



Universidad
de La Laguna



**Estudio preliminar de la dinámica
poblacional y reproductiva de *Echinaster
sepositus* en la Cala del Racó**

Preliminary study of the population and
reproductive dynamics of *Echinaster
sepositus* in Cala del Racó

Daniel López Casares

Máster en Biología Marina: Biodiversidad y
Conservación

Trabajo de Fin de Máster

Julio, 2022

El **Dr. José Carlos Hernández Pérez**, Profesor Titular de la Universidad de La Laguna y el **Dr. José Rafael García March**, Director Científico en el Centro de Investigación en Medio Ambiente y Ciencia Marina (IMEDMAR) de la Universidad Católica de Valencia, como Tutor Académico y Tutor Externo, respectivamente,

DECLARAN:

Que la memoria presentada por **D. Daniel López Casares** titulada “**Estudio preliminar de la dinámica poblacional y reproductiva de *Echinaster sepositus* en la Cala del Racó**”, ha sido realizada bajo su dirección y consideran que reúne todas las condiciones de calidad y rigor científico requeridas para optar a su presentación como Trabajo de Fin de Máster, en el Máster Oficial de Postgrado de Biología Marina: Biodiversidad y Conservación de la Universidad de La Laguna, curso académico 2021-2022.

Y para que así conste y surta los efectos oportunos, firman el presente informe favorable en San Cristóbal de La Laguna a 20 de junio de 2022.

**HERNANDEZ
PEREZ JOSE
CARLOS -
78611575J** Firmado digitalmente por
HERNANDEZ PEREZ
JOSE CARLOS -
78611575J
Fecha: 2022.06.24
13:02:19 +01'00'

Fdo. Dr. José Carlos Hernández Pérez

**JOSE
RAFAEL|
GARCIA|
MARCH** Digitally signed by JOSE
RAFAEL|GARCIA|MARCH
DN: cn=JOSE RAFAEL|GARCIA|
MARCH,
serialNumber=25423391L,
givenName=JOSE RAFAEL,
sn=GARCIA MARCH,
ou=CIUDADANOS, o=ACCV,
c=ES
Date: 2022.06.24 14:16:58
+02'00'

Fdo. Dr. José Rafel García March

Índice

Introducción.....	1
Área de estudio.....	4
Material y métodos.....	5
Resultados.....	9
Densidad de individuos de <i>Echinaster sepositus</i> en cada una de las zonas muestreadas...	9
Porcentaje de aparición de <i>Echinaster sepositus</i> en los distintos tipos de sustrato.....	11
Frecuencia de tallas de <i>Echinaster sepositus</i> en las zonas de muestreo.....	12
Discusión.....	15
Conclusiones.....	19
Agradecimientos.....	21
Bibliografía.....	21
Anexos.....	26
Anexo 1.....	26
Anexo 2.....	27

Resumen

La estrella de mar roja (*Echinaster sepositus*) es una de las especies de asteroideos más comunes del mar Mediterráneo. Sin embargo, la información sobre su biología o su papel en las comunidades bentónicas es escasa. Este estudio pretende aportar nueva información sobre la ecología de esta especie mediante la caracterización temporal de la población de *E. sepositus* en la Cala del Racó (Alicante, España) y el seguimiento *in situ* de su ciclo reproductivo. Con este fin se establecieron 3 zonas de estudio a distintas profundidades. Para cada una de las estrellas registradas se tomaron datos de tamaño, el sustrato sobre el que se encuentra, la zona, la profundidad y el sexo en caso de observar la reproducción. A lo largo de un año de estudio se han realizado un total de 19 muestreos. De esta forma se ha podido observar que la densidad de individuos aumenta en la zona menos profunda durante otoño e invierno, cuando la temperatura de agua baja hasta los 14,13 °C, mientras que se reduce en primavera y verano, cuando la temperatura se eleva hasta los 27,17 °C. Este resultado se invierte en la zona más profunda del estudio. La mayor densidad de individuos ha sido observada en octubre. Las algas fotófilas arborescentes y las algas coralinales costrosas han sido los sustratos con un mayor número de *E. sepositus* registrados en cuanto a preferencia de sustrato. Los ejemplares de tamaños medianos a grandes se localizan preferentemente sobre algas coralinales costrosas o algas fotófilas arborescentes, mientras que los individuos de menor tamaño se sitúan mayormente sobre *Posidonia oceanica*. No se ha observado ningún ejemplar de *E. sepositus* reproduciéndose.

Palabras clave: *Echinaster sepositus*, caracterización poblacional, densidad de población, reproducción *in situ*, seguimiento temporal.

Abstract

The red starfish (*Echinaster sepositus*) is one of the most common asteroid species in the Mediterranean Sea. However, information about their biology or their role in benthic communities is scarce. This study aims to provide new information on the ecology of this species through the temporal characterization of the population of *E. sepositus* in Cala del Racó (Alicante, Spain) and the *in-situ* monitoring of its reproductive cycle. For this purpose, 3 study areas were established at different depths. For each of the recorded starfish, size data, the substrate on which it is found, the area, the depth and the sex in case of observing the reproduction were taken. A total of 19 samplings have been carried out throughout a year of study. In this way, it has been possible to observe that the density of individuals increases in the shallower zone during autumn and winter, when temperature drops to 14.13°C, while it decreases in spring and summer when the temperature rises up to 27.17°C. This result is reversed in the deepest part of the study. The highest density of individuals (0.51 ind/m²) has taken place in October. Arborescent photophilic algae and crustose coralline algae have been the substrates with the highest number of *E. sepositus* recorded in it. Medium to large specimens are located preferably on crustose coralline algae or arborescent photophilic algae, while smaller individuals are mostly located on *Posidonia oceanica*. No specimens of *E. sepositus* have been observed reproducing.

Key words: *Echinaster sepositus*, *in situ* reproduction, population density, population characterization, temporal monitoring

Introducción

El género *Echinaster* comprende un total de 30 especies, aunque esta cifra se encuentra aún en debate ya que algunos morfotipos nuevos se encuentran en descripción (López *et al.*, 2016; Seixas *et al.*, 2019). Se trata de estrellas de mar de tamaño medio cuyo color varía entre el amarillo y el rojo, con cinco brazos cilíndrico-cónicos y un área central pequeña. Su piel es gruesa y está recubierta de glándulas que les ofrecen una buena defensa química, lo que probablemente explique la ausencia de pedicelarios en las especies de *Echinaster* (Turner, 2013).

En el presente trabajo nos centramos en el estudio de una de las especies más emblemáticas del género *Echinaster*: la comúnmente conocida como estrella de mar roja mediterránea (*Echinaster sepositus*, Retzius 1783). Esta especie pertenece a la clase Asteroidea, superorden Spinulosacea, orden Spinulosida, familia Echinasteridae, género *Echinaster* y subgénero *Echinaster*. Fue descrita por Aristóteles en la antigua Grecia hace más de 2.300 años en el *Historia Animalium*, siendo la primera estrella de mar en ser mencionada en la ciencia (Turner, 2013). En los últimos años se ha utilizado como especie modelo para estudios de sistemática y morfología de asteroideos (Lafay *et al.*, 1995; Mah y Blake, 2012). Su distribución abarca toda la cuenca del Mediterráneo y las aguas templadas al este del Atlántico, desde el límite sureste del Canal de la Mancha hasta Cabo Verde. Se trata de una especie que habita desde aguas someras (menos de 2 metros) hasta profundidades de 250 metros (Wirtz y Debelius, 2003) y que tolera una amplia variedad de ambientes, como fondos de sedimentos blandos, sustratos rocosos, praderas de fanerógamas o comunidades de algas coralináceas (Entrambasaguas *et al.*, 2008). La distribución espacial de *E. sepositus* varía en función de la cobertura algal, la cobertura de arena y de la profundidad (Entrambasaguas *et al.*, 2008). Sin embargo, las causas exactas de estas variaciones siguen siendo desconocidas. Además, la abundancia poblacional de esta especie varía enormemente entre localidades cercanas aparentemente similares, lo que sugiere que podría estar afectada por factores, bióticos o abióticos, que actúan en escalas de centenares de metros o incluso menos (Underwood y Chapman 1996; Chapman y Underwood 2008).

La alimentación de *E. sepositus* se centra en detritos y pequeños organismos que se encuentran sobre el sustrato mediante la evaginación de su estómago hacia el exterior de la abertura bucal (Vasserot, 1961). Hay indicios de que también se alimentan de esponjas, aunque los sistemas defensivos de muchas especies pueden repeler a la estrella (Waddell

y Pawlik, 2000). Villamor y Becerro (2010) observaron, además, cierta afinidad de *E. sepositus* por áreas en las que predominan algas incrustantes, caracterizadas por tener pequeños invertebrados asociados y ser lugar de reclutamiento de muchas especies de invertebrados bentónicos.

Echinaster sepositus es una especie dioica, aunque algunos autores han descrito un “hermafroditismo accidental” en hasta el 4% en los individuos estudiados (Cognetti y Delavault, 1962; Scheibling y Lawrence, 1982). La estrella roja del Mediterráneo se reproduce únicamente de forma sexual, mediante fecundación externa, dando lugar a una larva lecitotrófica cuyo periodo previo al asentamiento no suele superar una semana (Turner, 2013). Las gónadas se encuentran pareadas en cada extremidad y se comunican con el exterior por medio de los gonoporos (Figura 1), localizados en el lateral de los brazos, cerca del disco central (Turner, 2013).

