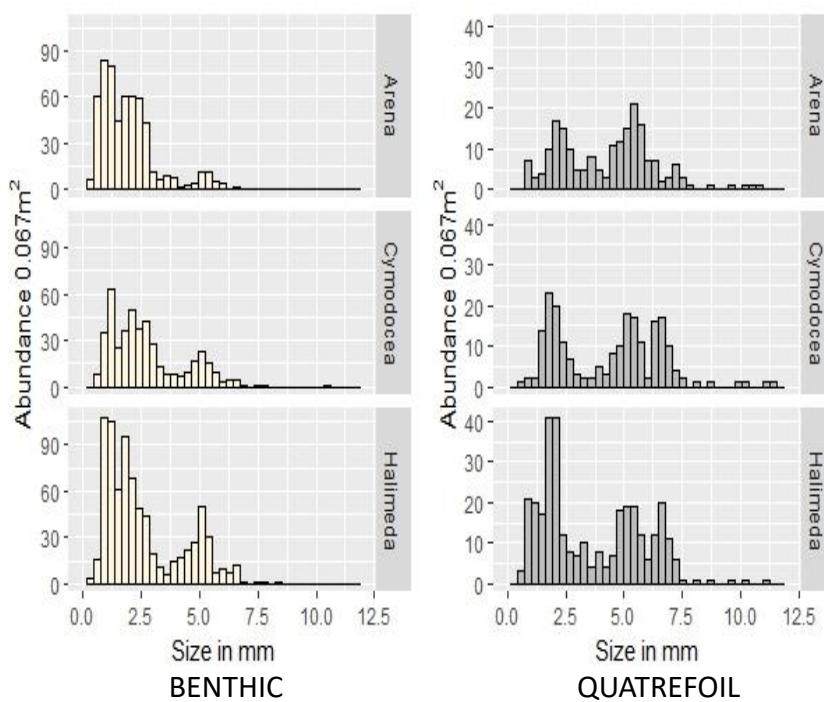


Figura 23: Abundancia de animales (por superficie hábitat y trampa) por talla

3.5 Organismos clasificados a nivel de especie

El trabajo se realizó a nivel de grandes grupos sin embargo para los órdenes de anfípodos y cumáceos se contó con la colaboración de los doctores Damià Jaume y Jordi Corbera respectivamente llegando así a identificar a nivel de géneros y especies en algunos casos.

Para el orden de los anfípodos: se identificaron individuos de las familias: *Oedicerotidae* (*Monoculodes carinatus*), *Ampeliscidae* (*Ampelisca truncata*), *Dexaminidae* (*Guernea coalita*), *Leptocheirocidae* (*Leptocheirus hirsutimanus*) y *Lyssianasidae* (*Ochromenella nana*) figura 24.

Para el orden de los Cumáceos: los individuos que se identificaron fueron todos de la subfamilia *Bodotriinae*: *Iphinoe sp*, *Bodotria sp* y *Eucuma ferox* figura 25.

Para el orden de los isópodos, se identificaron algunos individuos a nivel de género en concreto individuos del genero *Gnathia*, grupo que se caracteriza por ser parásitos de peces.

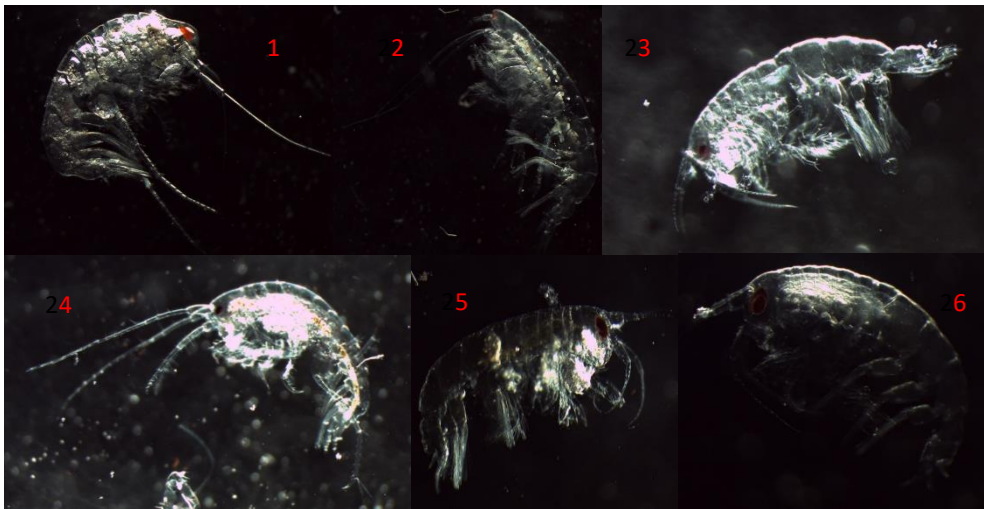


Figura 24: Ejemplares los anfípodos *Monoculodes carinatus* (1) *Ampelisca truncata* (2), *Guernea coalita* (3), *Atylus massiliensis* (4), *Leptocheirus hirsutimanus* (5) y *Ochromenella nana* (6). Tamaño medio 2mm