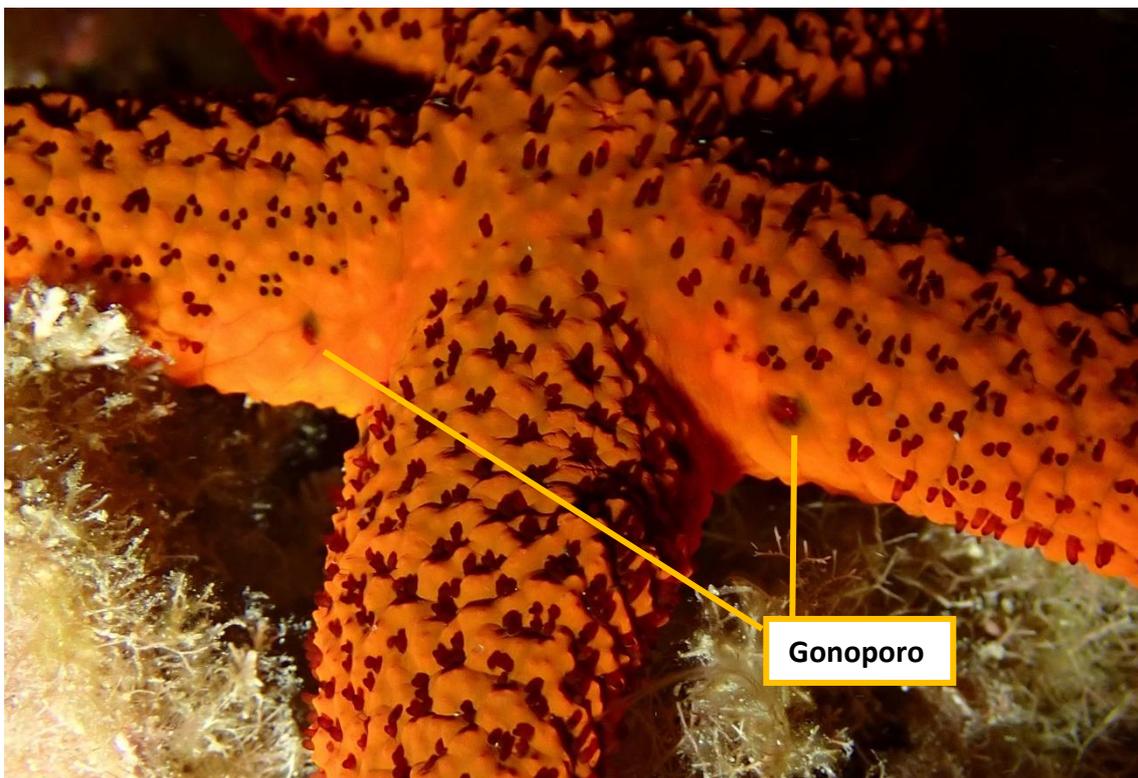


Figura 1. Gonoporos de *Echinaster sepositus*. (Fotografía: Daniel López)

Las larvas lecitotróficas tienen una reserva energética en forma de vitelo que es consumida en el momento del asentamiento. Esto supone, con respecto a las larvas planctotróficas, una mayor probabilidad de éxito en el reclutamiento y una mayor supervivencia de los asentados (Byrne *et al.*, 1999; Villinski *et al.*, 2002), pero un menor número de larvas emitidas. La incapacidad de la larva lecitotrófica para alimentarse

también supone una capacidad de dispersión limitada y puede tener grandes consecuencias en la estructura genética de sus poblaciones, aunque la alta probabilidad de asentarse cerca de las zonas habitadas por los adultos de su misma especie favorece la localización de un área lo suficientemente buena para su desarrollo vital (Cisneros, 2016). Las especies que poseen una larva lecitotrófica disponen de un sistema tampón por el que limitan las grandes fluctuaciones poblacionales que sufren otros equinodermos, tanto en el decrecimiento como en el crecimiento poblacional (Uthicke *et al.*, 2009). Se ha visto que en el Mediterráneo noroccidental la emisión de gametos ocurre durante los meses de verano, especialmente durante junio y julio, cuando las estrellas tienen un mayor peso gonadal (Villamor y Becerro, 2010). Sin embargo, en septiembre de 2015 se observó el desove de *E. sepositus* con pocos días de diferencia en diferentes puntos de la costa de Cataluña (Cisneros, 2016). El 18 de octubre de 2018 fue registrada la emisión de gametos de *E. sepositus* durante una inmersión nocturna en la Cala del Racó (Calpe, Alicante) y el mismo grupo de investigadores volvió a observar este fenómeno la semana siguiente a la misma hora (Diana López, comunicación personal).

La gametogénesis en asteroideos puede estar regulada por factores endógenos como la edad, el estado nutricional o el tamaño; o por factores exógenos como el fotoperiodo, la temperatura o la disponibilidad de alimento (Mercier y Hamel, 2009). Entre todos estos factores, el fotoperiodo es probablemente el factor más importante para controlar la reproducción en los asteroideos; y no solo el fotoperiodo anual, sino también el diario (Stewart y Mladenov, 1997; Byrne *et al.*, 1999; Georgiades *et al.*, 2006; Pastor de Ward *et al.*, 2007). Esta influencia ha sido corroborada por múltiples experimentos manipulativos en distintas especies de estrellas de mar (Pearse y Eernisse, 1982; Pearse y Beauchamp, 1986; Pearse y Walker, 1986; Pearse *et al.*, 1986^a; Pearse y Bosch, 2002). Por otro lado, estudios anteriores han descrito que la influencia del estado nutricional o la disponibilidad de alimento siguen, en ocasiones, una relación inversa con el índice gonadal, por lo que la influencia directa de la alimentación en la reproducción de los asteroideos sigue estando poco clara (Farmanfarmaian *et al.*, 1958; Barker y Xu, 1991^a; Chen y Chen, 1992; Rubilar *et al.*, 2005; Grange *et al.*, 2007).

Mientras que la depredación sobre la descendencia puede ser evitada con el cuidado parental, las especies que no protegen la puesta desarrollan estrategias alternativas para evitar una alta mortalidad de la misma (Gross y Sargent, 1985; Balshine, 2012). Con el fin de eludir la depredación de animales diurnos, algunos grupos de animales sincronizan

la puesta de gametos durante las horas crepusculares o nocturnas, cuando la mortalidad es considerablemente menor (Metcalf *et al.*, 1999; Čech, 2005). A pesar de la falta de observaciones científicas previas sobre la relación entre la luz y la puesta de gametos en *E. sepositus*, las últimas observaciones de la puesta en Cala del Racó se realizaron durante la noche, lo que nos ha llevado a hipotetizar que el fotoperiodo diario estaría influenciando la puesta de esta especie, posiblemente para asegurar una mayor supervivencia de la descendencia.

A pesar de ser una de las estrellas de mar más comunes del mar Mediterráneo, la información sobre la biología de *Echinaster sepositus* o su papel en las comunidades bentónicas es escasa y en ocasiones contradictoria (Villamor y Becerro, 2010). Además, algunas poblaciones de *E. sepositus* en el noroeste del Mediterráneo se han visto reducidas en la última década. Entre las principales causas está la extracción directa de individuos para acuarios ornamentales o *souvenirs* (Villamor y Becerro, 2010), práctica que está ampliamente extendida y que carece de un sistema apropiado de regulación (Olivotto *et al.*, 2011). Es por ello que el **objetivo principal** del presente trabajo es mejorar el conocimiento de la ecología de esta especie mediante un seguimiento anual nocturno de estaciones fijas de muestreo. Los **objetivos específicos** son, en primer lugar, realizar una caracterización con seguimiento temporal de la población de *E. sepositus* en la Cala del Racó (Calpe), donde se registró la puesta de gametos en 2018 y, en segundo lugar, intentar registrar *in situ*, nuevamente, el fenómeno de la puesta de gametos de *E. sepositus*.

Área de estudio

El estudio tuvo lugar en Cala del Racó (Figura 2), en la localidad de Calpe (Alicante, España). Las aguas de Cala del Racó bañan al oeste el “Parque Natural del Peñón de Ifach”, un peñón de 332m de altura y una superficie de 50.000 m². Este accidente calcáreo fue declarado Reserva Natural por la Generalitat Valenciana mediante el Decreto 1/1987, el 19 de enero. Sin embargo, no fue hasta el año 1993 cuando se aprobó un plan de administración del parque. El área marina que rodea al peñón ha sido declarada Zona de Especial Conservación para las Aves (ZEPA) bajo la Directiva (79/409/CEE) y también comprende un Lugar de Interés Comunitario (LIC Espacio Marino de Ifach: ESZZ16006) por albergar fondos de *Posidonia oceanica* en un buen estado de conservación.

La Cala del Racó cuenta con aguas protegidas del viento y del oleaje debido a la protección geográfica de las sierras adyacentes (Oltá, Bernia y Mascarat). Sin embargo, por la cara sur se encuentra más expuesta al oleaje. El sustrato de la cala está conformado por rocas o guijarros con una alta presencia de algas fotófilas que, con el gradiente de profundidad, da paso a diferentes biocenosis de arenas finas y a una pradera de *Posidonia oceanica*. En este lado, las praderas de *P. oceanica* se extienden desde los 6 a los 22 metros de profundidad (Abbiati et al., 2017).

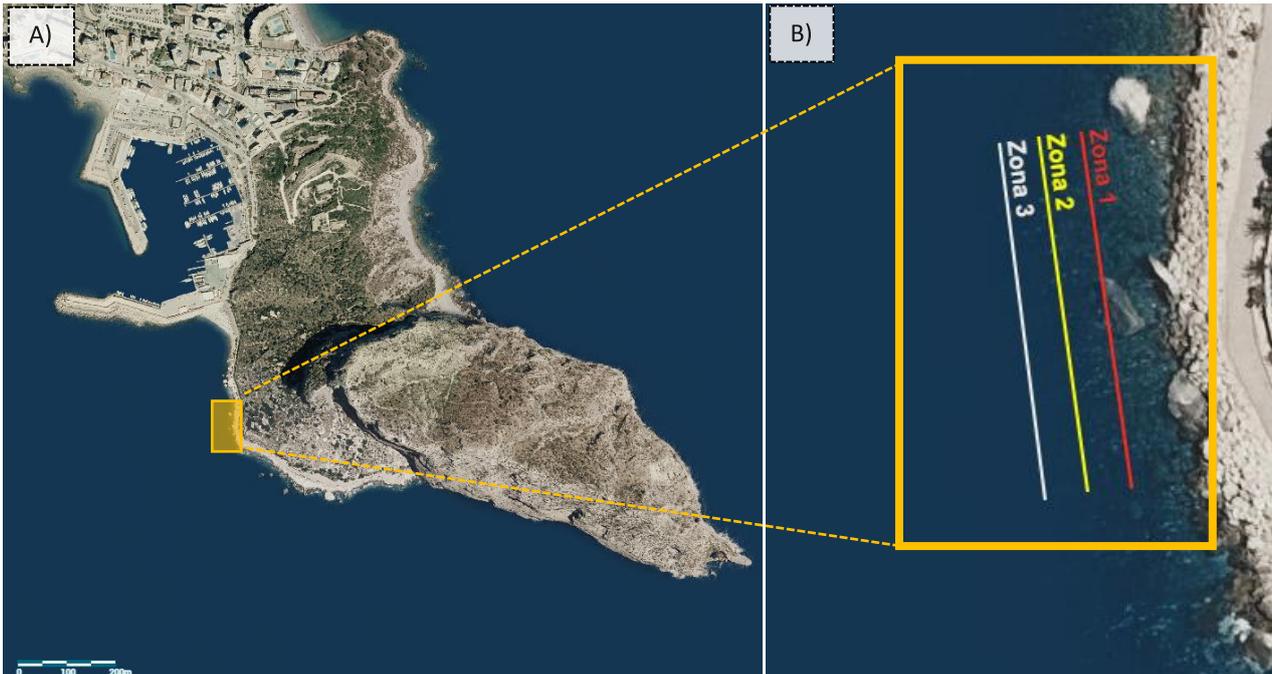


Figura 2. A) mapa del área de estudio situado en la Cala del Racó (Calpe), al oeste del Parque Natural del Peñón de Ifach. Coordenadas: 38° 38' 03'' N; 0° 04' 16'' E. B) localización exacta de los transectos de seguimiento realizados en las diferentes zonas de muestreo (Visor GVA).

Material y métodos

Todas las inmersiones se realizaron con el apoyo logístico de la estación marina del Instituto de Investigación en Medio Ambiente y Ciencia Marina (IMEDMAR-UCV) de la Universidad Católica de Valencia. Los muestreos comenzaron en junio de 2021 y finalizaron en mayo de 2022. Se distribuyeron basándose en los resultados sobre la maduración gonadal de Villamor (2010) y la información obtenida durante el registro de la puesta de gametos de *E. sepositus* que ocurrió en 2018 en la Cala del Racó (Calpe, Alicante). Como la puesta de gametos referida tuvo una duración de al menos dos semanas y se registró durante la noche, las inmersiones de este estudio se realizaron durante la noche con frecuencias variables dependiendo del periodo del año: semanales durante el periodo de mayor probabilidad de puesta (octubre 2021), quincenales durante

los periodos de probabilidad media de ocurrencia de puesta (entre junio y octubre de 2021 y entre noviembre y diciembre de 2021), y mensuales en los periodos de menor probabilidad de puesta (desde enero hasta mayo de 2022). Los muestreos se hicieron coincidir con la luna llena y la luna nueva siempre que las condiciones meteorológicas lo permitieron, con la finalidad de conocer si la gametogénesis en *E. sepositus* sigue un patrón lunar, como se ha detectado en cautividad en otras estrellas de mar como *Protoreaster nodosus* (Scheibling y Metaxas, 2008).

Para la toma de datos y la caracterización de la población de *E. sepositus*, todos los muestreos se realizaron con la ayuda de equipos de buceo autónomo. Se establecieron 3 zonas fijas para todo el estudio. La **Zona 1** se encuentra a una profundidad media de **3,5 m** y se conforma por un ambiente principalmente rocoso, con una gran cobertura de algas fotófilas arborescentes y algas coralinas costrosas, aunque también encontramos pequeños parches de *Posidonia oceanica* y arena. La **Zona 2** tiene una profundidad media de **5 m** y en ella se encuentra la interfase entre la superficie rocosa y el inicio de la pradera de *Posidonia oceanica*, por lo que en ella encontramos sustratos comunes a la zona 1 y a la zona 3. La **Zona 3** se localiza a una profundidad media de **7 m** y está conformada mayormente por pradera de *P. oceanica* y fondos arenosos, aunque también encontramos algunas superficies rocosas puntuales. Las zonas están en un gradiente de profundidad, aunque es un gradiente limitado de 3 a 7 metros. Si bien, el ambiente que encontramos a cada profundidad cambia rápidamente. En este sentido, queremos aclarar que nuestro objetivo fue hacer un seguimiento a largo plazo mediante muestreos nocturnos, por ello, escoger zonas de fácil acceso, que a la vez recogieran un gradiente en profundidad y de comunidades marinas, nos ayudó a estudiar con mayor detalle la población de *Echinaster sepositus*. En cada una de las 3 zonas mencionadas anteriormente se estableció un transecto lineal de 50 x 2 m de longitud y se anotó la presencia de las estrellas de mar rojas de la especie *Echinaster sepositus*. Por lo tanto, en cada transecto se muestreó una superficie de 100m². Para cada estrella de mar observada se anotó la profundidad, la zona correspondiente (1, 2 o 3), la altura del transecto a la que se encontraba, el sustrato (roca desnuda, algas fotófilas arborescentes (AF), algas rojas coralinas costrosas (CCA), arena, sobre esponjas, sobre hojas de *P. oceanica* o sobre los rizomas de *P. oceanica*). En el caso de observar una estrella sobre más de uno de estos sustratos al mismo tiempo consideraríamos el sustrato como “sustrato mixto”. Además, en caso de observar el fenómeno de la puesta de gametos se anotaría el sexo del ejemplar. También se anotó la

longitud del brazo (LB) opuesto al madreporito, es decir, la distancia desde el final del brazo hasta el comienzo del área central (Figura 3). La razón para medir LB es que Bodi-Broseta (2019), mostró con una $R^2=0,78$, que ésta era la mejor variable para estimar la longitud total (LT) del individuo, es decir, la distancia entre el final del brazo y el extremo del brazo opuesto. Posteriormente se generó una base de datos en el programa Microsoft Excel (2016) con todos los datos recogidos de cada individuo observado.

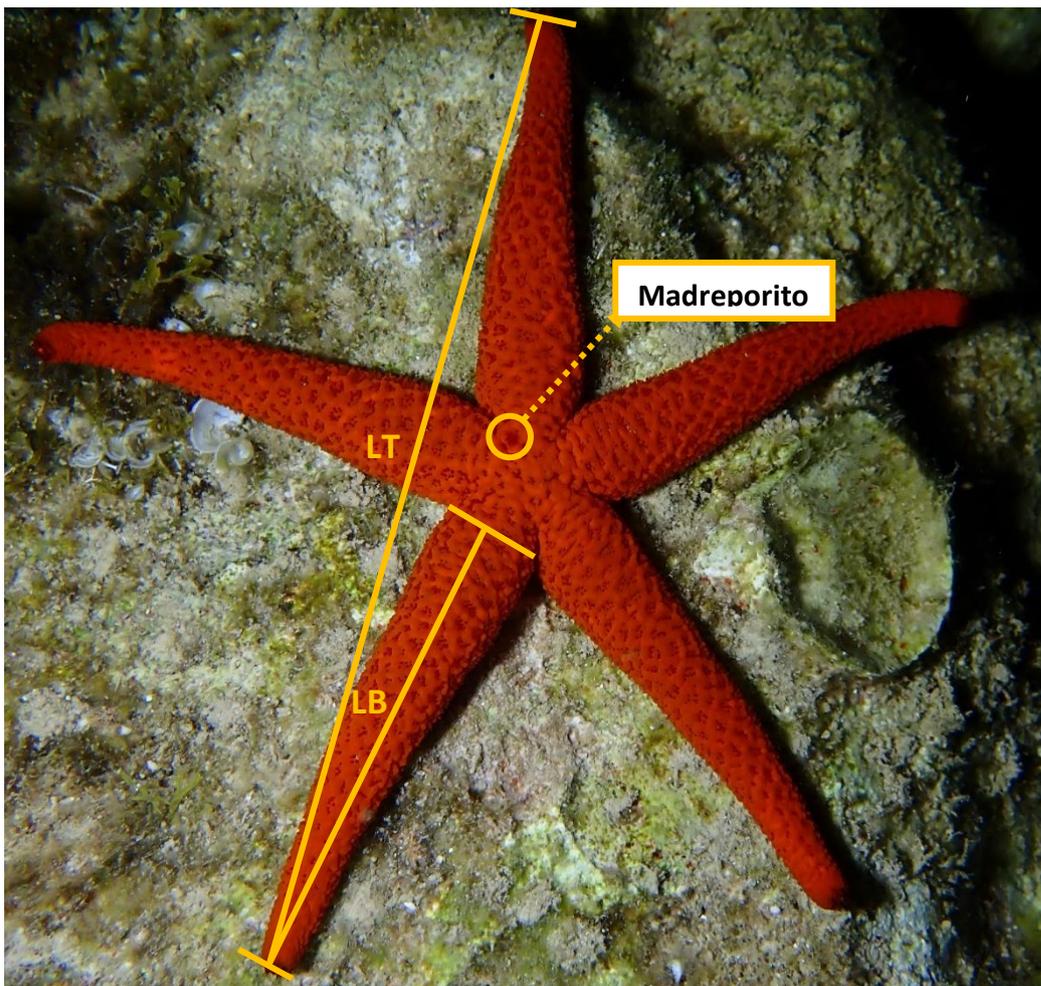


Figura 3. Esquema de la medición de la longitud del brazo (LB) en *Echinaster sepositus*. (Fotografía: Daniel López).

Una vez desarrollada la matriz de datos se determinó, para cada uno de los muestreos y para cada una de las zonas, la densidad de *E. sepositus* en número de individuos/m², sabiendo que la superficie total del transecto es de 100 m². De esta forma se generaron gráficas descriptivas que permiten observar los cambios de densidad de estrellas a lo largo del año en cada una de las zonas. Se midió también la temperatura del agua mediante la

sonda oceanográfica AAQ-RINKO 177 (LFE Advantech CO., Ltd.) hasta los 15 metros de profundidad dos veces al mes con el fin de relacionar los cambios de temperatura estacionales con los cambios poblacionales de *E. sepositus*. Posteriormente, se utilizó el programa Ocean Data View Software (ODV) para representar gráficamente los perfiles de temperatura tomados a lo largo del año de estudio.

Además, se clasificaron los datos de las estrellas según el sustrato sobre el que se encontraban en el momento del censo, con el fin de observar el porcentaje de aparición de los individuos en cada uno de los diferentes sustratos en cada una de las zonas. En la Figura 4 se muestran ejemplos de *E. sepositus* sobre CCA y sobre *P. oceanica*.

Se analizó también, para cada una de las zonas, la distribución de las tallas de las estrellas (medidas en LB). Debido a que las medidas de LB son datos cuantitativos continuos, se clasificaron las medidas de LB en las siguientes categorías: “<3cm”, “3-4 cm”, “4-5cm”, “5-6 cm”, “6-7 cm” y “>7cm”. Se utilizó el programa IBM SPSS Statistics 27 para realizar un análisis Chi-cuadrado de Pearson para ver si había una relación de dependencia estadísticamente significativa entre la zona y el tamaño de las estrellas. Para esta labor, los tamaños fueron agrupados en 3 categorías: serían pequeñas (PEQ) si su LB es menor a 4 cm, medianas (MED) si su LB está entre 4 y 6 cm, y grande (GRAN) si su LB es superior a 6 cm. Por otro lado, se realizó otro análisis Chi-cuadrado de Pearson para observar si existe una relación de dependencia estadísticamente significativa entre el LB y el sustrato en el que se encuentran los individuos. Para este análisis estadístico se utilizaron las 3 mismas categorías que en el Chi-cuadrado anterior: PEQ, MED, GRAN. Posteriormente, se utilizó el programa R-Project (4.1.3) y el paquete “readxl” para representar gráficamente, mediante un barplot, la distribución de tallas (PEQ, MED, GRAN) en cada uno de los sustratos.