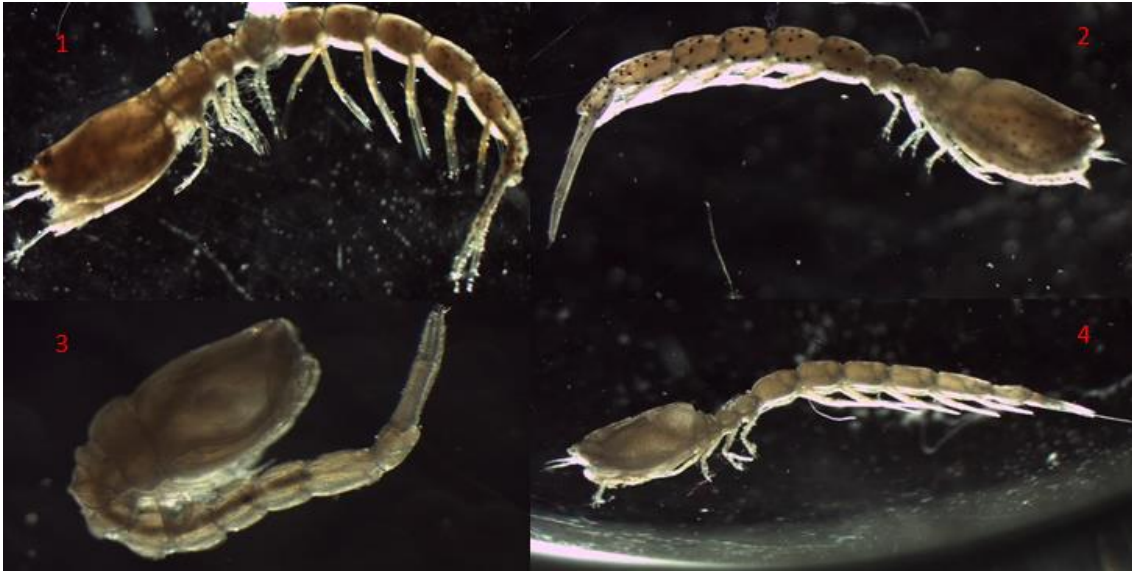


Figura 25: Ejemplares de los cópodos *Iphinoe sp.* (1), macho adulto de *Bodotria sp.* (2), juvenil de *Bodotria sp.*, (3) y macho adulto de *Eucuma ferox*. (4). Tamaño medio 5mm



Figura 26: Ejemplares de isópoda del género *Gnathia* (parásitos de peces). Tamaño medio 3mm.

A continuación, se representa la (tabla 10) con los anfípodos encontrados en las muestras del experimento a nivel de especie.

Tabla 10: Número medio de individuos y desviación estándar de las especies de amphipoda estudiadas en función del hábitat y del método.

Hábitat	Método	Oedicerotidae	Ampeliscidae	Phoxocephali dae	Aoridae	Lysianassidae	Dexaminidae	
		<i>Monoculodes carinatus</i>	<i>Ampelisca truncata</i>		<i>Leptocheirus hirsutimanus</i>	<i>Ochromenella nana</i>	<i>Guernea coalita</i>	<i>Atylus massiliensis</i>
Arena	Benthic	7 ± 6,44	1 ± 0,7	0,4 ± 0,89	0 ± 0	0,2 ± 0,44	0,2 ± 0,44	0,2 ± 0,44
Mixta	Benthic	10,8 ± 4,32	0,6 ± 1,34	0,8 ± 1,3	0 ± 0	2,2 ± 4,38	1,2 ± 1,78	0 ± 0
Halime da	Benthic	12,6 ± 9,69	1,25 ± 1,89	1,2 ± 1,64	0 ± 0	3,8 ± 6,09	2,6 ± 1,67	0,2 ± 0,44
Arena	Quatref oil	4 ± 4,69	4 ± 1,15	0,5 ± 0,57	0 ± 0	2 ± 3,36	15,5 ± 1,26	1,75 ± 1,5
Mixta	Quatref oil	3 ± 3,56	1,33 ± 1,15	1 ± 1,73	0 ± 0	0,33 ± 0,57	9,5 ± 6,8	1,25 ± 0,96
Halime da	Quatref oil	4,75 ± 4,57	1,5 ± 1,29	0,25 ± 0,5	0,5 ± 1	0 ± 0	15,5 ± 8,73	1,25 ± 0,5

3.6 Organismos en las muestras de infauna

Cabe destacar que se obtuvieron muy pocos animales de infauna, seguramente debido a un problema de infrarreplicación. La abundancia de infauna es variable, aunque se tiende a observar una mayor abundancia de bivalvos en los hábitats que contienen *Halimeda* que en el hábitat de arena, mientras que por otro lado, solamente se han observado decapodos en el hábitat de arena, figura 27.