Figura 4. Fotografías de *Echinaster sepositus* sobre sustrato CCA (derecha) y hojas de posidonia (izquierda). (Fotografías por: Daniel López y Diana López).

Resultados

Tras 19 días de muestreo se contabilizaron un total de **488** individuos de *E. sepositus* con un número promedio de 25,7 estrellas por muestreo.

Densidad de individuos de *Echinaster sepositus* en cada una de las zonas muestreadas

En la **Zona 1**, con una profundidad promedio de 3,5 m, se encontraron **120 individuos** (24,6% de los encuentros totales) y una densidad media de 0,06 individuos/m². Dicha densidad aumenta de manera irregular desde primavera (época con una menor densidad en la zona 1), hasta los meses invernales, donde la densidad de estrellas alcanza dos veces el valor máximo registrado en esta zona (0,14 ind/m²). También aparece otro pico de densidad en verano (0,1-0,11 ind/m²), aunque no tan marcado como el que aparece de diciembre a marzo. Las densidades más bajas se registraron entre primavera y verano, con densidades de cero en una ocasión.

En la **Zona 2**, localizada a una profundidad promedio de 5,5 m y donde se encuentra la interfase entre el fondo de roca y el inicio de la pradera de posidonia, se encontraron **218 individuos** (44,7% de los encuentros totales) y una densidad media de 0,11 individuos/m². En este caso se observa el máximo de densidad en primavera (0,24 ind/m²). Dicha densidad se reduce en los meses de verano y aumenta nuevamente entre octubre y noviembre, donde se da el segundo pico de densidad más alto (0,17-0,19 ind/m²). La densidad de estrellas más baja registrada (0,02 ind/m²) fue en mayo.

En la **Zona 3**, con una profundidad promedio de 7 m, se encontraron **150 individuos** (30,7% de los encuentros totales) con una densidad media de 0,08 individuos/m². La densidad de individuos se mantiene entre 0,01 a 0,06 entre mayo y agosto. A partir de septiembre se ve un incremento progresivo de densidad que alcanza su máximo en octubre (0,24 ind/m²). Tras el pico, la densidad se mantiene entre los 0,11 y los 0,15 ind/m² hasta que alcanza un segundo pico de densidad en enero (0,21 ind/m²). En los meses posteriores la densidad decae hasta igualarse con las bajas densidades encontradas en los meses primaverales.

El día de muestreo con un mayor número de estrellas de mar encontradas fue el día 21 de octubre de 2021. Se registraron 51 individuos diferentes (densidad de 0,51 individuos/m²). Por el contrario, el 10 de mayo de 2022 se registró la menor densidad de *E. sepositus* en un muestreo: 0,09 ind/m². La Figura 5 muestra la densidad de individuos/m² para cada muestreo a lo largo del estudio.

La temperatura del agua (Figura 6) mostró variaciones estacionales, con una temperatura mínima de 14,13°C en marzo de 2022 y máxima de 27,17°C en agosto de 2021. Como es habitual en estas aguas, el periodo estival presenta una termoclina estacional, mientras que los meses invernales presentaron una homogeneidad en la columna de agua. Entre mediados de noviembre de 2021 y enero de 2022 no se tomaron datos de temperatura por falta de disponibilidad de la sonda oceanográfica. Lo mismo ocurrió en unos días en julio de 2022.

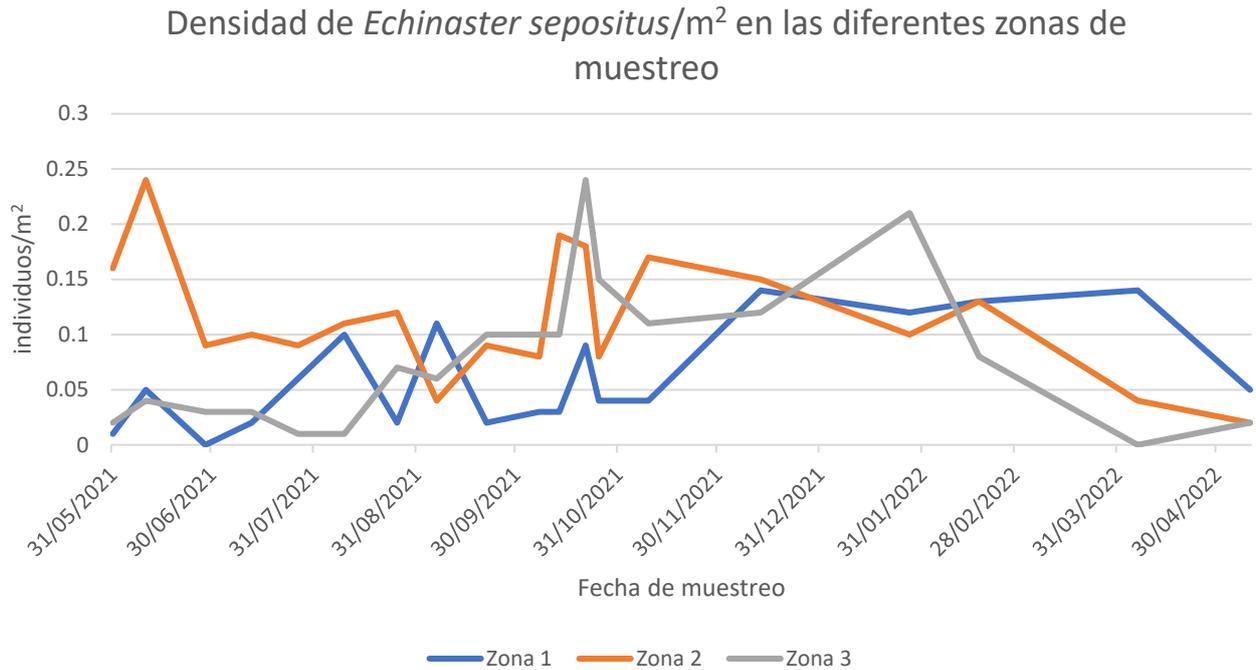


Figura 5. Densidad de *Echinaster sepositus* (ind/m²) en las diferentes zonas de muestreo durante la duración del estudio.

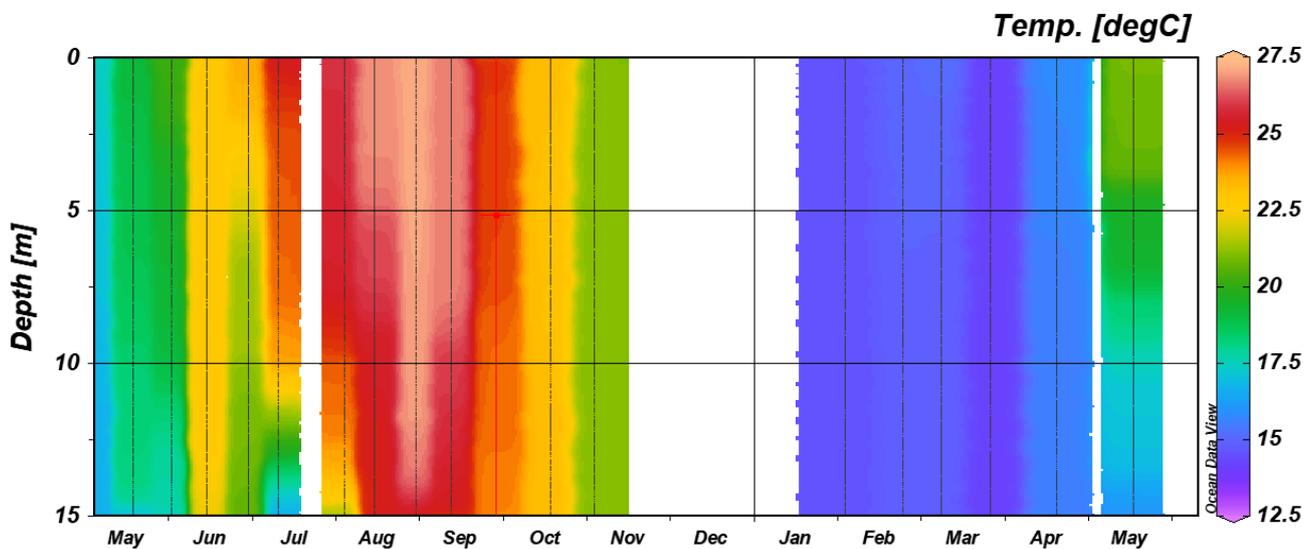


Figura 6. Perfil oceanográfico en la estación a 15 m de profundidad de los valores de temperatura durante el periodo de muestreo en Calpe.

Porcentaje de aparición de *Echinaster sepositus* en los distintos tipos de sustrato

De los 120 individuos estudiados en la **Zona 1**, 68 individuos (**59,6%**) se encontraron sobre algas fotófilas arborescentes (AF). Seguidamente, 29 especímenes (**24,17%**) se encontraron sobre algas coralinas costrosas, 11 estrellas (**9,17%**) sobre sustrato mixto, 6 (**5%**) sobre rizomas de plantas de posidonia y 4 individuos (**3,3%**) sobre roca desnuda.

Por último, los sustratos en los que se encontraron un número más reducido de estrellas de mar fueron las hojas de posidonia y las esponjas, con un solo ejemplar en cada sustrato (<1%). Ningún individuo fue encontrado sobre el fondo arenoso (Figura 7-A).

De los 218 avistamientos de *E. sepositus* en la **Zona 2**, 120 (55%) se han producido sobre AF, 39 encuentros (17,9%) han sido sobre el rizoma, 21 (9,6%) sobre algas coralinas costosas, 16 (7,3%) sobre sustrato mixto, 10 (4,6%) sobre roca desnuda y 8 (3,67%) sobre las hojas de *P. oceanica*. Para finalizar, se produjeron 3 registros de estrellas (1,38%) sobre fondo de arena y se avistó un ejemplar sobre una esponja (0,46%) (Figura 7-B).