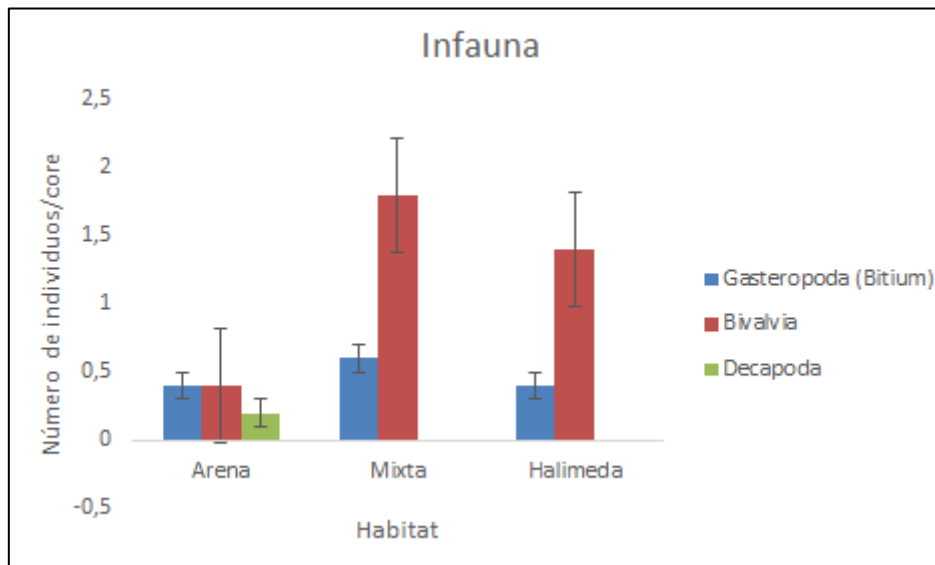


Figura 27: Número de individuos de las clases bivalvia, gasterópoda y decapoda obtenidos en las muestras de infauna

No se observan diferencias significativas entre hábitats para ninguno de los tres grupos de animales (tabla 11).

Tabla 11: Tabla ANOVA de los tres grupos de animales de infauna en función del hábitat.

BIVALVIA	Degree of freedom	MS	f	p-value
Habitat	2	2,60000	1,34483	0,297179
Error	12	1,93333		
GASTEROPOD A				
Habitat	2	0,066667	0,142857	0,868330
Error	12	0,466667		
DECAPODA				
Habitat	2	0,066667	1,000000	0,396569
Error	12	0,066667		

4. DISCUSIÓN

Los resultados del análisis univariante demuestran diferencias significativas en la abundancia entre la arena y los otros dos hábitats, y también demuestran diferencias en abundancias entre ambos métodos, siendo el Benthic light traps el que captura un mayor número de animales. Sin embargo, no se observan diferencias en la diversidad ni entre hábitats ni entre métodos. Para ver las diferencias de abundancias entre los diferentes grupos taxonómicos se aplicó el análisis multivariante figura 16. Los RDAs indican diferencias significativas entre métodos (p -valor = 0.044), pero no entre hábitats ni para las Benthic light traps (p -valor = 0.067), ni para las Quatrefoil light traps (p -valor = 0.058).

La colonización de zonas de arena en el Cap Enderrocat por el macrófito *Halimeda incrassata* genera un cambio de hábitat y es posible que esté generando un cambio de los parámetros estructurales que pueden afectar a las comunidades de invertebrados. El hecho de que se observen diferencias significativas en la abundancia de las comunidades entre la arena y los otros dos hábitats sugiere que debido a la presencia de *H. incrassata* se están generando nuevas condiciones, y que las comunidades de invertebrados que viven en esta zona están habitando de manera más abundante la zona de *H. incrassata* o la zona mixta. Esto sugiere que el nuevo hábitat proporciona atributos que permiten a la epifauna ser más abundante que en un hábitat como la arena. Estos atributos o factores que permiten a una gran cantidad de epifauna vivir en estos hábitats pueden ser la protección y el alimento que proporcionan los macrófitos (Nita et al. 1994).

La aparición de nuevas estructuras, como pueda ser en este caso la *H. incrassata*, facilita la colonización, ya que aporta estructuras de protección (Piazzi et al. 2005). Además, favorece la generación de nuevos hábitats (Dean & Conell 1987; Bologna & Kech 2000). Trabajos realizados acerca de invasiones de *Caulerpa* adelantan que el efecto de una invasión puede ser positivo para algunos grupos faunísticos de la mesofauna por el aporte de nuevas estructuras formadoras de hábitat (Box, 2008). Como caso de otra invasión, *Caulerpa taxifolia*, proporciona hábitat (Travizi & Zavodnik 2004). Sin embargo, otros estudios realizados aseguran que la abundancia de los anfípodos disminuye con la aparición de *C. taxifolia*, ya que puede modificar la cualidad e intensidad de los factores

físicos, químicos e hidrodinámicos, así como el número y calidad de los refugios y alimento. (Bella Santini, 1996; Tippetts, 2002).

Respecto a la *Halimeda incrassata*, mediante este estudio se puede reiterar que las abundancias son mayores en zonas habitadas por este macrófito más aún si está combinado con la *Cymodocea nodosa*, fanerógama que posiblemente aporta otro hábitat complementario. Es por ello que se pueden observar mayores abundancias y biomasa animales por biomasa de macrófito en el hábitat mixto, ya que hay dos tipos de estructuras formadoras de hábitat a pesar de presentar éste una menor biomasa total de macrófitos. Por esto, es muy importante ver cómo puede afectar *Halimeda incrassata* a los macrófitos presentes en la zona. Hay gran variedad de trabajos que han estudiado el impacto de algas invasoras (*Undaria pinnatifida*, *Womersleyella setacea*, *Codium fragile*, *Caulerpa taxifolia*...) sobre macrófitos. Un estudio que recopila una gran cantidad de estos estudios, sugiere que las que denomina NIMS (Nonindigenous macroalgal species) tienen un efecto desde moderado a altamente negativo en las especies de plantas nativas y en los ecosistemas que estas soportan. Además, plantea que la exposición en un largo periodo de tiempo a especies invasoras puede llevar a serias consecuencias a una escala temporal mayor (Thomsen et al. 2009).

Respecto a los grupos taxonómicos estudiados, no se observan efectos negativos sobre la abundancia y diversidad de las comunidades (excepto para tanaidáceos), y sí que se observa la presencia de especies de anfípodos que habitan en *Posidonia oceanica* cohabitando en *Halimeda incrassata* como son *Guernea coalita*; *Ampelisca truncata*; *Atylus massiliensis*; (Box, 2008). Sin embargo, pese a que cabría esperar encontrar anfípodos de las mismas especies que en *Caulerpa cylindracea* debido a la similitud casuística, también encontramos anfípodos que no son tan similares a los que se encuentran en otros trabajos realizados en esta alga (Vázquez et al. 2007). En este trabajo como en el citado anteriormente se puede observar una especie en común *Guernea coalita* con unos valores de abundancias relativamente altos en el grupo de los Anfípodos.

El aumento de la abundancia, favorecido por la presencia de *H. incrassata*, puede tener implicaciones a nivel de la red trófica del ecosistema en la localidad, ya que se puede inferir un aumento de la producción secundaria. En relación a esta idea, la distribución de tallas de la comunidad nos permite inferir que, debido a la invasión de *H. incrassata*, el

aumento de biomasa de pequeñas presas potenciales para peces habitantes de la localidad como son el Raón, los pageles y los salmonetes puede ser positiva para la comunidad de peces. Los individuos juveniles de *Xyrichtys novacula* se alimentan de presas vulnerables como copépodos y gammáridos (Castriota et al. 2005). Por lo tanto, este aumento de biomasa de estos grupos puede favorecer a esta especie tan valorada por su valor comercial.

Para las muestras de infauna, los resultados que se obtuvieron arrojaron bajos valores de abundancia, seguramente debido a un problema de infrareplicación para este método. Normalmente los trabajos que cuantifican la infauna usan un mayor número de réplicas o corers de mayor volumen (Raz, & Grizzle, 2001), para obtener un número mayor de individuos que caracterice mejor la comunidad, aspecto que se tendrá en cuenta en futuros estudios para mejorar los resultados obtenidos, ya que serán necesarios una mayor cantidad de animales para realizar una mejor interpretación. Los animales encontrados, en concreto los gasterópodos, son similares a los que aparecen en las praderas de *Cymodocea*, *Posidonia* y *Caulerpales* en concreto gasterópodos del género *Bitium* (Box, 2008). La mata de *Posidonia oceanica* es un hábitat muy bueno para los decápodos porque les proporciona refugio y alimento, es por eso que se encuentran con mayor abundancia en este tipo de hábitats que en la arena (García Raso, 1996). *Caulerpa cylindracea* hace que la abundancia de moluscos aumente respecto a la arena (Buia et al. 2001) y un patrón parecido se observa en praderas *Caulerpa prolifera*, donde la abundancia de poliquetos y moluscos de las comunidades de infauna es mayor que en zonas de arena (Ballesteros et al 1987; Dantart et al. 1990; Sanchez Moyano 2001b).