En la **Zona 3** se registraron un total de 150 individuos de *E. sepositus*. Del total de avistamientos, 110 (73,3%) se produjeron sobre los rizomas de *P. oceanica*, 23 registros (15,3%) se dieron sobre las hojas de posidonia, 7 estrellas (4,67%) fueron observadas sobre el fondo de arena y 5 individuos (3,3%) aparecieron sobre un sustrato ocupado por AF. Por último, en los sustratos CCA y mixto se registraron 3 y 2 avistamientos, respectivamente, lo que supone el 2 y el 1% de los avistamientos. No se observó ningún ejemplar de *E. sepositus* sobre esponjas o sobre rocas desnudas (Figura 7-C).

Frecuencia de tallas de *Echinaster sepositus* en las zonas de muestreo

Las estrellas estudiadas en la **Zona 1** presentaron una LB promedio de **5,8 cm**, una LB máxima de 8,8 cm y una LB mínima de 2,9 cm. Además, se observa un pico de individuos entre los 5 y 6 cm. En la **Zona 2** se registró un tamaño medio de **5,33 cm**, un tamaño máximo de 9,4 cm y un tamaño mínimo de 3,4 cm. En este transecto se observa una distribución de tallas predominante entre los 4 y 6 cm. Los individuos que se encontraban en la **Zona 3** tienen una LB promedio de **4,34 cm**, una LB máxima de 6,2cm, una LB mínima de 2,6 cm y un pico de especímenes muy notorio entre los 4 y 5 cm (Figura 8).

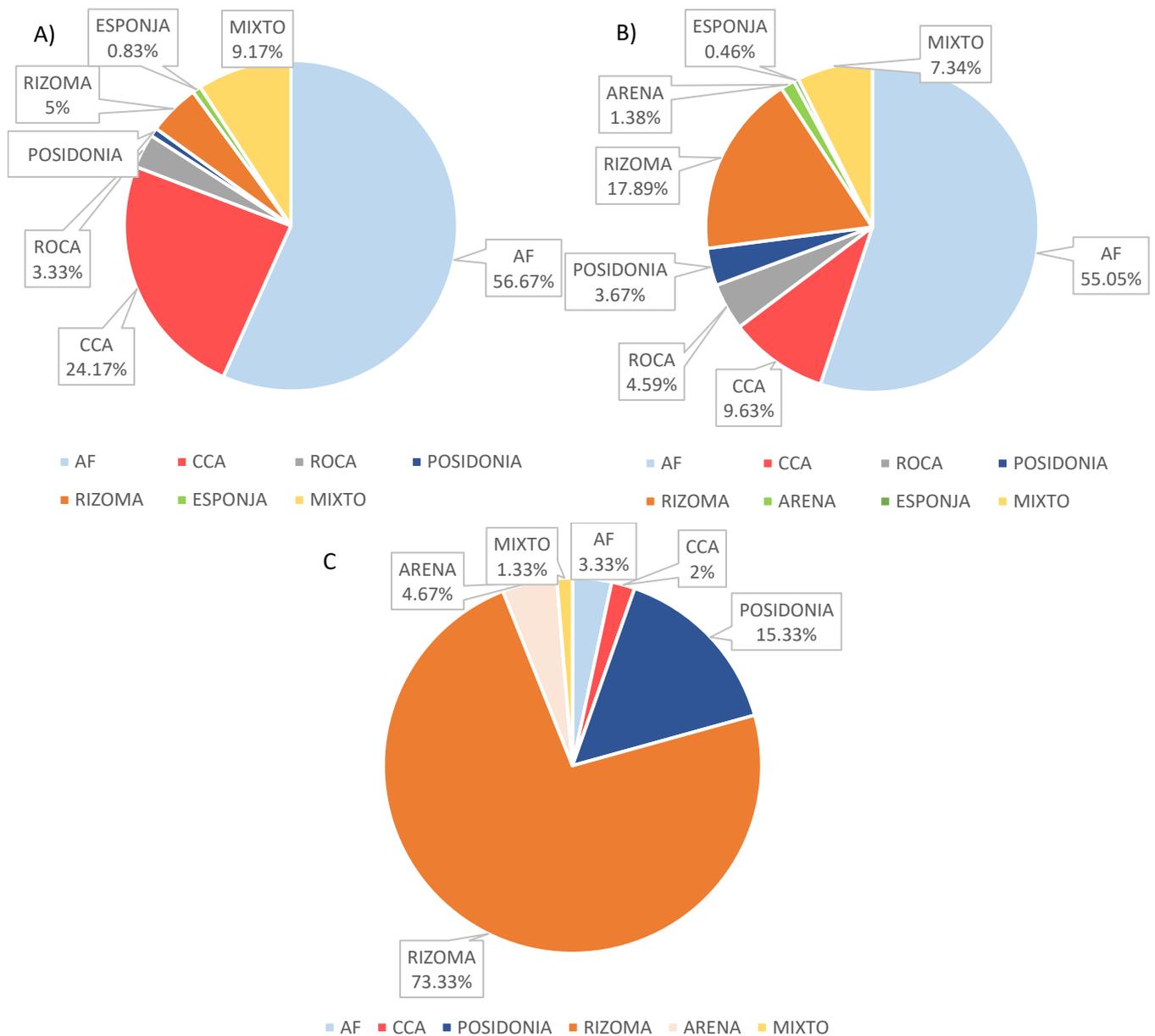


Figura 7. Porcentaje de aparición de *Echinaster sepositus* en los diferentes tipos de sustrato en cada una de las zonas de muestreo. A) Zona 1. B) Zona 2. C) Zona 3. (CCA: algas coralinas costrosas; AF: algas fotófilas arborescentes; POSIDONIA: hojas de *Posidonia oceanica*).

Mediante la realización de un análisis Chi-cuadrado de Pearson se estableció que, con un 95% de confianza, había una relación estadísticamente significativa entre las diferentes zonas y las diferentes tallas agrupadas en categorías: pequeño “PEQ”, mediano “MED”, grande “GRAN”. De manera que la distribución de los diferentes tamaños de estrellas en cada una de las zonas no es uniforme y tienen preferencias por una zona u otra (p-valor: <0,001). Mientras que las estrellas de pequeño tamaño se situaron mayormente en la **Zona 3**, las estrellas de mayor tamaño se encontraron, en su mayoría, sobre las **Zonas 1 y 2**. Los detalles del coeficiente del Chi-cuadrado de Pearson se muestran en el Anexo I.

De la misma manera, otro análisis Chi-cuadrado estableció, con un 95% de confianza, que existe una relación estadísticamente significativa entre los diferentes sustratos y las tallas de las estrellas de mar (nuevamente agrupadas en PEQ, MED, GRAN) (p-valor: <0,001). Los detalles de este segundo análisis se muestran en el Anexo II. Las estrellas de mar de tamaños medianos a grandes se localizan preferentemente sobre sustratos cubiertos por AF y por CCA. Por otro lado, las estrellas encontradas sobre los rizomas o las hojas de la posidonia tienden a ser de tamaño mediano a pequeño (Figura 9).

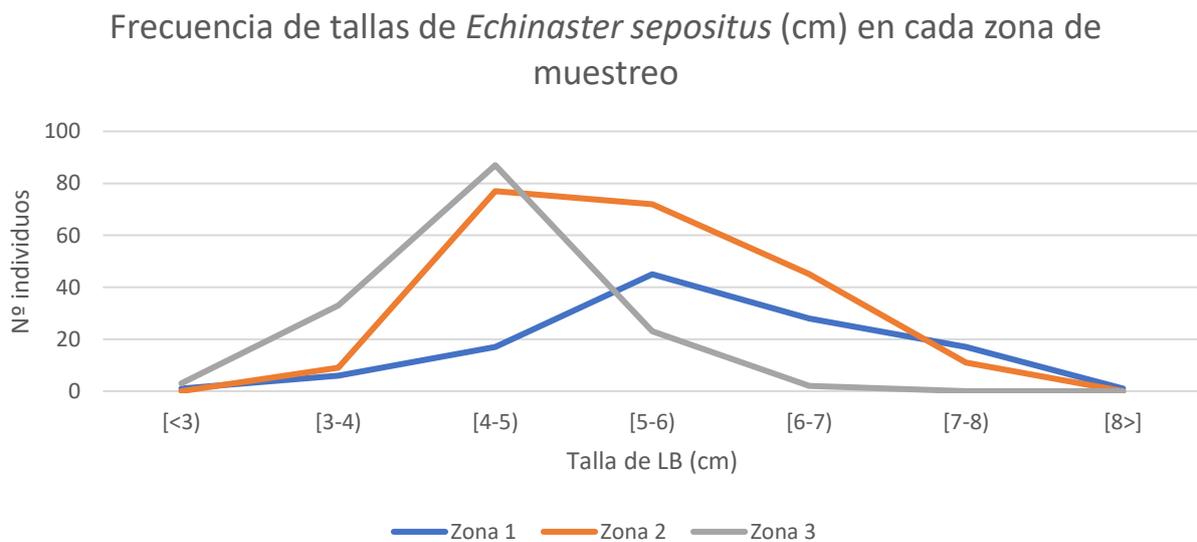


Figura 8. Distribución de las tallas (cm) de la cantidad de individuos de *Echinaster sepositus* registrados en cada uno de los transectos.

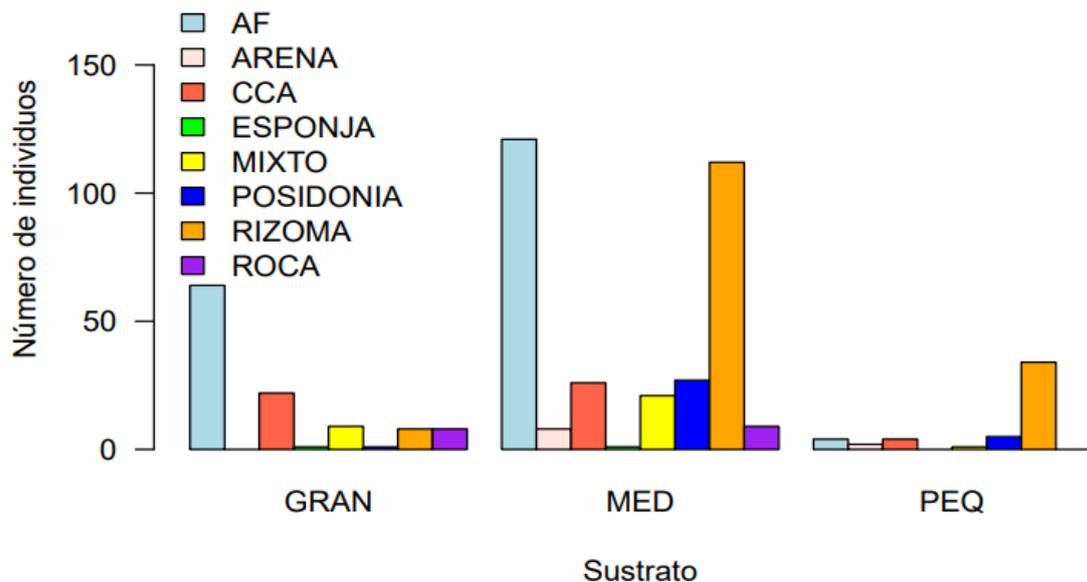


Figura 9. Distribución del tamaño de *Echinaster sepositus* agrupadas en categorías en cada uno de los sustratos tenidos en cuenta en el estudio. (PEQ: pequeño, LB menor a 4cm. MED: mediano, LB entre 4 y 6 cm. GRAN: grande, LB mayor a 6 cm).