Respecto a la comparación intermetodológica, las diferencias significativas encontradas entre los dos métodos, testadas mediante el RDA y el análisis univariante, indican que los anfípodos, larvas zoea, mysidáceos y natantias son más atraídos por las nuevas trampas, denominadas como Benthic light traps, y que otros grupos, como son los cumáceos e isópodos son mayoritariamente atrapados mediante las Quatrefoil light traps. Estos resultados nos permiten contestar algunas de las preguntas que se plantean en la introducción: en primer lugar, como ya se han comentado las preferencias de los diferentes grupos por los dos diferentes tipos de trampa. En segundo lugar, los pros y las contras de los dos métodos: cabe destacar que las Benthic light traps, son un prototipo

que era por primera vez utilizado, que ha permitido obtener resultados muy variables y por lo tanto hubiera sido mejor obtener más replicas para poder tener resultados menos dispares y será una consideración a tener en cuenta en futuros estudios. Los pros de las trampas Quatrefoil son que se obtienen abundancias muy similares por cada una de las muestras y su colocación en el mar requiere menor esfuerzo, ya que no es necesario realizar inmersiones. Sin embargo, mediante las Benthic light traps, pese a que la versión utilizada en este estudio sea una versión experimental (prototipo), se obtienen muestras mucho más abundantes y su relación física con el hábitat permite la recolección de la superficie del dosel foliar para asociar la abundancia de fauna a la biomasa algal o de angiosperma marino. Por lo tanto, habiendo encontrado los mismos taxones en ambas trampas el método ideal sería la elaboración de un prototipo totalmente estanco y perfecto de Benthic light trap, ya que daría información similar a las Quatrefoil, y además permitiría obtener datos de biomasa de macrófitos, lo que permite asociar la cantidad de biomasa animal a la de macrófito.

Los dos métodos utilizados en el trabajo han resultado ser muy efectivos en comparación con otros métodos utilizados en otros proyectos en los que se han utilizado únicamente mallas que se han colocado en una superficie y se ha cortado el dosel foliar correspondiente mediante buceadores. Respecto al tipo de fauna, cabe destacar que mediante ambos métodos utilizados la fauna recolectada ha sido fauna nocturna y activa. Respecto al tamaño de los animales capturados, las tallas de los animales fueron mayores en las Quatrefoil light traps debido, seguramente, a que para acceder a estas trampas los animales, al menos, debían tener capacidad de nadar medio metro hacia la luz por la columna de agua. Finalmente, respecto a la pregunta inicial de si las luces serían capaces de atraer animales intersticiales, la respuesta es clara, sí ya que el 95% de los cumáceos viven enterrados (Corbera et al. 1998).

En el caso de la *Halimeda incrassata*, para poder definir un efecto positivo para la mesofauna con más garantías, convendría continuar con el estudio y comparar que el patrón de Cap Enderrocat se cumple en la época de verano en otras localidades con presencia de *H. incrassata* ya que por razones obvias solo se pudo realizar el estudio en una localidad. Además, sería interesante estudiar la estacionalidad, ya que se sospecha que esta alga puede tener un ciclo muy marcado en el que al finalizar el verano los grandes

tapices que genera desaparecen para dejar lugar solo a los pequeños estolones que quedan enterrados, ya que en dos localidades como son Cabrera y Portals Vells, ha sido observada en verano pero no en primavera, y por lo tanto un estudio de la estacionalidad nos podría arrojar luz acerca de esta cuestión. Este tipo de estolones, en el caso de de *C. cylindracea*, actúan negativamente sobre los macrófitos endémicos (Lewi & Francour 2004). Esto puede afectar de manera negativa a peces especializados en cazar en algunos hábitats de macrófito concreto, como por ejemplo le pasa al *Mullus Surmuletus* (Longepierre 2005).

Además, convendría estudiar como la invasión afecta a otras especies de macrófitos endémicos o ingenieros ecosistémicos como *Cymodocea nodosa* o *Posidonia oceanica*. Como se comenta anteriormente. Por ejemplo, en Caulerpales viven especies de hábitats próximos riqueza organismos detritívoros de *P. oceanica* (Borg et al. 2006) y la riqueza típica de los bordes de praderas (Sanchez-Jerez et al. 1999b). En la literatura actual hay multitud de ejemplos de especies invasoras sobre las comunidades bentónicas (Box et al. 2003; Levi and Francour 2004; Padilla & Williams 2004; Verlaque et al 2004; Longepierre et al 2005; Gribben & Wright 2006; Streflaris & Zenetos 2006; Antoniadou & Chintiroglou 2007; Galil 2007) por citar algunos. Los resultados obtenidos y su comparación con la literatura disponible muestran que cada especie tiene unos patrones de alteración del medio y de las comunidades de invertebrados diferentes y este trabajo es el primero realizado en aguas del Mediterráneo para la *Halimeda incrassata*. Hasta ahora las tendencias muestran efectos positivos para las comunidades de epifauna y generalmente negativos para macrófitos endémicos (Thomsen et al. 2009)

Es por lo tanto importante hacer un seguimiento de la expansión y evolución de este alga y de los impactos que pueda ejercer en las comunidades para poder definir con mayor claridad qué efecto tiene a nivel de ecosistema, ya que este es un primer trabajo que necesita ser continuado.

5. CONCLUSIONES

1. La presencia de *H. incrassata* tanto en el hábitat mixto como en la pradera ejerce un efecto positivo en la abundancia de los grupos taxonómicos capturados en este estudio.
2. El aumento de la abundancia de epifauna puede tener implicaciones a nivel de la red trófica del ecosistema en la localidad ya que se puede inferir un aumento de la producción secundaria de la cual se pueden favorecer algunas especies de peces de interés, como *Xyrichtys novacula*, cuyos juveniles se alimentan de estas presas.
3. Comparación intermetodológica:
 - a. Las muestras obtenidas mediante las Benthic light traps son más abundantes que las de las Quatrefoil light traps.
 - b. Anfípodos, larvas zoea, mysidáceos y natantias muestran tendencia hacia las Benthic light traps, y cumáceos e isópodos (más grandes) tienden a las Quatrefoil.
4. Es necesario realizar más estudios que continúen aportando conocimiento en relación a la dinámica, ciclo e influencia de la invasión del alga tropical *H. incrassata* en las comunidades en aguas del Mediterráneo.

6. AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a Jorge Terrados Muñoz y Fiona Tomàs Nash, tutores de mi Trabajo de Fin de Máster y excelentes personas.

Desde el comienzo me han apoyado y aconsejado, siempre que lo he necesitado. Han impulsado mis iniciativas y han ayudado a dar forma a uno de mis sueños, el poder trabajar en aquello que me gusta. Quiero agradecerles su integración en un grupo de investigación tan competente y acogedor.

También quiero agradecer a los doctores Inés Castejón, Hilmar Hinz y Josep Alós su ayuda y su cercanía y por supuesto su disposición a lanzarse al agua siempre cuando fue necesario para realizar los muestreos. Además de la inestimable colaboración de los taxónomos Damià Jaume y Jordi Corbera.

No quiero olvidarme de la simpatía y gran ayuda de Grace Tomlinson y Laura Pereda en el laboratorio y en el trabajo de redacción respectivamente.

Agradecer a Pablo Presa coordinador del Máster Interuniversitario de Biología Marina, a Rodolfo Barreiro coordinador del Máster en la UDC e Ignacio Bárbara Tutor interno del trabajo, por darme la oportunidad de continuar con mi carrera científica en tan buenas condiciones y por animarme a seguir adelante y no perder la esperanza.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alós, J., & Arlinghaus, R. (2013). Impacts of partial marine protected areas on coastal fish communities exploited by recreational angling. *Fisheries Research*, 137, 88-96.

Alós, J., Tomas, F., Terrados, J., Verbruggen, H., & Ballesteros, E. (2016). Fast-spreading green beds of recently introduced *Halimeda incrassata* invade Mallorca island (NW Mediterranean Sea). *Marine Ecology Progress Series*, 558, 153-158.

Antoniadou, C., & Chintiroglou, C. (2007). Zoobenthos associated with the invasive red alga *Womersleyella setacea* (Rhodomelaceae) in the northern Aegean Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 87(03), 629-641.

Ballesteros, E. (1989). Estructura y dinámica de la comunidad infralitoral de *Codium vermilara* (Olivi) Delle Chiaje de la Costa Brava (Mediterráneo Occidental). In *Anales de Biología* (No. 15, pp. 191-208).

Bologna, P. A., & Heck, K. L. (2000). Impacts of seagrass habitat architecture on bivalve settlement. *Estuaries and Coasts*, 23(4), 449-457.

Borg, J. A., Rowden, A. A., Attrill, M. J., Schembri, P. J., & Jones, M. B. (2006). Wanted dead or alive: high diversity of macroinvertebrates associated with living and 'dead' *Posidonia oceanica* matte. *Marine Biology*, 149(3), 667-677.

Boudouresque, C. F., & Verlaque, M. (2002). Biological pollution in the Mediterranean Sea: invasive versus introduced macrophytes. *Marine pollution bulletin*, 44(1), 32-38.

Castriota, L., Scarabello, M. P., Finoia, M. G., Sinopoli, M., & Andaloro, F. (2005). Food and feeding habits of pearly razorfish, *Xyrichtys novacula* (Linnaeus, 1758), in the southern Tyrrhenian Sea: variation by sex and size. *Environmental Biology of Fishes*, 72(2), 123-133.