Discusión

Las poblaciones de la estrella roja del Mediterráneo siguen una distribución agregada, de manera que puede estar ausente o ser muy abundante en localidades cercanas entre sí. Sin embargo, los factores que determinan esta distribución siguen sin conocerse (Villamor y Becerro, 2010). Una mayor variabilidad de hábitats favorece a un mayor asentamiento de especies que pueden ocupar los diferentes nichos, regulando diferentes parámetros ecológicos como la abundancia y distribución de especies (Zajac *et al.* 2003; Hewitt *et al.* 2005). La alta densidad de individuos observada en la Cala del Racó podría deberse a la diversidad de hábitats que encontramos en muy pocos metros, puesto que tenemos suelos rocosos, fondos de arena y praderas de *Posidonia oceanica*. Otra característica de la zona de estudio que podrían ayudar a explicar la alta densidad de individuos en Cala del Racó es la protección del viento ofrecida por el Peñón de Ifach al norte y al este de la cala. Un estudio anterior realizado por Villamor y Becerro (2010) indica un cambio en las comunidades a los 5 metros de profundidad producido por el hidrodinamismo, lo que hace que la presencia de *E. sepositus* sea accidental. Sin embargo, en nuestra zona de estudio ha habido 120 registros de estrellas la **Zona 1**, cuya profundidad promedio es de 3,5 m.

En la **Zona 1**, localizada a una menor profundidad, se observa un aumento de la densidad de estrellas desde diciembre a marzo, cuando el agua baja hasta los 14°C, y una disminución de la densidad en primavera y verano, cuando la temperatura del agua alcanza los 27°C. En la **Zona 3**, por el contrario, la densidad de individuos comienza a aumentar desde el mes de agosto hasta octubre-noviembre y vuelve a descender durante el invierno y el principio de la primavera, a excepción de los registros tomados en el muestreo realizado en enero. Estos datos nos dan a entender que la población de *E. sepositus* estaría desplazándose en su conjunto, desde zonas más profundas y frías, en verano, a zonas más superficiales y cálidas, en invierno. Ya se han estudiado anteriormente cambios en el comportamiento de las estrellas de mar debido a la temperatura. Un estudio realizado con *Astropecten irregularis* concluyó que dicha especie exhibía un patrón estacional de abundancia, con densidades máximas en verano y densidades mínimas, o incluso ausencia, durante el invierno (Freeman *et al.*, 2001). Resultados similares ya fueron descritos en *A. irregularis* por Christensen (1970), quien observó una disminución en la densidad poblacional en los meses más fríos. Christensen contempló la idea de que estas estrellas de mar pudiesen incluso “hibernar” durante

ciertos meses al año. La estrella de mar *Asterias rubens* también muestra una densidad mayor en los meses cálidos y menor en los meses fríos; sin embargo, en *A. rubens* esta variación se debe a la estacionalidad de su principal alimento, los mejillones (Gallagher *et al.*, 2008). De la misma forma, es posible que el movimiento poblacional observado en *E. sepositus* en las diferentes profundidades se deba, no solo a la temperatura en sí, si no también a la variabilidad estacional de la disponibilidad de alimento.

En la Zona 1, la mayor parte de las estrellas se sitúan sobre AF (56,7%) y sobre CCA (24,17%). En la Zona 2, los sustratos con mayor número de ejemplares de *E. sepositus* son AF (55,05%) y los rizomas de *P. oceanica* con el 17,89% de los registros. En la Zona 3 un 73,3% de las estrellas se localizaba entre los rizomas de *P. oceanica* y un 15,3% sobre las hojas. La aparición de estrellas en arena, roca desnuda o esponjas es muy inferior. Este estudio coincide con investigaciones anteriores, las cuales mencionan la presencia de *E. sepositus* en praderas de fanerógamas marinas, arena, roca, guijarros y algas coralinas costrosas (Clark y Downey 1992, Entrambasaguas *et al.*, 2008; Caballero *et al.*, 2000; Villamor y Becerro, 2010; Bacallado *et al.*, 2020). Un estudio realizado en la costa catalana concluyó que la abundancia de *E. sepositus* solamente estaba correlacionada con el porcentaje de cobertura de algas coralinas costrosas (Villamor y Becerro, 2010). No obstante, en Cala del Racó tan solo el 10,6 % de los avistamientos ocurrieron sobre algas coralinas, muy por detrás de los avistamientos ocurridos sobre AF y rizomas de *P. oceanica*, un 38,7% y 31,5%, respectivamente. En cuanto a la presencia de estrellas de mar rojas en fondos rocosos, nuestros datos muestran una mayor similitud con las observaciones de *E. sepositus* realizadas en la costa de Córcega por Raisch (2018), donde *E. sepositus* apareció en mayor abundancia en las algas cespitosas y arbustivas.

Si nos centramos en la relación entre el tamaño de las estrellas y la zona en la que se encuentran, observamos una predisposición clara de los individuos medianos y grandes por la **Zonas 1**, situada mayormente sobre sustrato rocoso, y la **Zona 2**, conformada por sustrato rocoso y el inicio de la pradera de posidonia. Los ejemplares más pequeños se sitúan preferentemente en la **Zona 3**, cubierta casi en su totalidad por pradera de posidonia. Se observa también una clara preferencia de los individuos medianos y grandes por los sustratos cubiertos por algas fotófilas arborescentes y por algas coralinas costrosas. En cambio, las estrellas más pequeñas tienden a estar situadas en la pradera de posidonia, tanto en las hojas como en el rizoma. Una de las razones por las que ocurre este fenómeno podría ser un cambio en los requerimientos nutricionales de *E. sepositus*

en las diferentes etapas de crecimiento. Al mismo tiempo, podría deberse a una razón hidrodinámica. La hidrodinámica juega un papel central en la ecología de los ambientes costeros influenciando la supervivencia, la morfología, el movimiento, la alimentación y la reproducción (Denny, 2006). Condiciones hidrodinámicas adversas pueden producir cambios en el comportamiento de algunos equinodermos (McEuen, 1988). El transecto de roca, donde abundan los sustratos AF y CCA es un ambiente menos profundo y más expuesto a las corrientes. Las estrellas de menor tamaño podrían tener más dificultades para soportar estas corrientes y alimentarse en las algas que crecen sobre las rocas. La pradera de posidonia, junto a una mayor profundidad, ofrecería a las estrellas de menor tamaño un ambiente más calmado y refugio ante posibles depredadores.

Las especies del género *Echinaster* se alimentan de organismos microscópicos y materiales detríticos mediante digestión interna, o pueden consumir los tejidos parcialmente digeridos de organismos de mayor tamaño mediante digestión externa (Turner, 2013). La observación de una estrella con el estómago evertido indica que se está alimentando en ese momento (Lawrence, 2013). Observaciones realizadas en acuarios indican que *E. sepositus* se alimenta de diferentes grupos de invertebrados, *films* microbianos y carroña (Sloan 1980, Jangoux 1982^a, Scheibling 1982c, Ferguson 1984, Brooks y Gwaltney 1993). También ha sido encontrada con el estómago evaginado sobre múltiples invertebrados, algas y sedimentos (Ferguson, 1969). No obstante, ningún estudio ha demostrado lo que come *E. sepositus* en el medio natural (Turner, 2013). Algunos autores consideraban a las esponjas como un alimento clave para *E. sepositus* (Vasserot, 1961; Sara y Vacelet, 1973). Sin embargo, estudios posteriores no han encontrado una relación trófica consistente entre la estrella roja del Mediterráneo y las esponjas (Maldonado y Uriz, 1998). La presencia de *E. sepositus* sobre esponjas ha sido anecdótica durante el año de muestreo en la Cala del Racó, a diferencia del 33% de aparición sobre esponjas de *E. gramicola* en una investigación de Ferguson (1969), esto podría apoyar los resultados obtenidos por Maldonado *et al* (1998) expuestos anteriormente. Es necesario realizar estudios especializados en la alimentación de *E. sepositus* puesto que quedan muchas incógnicas por resolver (Turner, 2013). Nuestro estudio no ha investigado en detalle la alimentación de *E. sepositus* puesto que no se ha tenido en cuenta la evaginación estomacal de los individuos, por ejemplo. Sin embargo, esperamos que los resultados obtenidos en la localización de las estrellas en los diferentes

sustratos, y la diferenciación de tamaño en cada uno de los sustratos aporten información útil a futuras investigaciones de esta índole.