Centeno, A. B. (2008). Tesis Doctoral Ecología de Caulerpales: Fauna y Biomarcadores.

Choat, J. H., & Clements, K. D. (1993). Daily feeding rates in herbivorous labroid fishes. *Marine Biology*, 117(2), 205-211.

Corbera, J., & García-Rubies, A. (1998). Cumaceans (Crustacea) of the Medes Islands (Catalonia, Spain) with special attention to the genera *Bodotria* and *Iphione*. *Scientia Marina*, 62(1-2), 101-112.

Cowper, S. W. (1978). The drift algae community of seagrass beds in Redfish Bay, Texas.

Gribben, P. E., & Wright, J. T. (2006). Invasive seaweed enhances recruitment of a native bivalve: roles of refuge from predation and the habitat choice of recruits. *Marine Ecology Progress Series*.

Levi, F., & Francour, P. (2004). Behavioural response of *Mullus surmuletus* to habitat modification by the invasive macroalga *Caulerpa taxifolia*. *Journal of Fish Biology*, 64(1), 55-64.

Longepierre, S., Robert, A., Levi, F., & Francour, P. (2005). How an invasive alga species (*Caulerpa taxifolia*) induces changes in foraging strategies of the benthivorous fish *Mullus surmuletus* in coastal Mediterranean ecosystems. *Biodiversity & Conservation*, 14(2), 365-376.

Martin, D., Dantart, L., & Ballesteros, M. (1990). Moluscos de las concreciones de algas calcáreas del litoral catalán (NE España). *Lavori SIM*, 23, 445-456.

Dean, R. L., & Connell, J. H. (1987). Marine invertebrates in an algal succession. II. Tests of hypotheses to explain changes in diversity with succession. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 109(3), 217-247.

Espino, F., Tuya, F., Brito, A., & Haroun, R. J. (2011). Ichthyofauna associated with *Cymodocea nodosa* meadows in the Canarian Archipelago (central eastern Atlantic): Community structure and nursery role. *Ciencias Marinas*, 37(2), 157-174.

Galil, B. S., Marchini, A., Occhipinti-Ambrogi, A., Minchin, D., Narščius, A., Ojaveer, H., & Olenin, S. (2014). International arrivals: widespread bioinvasions in European Seas. *Ethology Ecology & Evolution*, 26(2-3), 152-171.

Galil, B. S. (2007). Loss or gain? Invasive aliens and biodiversity in the Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 55(7), 314-322.

- Heck Jr, K. L., & Orth, R. J. (1980). Seagrass habitats: the roles of habitat complexity, competition and predation in structuring associated fish and motile macroinvertebrate assemblages. *Estuarine Perspectives*. Academic Press, New York, USA.
- Hernandez, F. J., Shaw, R. F., Cope, J. S., Ditty, J. G., Farooqi, T., & Benfield, M. C. (2003). The across-shelf larval, postlarval, and juvenile fish assemblages collected at offshore oil and gas platforms west of the Mississippi River Delta. In *American Fisheries Society Symposium* (pp. 39-72). American Fisheries Society.
- Kikuchi, T., & Peres, J. M. (1977). Animal communities in seagrass beds: a review. *Seagrass ecosystems: a scientific perspective*, 147-193.
- Lincoln, R. J. (1979). *British marine amphipoda: Gammaridea* (No. 818). British Museum (Natural History).
- Livingston, R. J. (1982). Trophic organization of fishes in a coastal seagrass system. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 7(1), 12.
- McEwen, G. F., Johnson, M. W., & Folsom, T. R. (1954). A statistical analysis of the performance of the Folsom plankton sample splitter, based upon test observations. *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie A*, 7(1), 502-527.
- Minchin, D., & Rosenthal, H. (2002). Exotics for stocking and aquaculture, making correct decisions. In *Invasive Aquatic Species of Europe. Distribution, Impacts and Management* (pp. 206-216). Springer Netherlands.
- Olenin, S., & Leppäkoski, E. (1999). Non-native animals in the Baltic Sea: alteration of benthic habitats in coastal inlets and lagoons. *Hydrobiologia*, 393, 233-243.
- Oliver, M., & Massutí, M. (1952). El raó, *Xyrichthys novacula* (Fam. Labridae). *Notas biológicas y biométricas*. Instituto Español de Oceanografía, Boletín, 48, 1-14.
- Orth, R. J., Heck, K. L., & van Montfrans, J. (1984). Faunal communities in seagrass beds: a review of the influence of plant structure and prey characteristics on predator-prey relationships. *Estuaries*, 7(4), 339-350.

Padilla, D. K., & Williams, S. L. (2004). Beyond ballast water: aquarium and ornamental trades as sources of invasive species in aquatic ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(3), 131-138.