En cuanto al ciclo reproductivo, en asteroideos existe una gran variedad de estrategias en la reproducción, que puede ser estacional o continuo (Mariante *et al.*, 2010). La reproducción estacional ha sido demostrada en algunas especies del género *Echinaster* en el océano Atlántico y el Golfo de México (Ferguson, 1975; Scheibling y Lawrence, 1982; Chen y Chen, 1992; Guzman y Guevara, 2002; Turner, 2013). Este tipo de reproducción tiene como ventaja principal la sincronización de la gametogénesis en machos y hembras, lo que hace más probable la fecundación (Carvalho y Ventura, 2002; Raymond *et al.*, 2007; Bos *et al.*, 2008). Después de 19 muestreos realizados durante un año en la Cala del Racó, no se ha observado ningún ejemplar de *E. sepositus* reproduciéndose. Si bien no podemos asegurar que no se haya producido la puesta de gametos, puesto que esta podría haber ocurrido en los espacios de tiempo entre los muestreos, es plausible pensar que la puesta de gametos en *Echinaster sepositus* no ocurre anualmente. El fenómeno reproductivo en el subgénero *Echinaster* (*Echinaster*) podría ser dependiente de condiciones ambientales como la temperatura, el hidrodinamismo o la cantidad de alimento disponible, que determinarían el comienzo de la puesta; al igual que ocurre con el subgénero de *Echinaster* (*Otilia*) (Scheibling y Lawrence, 1982; Mariante *et al.*, 2010). La importancia de la temperatura en la gametogénesis también se ha mencionado para *Marthasterias glacialis*, una especie de estrella de mar que habita desde el sublitoral hasta los 180 m de profundidad y que realiza la puesta de gametos en aguas superficiales, donde el aumento de la temperatura es máximo (Minchin, 1987; Villalobos *et al.*, 2006; Mercier y Hamel, 2009). A pesar de no haber observado la reproducción, la mayor densidad de individuos (0,51 ind/m²) ha ocurrido en octubre, superando ampliamente a las densidades registradas en los muestreos directamente anteriores y posteriores. Esta fecha coincide con la época del año en que se registró la reproducción de *E. sepositus* en esta misma zona en 2018. Este periodo de desove, además, parece ajustarse al máximo desarrollo gonadal registrado para los meses de junio y julio por Villamor y Becerro (2010). Durante los eventos de reproducción, los asteroideos se congregan para facilitar la fecundación externa tras la puesta de gametos (Hancock, 1958). Por lo que podríamos hipotetizar que es una agregación reproductiva y que es posible que el desove haya ocurrido en el espacio de tiempo que no muestreamos. Sin embargo, también cabe la posibilidad de que no haya habido desove este año y que los desoves ocurran en años particulares, por lo que deberían

repetirse los muestreos, concentrando el esfuerzo en los meses de septiembre y octubre, cuando la probabilidad de observar el desove es mayor.

Durante los eventos de reproducción, los asteroideos se congregan para facilitar la fecundación externa tras la puesta de gametos. Teniendo en cuenta estos datos, es posible que los individuos de *E. sepositus* estuviesen preparados para la puesta de gametos pero que, a la vez, hubiese algún parámetro en las condiciones del agua que habría impedido la liberación de gametos. Las condiciones del agua podrían ser también las que explicasen la diferencia de tiempo entre los diferentes registros de la reproducción de *E. sepositus*. Mientras que el máximo desarrollo gonadal ha sido observado en los meses de junio y julio por Villamor y Becerro (2010), la reproducción *in situ* se registró en octubre en 2018.

Conclusiones

Tras revisar los puntos considerados claves con relación al seguimiento anual de la población de *Echinaster sepositus* y su ciclo reproductivo en la Cala del Racó, hemos podido obtener las siguientes conclusiones.

1. En la Zona 1, localizada a una profundidad media de 3,5 m y ocupada principalmente por sustrato rocoso, se observa un aumento de densidad de *E. sepositus* durante finales de otoño e invierno, cuando la temperatura del agua desciende hasta los 14,13°C, y una disminución de la densidad en primavera y verano, cuando la temperatura alcanza los 27,17°C. En la Zona 3, localizada a una profundidad media de 7 m y ocupada principalmente por pradera de *Posidonia oceanica*, se observa una tendencia contraria a la Zona 1. La densidad poblacional aumenta desde agosto hasta noviembre y vuelve a descender durante el invierno y el principio de la primavera. Esto nos hace presuponer que son los mismos individuos los que se desplazan estacionalmente hacia zonas más superficiales cuando el agua se encuentra a temperaturas más frías y hacia zonas más profundas en los periodos del año en los que la temperatura del agua aumenta.
2. Las algas fotófilas arborescentes y los rizomas de *P. oceanica* han sido los sustratos con un mayor número de *E. sepositus* registrados. Los ejemplares de *E. sepositus* de tamaños medianos a grandes se localizan preferentemente sobre sustratos cubiertos por algas fotófilas arborescentes y algas coralinas costrosas. Sin embargo, los ejemplares de *E. sepositus* encontradas sobre los rizomas o las

hojas de la posidonia tienden a ser de tamaño mediano a pequeño. Valoramos la posibilidad de que este fenómeno se deba a un cambio en las necesidades alimenticias de *E. sepositus* a lo largo de su desarrollo.

3. La mayor densidad de individuos (0,51 ind/m²) ha tenido lugar en octubre. Esta fecha coincide con la puesta de gametos que se observó en la zona del estudio en 2018, lo que puede reflejar una agregación de individuos preparándose para el fenómeno reproductivo.
4. Después de 19 muestreos realizados durante un año en la Cala del Racó, no se ha observado ningún ejemplar de *E. sepositus* reproduciéndose. A pesar de que sí se ha producido una agregación de ejemplares en el periodo de tiempo esperado. Si bien cabe la posibilidad de que hay ocurrido la puesta de gametos en el espacio de tiempo que no muestreamos, no se descarta la posibilidad de el desove ocurra en años particulares, cuando se alcanzan ciertos parámetros en las condiciones del agua.

Conclusions

After reviewing the key points in relation to the annual monitoring of the population of *Echinaster sepositus* and its reproductive cycle in Cala del Racó, we have been able to obtain the following conclusions.

1. In Zone 1, located at an average depth of 3.5 m and occupied mainly by rocky substrate, and increase in density of *E. sepositus* is observed during late autumn and winter, when the water temperature drops to 14.13°C, and a decrease in density is detected in spring and summer, when the temperature reaches 27.17°C. In Zone 3, located at an average depth of 7 m and occupied mainly by *Posidonia oceanica* meadows, a trend contrary to Zone 1 is observed. In Zone 3, the population density increased from August to November and decreased again during winter and the beginning of spring. This leads us to assume that they are the same individuals which move seasonally towards more superficial areas when the water is at colder temperatures and towards deeper areas during the periods of the year when the water temperature increases.
2. Arborescent photophilic algae and rhizomes of *P. oceanica* have been the substrates with the highest number of *E. sepositus* recorded. Specimens of *E. sepositus* of medium to large sizes are located preferably on substrates covered by

arborescent photophilic algae and crustose coralline algae. However, specimens of *E. sepositus* found on *P. oceanica* rhizomes or leaves tend to be medium to small in size. We value the possibility that this phenomenon is due to a change in the nutritional needs of *E. sepositus* throughout its development.

3. The highest density of individuals (0.51 ind/m²) took place in October. This date coincides with the laying of gametes that was observed in the study area in 2018, which may reflect an aggregation of individuals preparing for the reproductive phenomenon.
4. After 19 samplings carried out during a year in Cala del Racó, no specimen of *E. sepositus* has been observed reproducing even though there has been an aggregation of copies in the expected period of time. Although it is possible that gamete spawning occurred in the period of time that we did not sample, the possibility of spawning occurring in particular years, when certain parameters in water conditions are reached is not ruled out.

Agradecimientos

Este estudio no habría sido posible sin el centro de Investigación en Medio Ambiente y Ciencia Marina (IMEDMAR) de la Universidad Católica de Valencia, por la aportación de sus instalaciones, sus recursos y de su tiempo. Aunque hablando de recursos y de tiempo no podemos dejar sin mencionar a todas las personas que han dedicado tanto de ambas para hacer posible este seguimiento: Clara, Diana, Ana Bodí, Teresa, Marina y María José. Gracias por vuestra ayuda en cada una de las inmersiones nocturnas que hemos realizado juntos. Sobre todo, gracias por las inmersiones hechas en invierno. Son, con mucha diferencia, las que más duelen.

También agradecer al Dr. José Rafael García March, director científico del centro IMEDMAR y al Dr. José Carlos Hernández, profesor titular de la Universidad de La Laguna, su dedicación y atención personalizada (u online) durante todo el desarrollo del estudio.

Bibliografía

Abbiati, M., Scanu, M., y García-March, J. R. (2017). A first survey on the status of the *Posidonia oceanica* meadow in Calpe Bay (Alicante, Spain). (Tesis de final de Grado en Biología Marina por la Universidad de Bolonia, Italia).

- Bacallado, J. J., Moreno, E., y Ruzafa, A. P. (2020). Echinodermata (Canary Islands)—Provisional checklist. In *Echinodermata* (pp. 149-151). CRC Press.
- Balshine, S. (2012). Patterns of parental care in vertebrates. *The evolution of parental care*, 62: 80.
- Barker, M. F., y Xu, R. A. (1991). Seasonal changes in biochemical composition of body walls, gonads and pyloric caeca in two populations of *Sclerasterias mollis* (Echinodermata: Asteroidea) during the annual reproductive cycle. *Marine Biology*, 109(1): 27-34.
- Bodí Broseta, A. (2019). *Ensayo de regeneración tisular postamputación y estudio biométrico de la estrella de mar Echinaster sepositus (Retzius, 1783)*. (Trabajo final en el Grado de Ciencias del Mar por la Universidad Católica de Valencia, España).
- Bos, A. R., Gumanao, G. S., y Salac, F. N. (2008). A newly discovered predator of the crown-of-thorns starfish. *Coral Reefs*, 27(3): 581-581.
- Brooks, W. R., y Gwaltney, C. L. (1993). Protection of symbiotic cnidarians by their hermit crab hosts: evidence for mutualism. *Symbiosis*.
- Byrne, M., Cerra, A., y Villinski, J. T. (1999). Oogenic strategies in the evolution of development in *Patiriella* (Echinodermata: Asteroidea). *Invertebrate reproduction & development*, 36(1-3): 195-202.
- Caballero, H., Alcolado, P. M., González, P., Perera, S., y Hernández-Fernández, L. (2000). Protocolo para el monitoreo de bentos en arrecifes coralinos. *Versión ajustada a partir del método de campo AGRRA*.
- Carvalho, A. L. P. S., y Ventura, C. R. R. (2002). The reproductive cycle of *Asterina stellifera* (Möbius) (Echinodermata: Asteroidea) in the Cabo Frio region, southeastern Brazil. *Marine Biology*, 141(5): 947-954.
- Čech, M., Kratochvíl, M., Kubečka, J., Draštík, V., y Matěna, J. (2005). Diel vertical migrations of bathypelagic perch fry. *Journal of Fish Biology*, 66(3): 685-702.
- Chapman, M. G., y Underwood, A. J. (2008). Scales of variation of gastropod densities over multiple spatial scales: comparison of common and rare species. *Marine Ecology Progress Series*, 354: 147-160.
- Chen, B. Y., y Chen, C. P. (1992). Reproductive cycle, larval development, juvenile growth and population dynamics of *Patiriella pseudoexigua* (Echinodermata: Asteroidea) in Taiwan. *Marine Biology*, 113(2): 271-280.
- Christensen, A. M. (1970). Feeding biology of *Astropecten*. *Ophelia*, 8: 2-127.
- Cisneros, A. G. (2016). *Estructura, distribución e historia evolutiva de las poblaciones de estrellas de mar Echinaster sepositus y Coscinasterias tenuispina*. (Tesis doctoral por la Universidad de Barcelona, España).
- Clark, A. M., y Downey, M. E. (1992). *Starfishes of the Atlantic*.
- Cognetti, G., y Delavault, R. (1962). La sexualité des asterides. *Cahiers de biologie marine*, 3: 157-182.
- Denny, M. W. (2006). Ocean waves, nearshore ecology, and natural selection. *Aquatic Ecology*, 40(4): 439-461.
- Entrambasaguas, L., Pérez-Ruzafa, Á., García-Charton, J. A., Stobart, B., y Bacallado, J. J. (2008). Abundance, spatial distribution and habitat relationships of echinoderms in the Cabo Verde Archipelago (eastern Atlantic). *Marine and Freshwater Research*, 59(6): 477-488.
- Farmanfarmaian, A., Giese, A. C., Boolootian, R. A., y Bennett, J. (1958). Annual reproductive cycles in four species of west coast starfishes. *Journal of Experimental Zoology*, 138(2): 355-367.
- Ferguson, J. C. (1969). Feeding activity in *Echinaster* and its induction with dissolved nutrients. *The Biological Bulletin*, 136(3): 374-384.
- Ferguson, J. C. (1975). The role of free amino acids in nitrogen storage during the annual cycle of a starfish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 51(2): 341-350.