Piazzzi, L., Meinesz, A., Verlaque, M., Akcali, B., Antolic, B., Argyrou, M., ... & Cirik, S. (2005). Invasion of *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Caulerpales, Chlorophyta) in the Mediterranean Sea: an assessment of the spread. *Cryptogamie-Algologie*, 26(2), 189-202.

Poloczanska, E. S., Brown, C. J., Sydeman, W. J., Kiessling, W., Schoeman, D. S., Moore, P. J., ... & Duarte, C. M. (2013). Global imprint of climate change on marine life. *Nature Climate Change*, 3(10), 919-925.

Raz-Guzman, A., & Grizzle, R. E. (2001). Techniques for quantitative sampling of infauna and small epifauna in seagrass. *Global seagrass research methods*, 237-253.

Sánchez-Jerez, P., Cebrián, C. B., & Esplá, A. A. R. (1999). Comparison of the epifauna spatial distribution in *Posidonia oceanica*, *Cymodocea nodosa* and unvegetated bottoms: importance of meadow edges. *Acta Oecologica*, 20(4), 391-405.

Sánchez Moyano, J. E., García Adiego, E. M., Estacio Gil, F. J., & García Gómez, J. C. (2001). Influencia en la densidad de *Caulerpa prolifera* (Chlorophyta) sobre la composición de la macrofauna en una pradera en la Bahía de Algeciras (sur de España). *Ciencias marinas*, 27(1), 47-71.

Streftaris, N., & Zenetos, A. (2006). Alien marine species in the Mediterranean-the 100 'Worst Invasives' and their impact. *Mediterranean Marine Science*, 7(1), 87-118.

Thomsen, M. S., Wernberg, T., Tuya, F., & Silliman, B. R. (2009). Evidence for impacts of nonindigenous macroalgae: a meta-analysis of experimental field studies¹. *Journal of Phycology*, 45(4), 812-819.

Thorhaug, A., & Roessler, M. A. (1977). Seagrass community dynamics in a subtropical estuarine lagoon. *Aquaculture*, 12(3), 253-277.

Tippets, K. (2002). The effects of *Caulerpa taxifolia* on invertebrate abundance in Agua Hedionda Lagoon, California. In *Report for University of California at Berkeley Environmental Science Senior Seminar, Berkeley, CA.*

Travizi, A., & Zavodnik, N. (2004). Phenology of *Caulerpa taxifolia* and temporal dynamics of its epibiontic meiofauna in the port of Malinska (Croatia, northern Adriatic Sea). *Scientia Marina*, 68(S1), 145-154.

Tuya, F., Pérez, J., Medina, L., & Luque, A. (2001). Seasonal variation of the macrofauna from three seagrass meadows of *Cymodocea nodosa* off Gran Canaria (Central-Eastern Atlantic Ocean). *Ciencias marinas*, 27(2), 223-234.

Vázquez, D. P., Melián, C. J., Williams, N. M., Blüthgen, N., Krasnov, B. R., & Poulin, R. (2007). Species abundance and asymmetric interaction strength in ecological networks. *Oikos*, 116(7), 1120-1127.

Verlaque, M., Afonso-Carrillo, J., Candelaria Gil-Rodríguez, M., Durand, C., Boudouresque, C. F., & Le Parco, Y. (2004). Blitzkrieg in a marine invasion: *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Bryopsidales, Chlorophyta) reaches the Canary Islands (north-east Atlantic). *Biological Invasions*, 6(3), 269-281.

Wirtz P, Kaufmann M (2005) Pfennigalgen: neu für Madeira un den Ostatlantik: Halimeda 309 incrassata. *Das Aquarium* 431:2.

Zimmerman, M. S., & Livingston, R. J. (1976). Seasonality and physico-chemical ranges of benthic macrophytes from a north Florida estuary (Apalachee Bay)[Algae, ecology]. *Contributions in Marine Science.*

Firma del Tutor:

Firma del tutor interno:

TERRADOS
MUÑOZ JORGE
MIGUEL -
27431617T

Firmado digitalmente por TERRADOS
MUÑOZ JORGE MIGUEL - 27431617T
Nombre de reconocimiento (DN):
c=ES, serialNumber=27431617T,
sn=TERRADOS MUÑOZ,
givenName=JORGE MIGUEL,
cn=TERRADOS MUÑOZ JORGE
MIGUEL - 27431617T
Fecha: 2017.01.24 10:48:31 +01'00'

NOMBRE
BARBARA
CRIADO IGNACIO
MANUEL - NIF
32443437M

Firmado digitalmente por
NOMBRE BARBARA CRIADO
IGNACIO MANUEL - NIF
32443437M
Nombre de reconocimiento (DN):
c=ES, o=FNMT, ou=FNMT Clase 2
CA, ou=701002906, cn=NOMBRE
BARBARA CRIADO IGNACIO
MANUEL - NIF 32443437M
Fecha: 2017.01.25 13:03:38 +01'00'