- Ferguson, J. C. (1984). Translocative functions of the enigmatic organs of starfish—the axial organ, hemal vessels, Tiedemann's bodies, and rectal caeca: An autoradiographic study. *The Biological Bulletin*, 166(1): 140-155.
- Freeman, S. M., Richardson, C. A., y Seed, R. (2001). Seasonal abundance, spatial distribution, spawning and growth of *Astropecten irregularis* (Echinodermata: Asteroidea). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 53(1): 39-49.
- Gallagher, T., Richardson, C. A., Seed, R., y Jones, T. (2008). The seasonal movement and abundance of the starfish, *Asterias rubens* in relation to mussel farming practice: a case study from the Menai Strait, UK. *Journal of Shellfish Research*, 27(5): 1209-1215.
- Georgiades, E. T., Temara, A., y Holdway, D. A. (2006). The reproductive cycle of the asteroid *Coscinasterias muricata* in Port Phillip Bay, Victoria, Australia. *Journal of experimental marine biology and ecology*, 332(2): 188-197.
- Grange, L. J., Tyler, P. A., y Peck, L. S. (2007). Multi-year observations on the gametogenic ecology of the Antarctic seastar *Odontaster validus*. *Marine biology*, 153(1), 15-23.
- Gross, M. R., y Sargent, R. C. (1985). The evolution of male and female parental care in fishes. *American zoologist*, 25(3): 807-822.
- Guzmán, H. M., y Guevara, C. A. (2002). Population structure, distribution and abundance of three commercial species of sea cucumber (Echinodermata) in Panama. *Caribbean Journal of Science*.
- Hancock, D. A. (1958). Notes on starfish on an Essex oyster bed. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 37(3):565-589.
- Hewitt, J. E., Thrush, S. F., Halliday, J., y Duffy, C. (2005). The importance of small-scale habitat structure for maintaining beta diversity. *Ecology*, 86(6): 1619-1626.
- Jangoux, M., y Lawrence, J. M. (1982). *Echinoderm nutrition*. CRC Press.
- Lafay, B., Smith, A. B., y Christen, R. (1995). A combined morphological and molecular approach to the phylogeny of asteroids (Asteroidea: Echinodermata). *Systematic Biology*, 44(2): 190-208.
- Lawrence, J. M. (Ed.). (2013). *Starfish: biology and ecology of the Asteroidea*. JHU Press.
- Lopes, E. M., Pérez-Portela, R., Paiva, P. C., y Ventura, C. R. R. (2016). The molecular phylogeny of the sea star *Echinaster* (Asteroidea: Echinasteridae) provides insights for genus taxonomy. *Invertebrate biology*, 135(3): 235-244.
- Mah, C. L., y Blake, D. B. (2012). Global diversity and phylogeny of the Asteroidea (Echinodermata). *PLoS one*, 7(4), e35644.
- Maldonado, M., y Uriz, M. J. (1998). Microrefuge exploitation by subtidal encrusting sponges: patterns of settlement and post-settlement survival. *Marine Ecology Progress Series*, 174: 141-150.
- Mariante, F. L., Lemos, G. B., Eutrópio, F. J., Castro, R. R., y Gomes, L. C. (2010). Reproductive biology in the starfish *Echinaster (Othilia) guyanensis* (Echinodermata: Asteroidea) in southeastern Brazil. *Zoologia (Curitiba)*, 27(6): 897-901.
- McEuen, F. S. (1988). Spawning behaviors of northeast Pacific sea cucumbers (Holothuroidea: Echinodermata). *Marine Biology*, 98(4): 565-585.
- Mercier, A., y Hamel, J. F. (2009). Advances in marine biology: endogenous and exogenous control of gametogenesis and spawning in echinoderms.
- Metcalfe, N. B., Fraser, N. H., y Burns, M. D. (1999). Food availability and the nocturnal vs. diurnal foraging trade-off in juvenile salmon. *Journal of Animal Ecology*, 68(2): 371-381.
- Minchin, D. (1987). Sea-water temperature and spawning behaviour in the seastar *Marthasterias glacialis*. *Marine Biology*, 95(1): 139-143.
- Olivotto, I., Planas, M., Simões, N., Holt, G. J., Avella, M. A., y Calado, R. (2011). Advances in breeding and rearing marine ornamentals. *Journal of the World Aquaculture Society*, 42(2): 135-166.

- Pastor-de-Ward, C. T., Rubilar, T., Díaz-de-Vivar, M. E., Gonzalez-Pisani, X., Zarate, E., Kroeck, M., y Morsan, E. (2007). Reproductive biology of *Cosmasterias lurida* (Echinodermata: Asteroidea) an anthropogenically influenced substratum from Golfo Nuevo, Northern Patagonia (Argentina). *Marine Biology*, 151(1): 205-217.
- Pearse, J. S., y Beauchamp, K. A. (1986). Photoperiodic regulation of feeding and reproduction in a brooding sea star from central California. *International journal of invertebrate reproduction and development*, 9(3): 289-297.
- Pearse, J. S., y Bosch, I. (2002). Photoperiodic regulation of gametogenesis in the Antarctic sea star *Odontaster validus* Koehler: evidence for a circannual rhythm modulated by light. *Invertebrate reproduction & development*, 41(1-3): 73-81.
- Pearse, J. S., Pearse, V. B., y Davis, K. K. (1986). Photoperiodic regulation of gametogenesis and growth in the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus*. *Journal of Experimental Zoology*, 237(1): 107-118.
- Pearse, J. S., y Eernisse, D. J. (1982). Photoperiodic regulation of gametogenesis and gonadal growth in the sea star *Pisaster ochraceus*. *Marine Biology*, 67(2): 121-125.
- Pearse, J. S., y Walker, C. W. (1986). Photoperiodic regulation of gametogenesis in a North Atlantic sea star, *Asterias vulgaris*. *International journal of invertebrate reproduction and development*, 9(1): 71-77.
- R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Raisch, A. (2018) Variation of Habitat for *Echinaster sepositus* and Implications for Habitat Preference. (Trabajo final en Biología Marina por la Universidad de Santa Cruz de California, Estados Unidos).
- Raymond, J. F., Himmelman, J. H., y Guderley, H. E. (2007). Biochemical content, energy composition and reproductive effort in the broadcasting sea star *Asterias vulgaris* over the spawning period. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 341(1): 32-44.
- Rubilar, T., Pastor de Ward, C. T., y Díaz de Vivar, M. E. (2005). Sexual and asexual reproduction of *Allostichaster capensis* (Echinodermata: Asteroidea) in Golfo Nuevo. *Marine Biology*, 146(6): 1083-1090.
- Sara, M., y Vacelet, M. (1973). Ecologie des Demosponges, *Traite de Zoologie. Anatomie, Systematique, Biologie*. Ed. Masson & Cie., Paris, Francia, 462-576.
- Scheibling, R. E., y Lawrence, J. M. (1982). Differences in reproductive strategies of morphs of the genus *Echinaster* (Echinodermata: Asteroidea) from the Eastern Gulf of Mexico. *Marine Biology*, 70(1): 51-62.
- Scheibling, R. E., y Metaxas, A. (2008). Abundance, spatial distribution, and size structure of the sea star *Protoreaster nodosus* in Palau, with notes on feeding and reproduction. *Bulletin of Marine Science*, 82(2): 221-235.
- Seixas, V. C., Ventura, C. R. R., y Paiva, P. C. (2019). The complete mitochondrial genome of the sea star *Echinaster (Othilia) brasiliensis* (Asteroidea: Echinasteridae). *Conservation Genetics Resources*, 11(2): 151-155.
- Sloan, N. A. (1980). Aspects of feeding biology of asteroids. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 18: 57-124.
- Stewart, B. G., y Mladenov, P. V. (1997). Population structure, growth and recruitment of the euryalimid brittle-star *Astrobrachion constrictum* (Echinodermata: Ophiuroidea) in Doubtful Sound, Fiordland, New Zealand. *Marine Biology*, 127(4): 687-697.
- Lawrence, J. M. (Ed.). (2013). *Starfish: biology and ecology of the Asteroidea*. JHU Press, 200-214.
- Underwood, A. J., y Chapman, M. G. (1996). Scales of spatial patterns of distribution of intertidal invertebrates. *Oecologia*, 107(2): 212-224.
- Uthicke, S., Schaffelke, B., y Byrne, M. (2009). A boom–bust phylum? Ecological and evolutionary consequences of density variations in echinoderms. *Ecological monographs*, 79(1): 3-24.
- Vasserot, J. (1961). Caractère hautement spécialisé du régime alimentaire chez les astérides *Echinaster sepositus* et *Henricia sanguinolenta*, prédateurs de spongiaires. *Bull Soc Zool Fr*, 86: 796-809.

- Villamor, A., y Becerro, M. A. (2010). Matching spatial distributions of the sea star *Echinaster sepositus* and crustose coralline algae in shallow rocky Mediterranean communities. *Marine biology*, 157(10): 2241-2251.
- Villalobos, F. B., Tyler, P. A., y Young, C. M. (2006). Temperature and pressure tolerance of embryos and larvae of the Atlantic seastars *Asterias rubens* and *Marthasterias glacialis* (Echinodermata: Asteroidea): potential for deep-sea invasion. *Marine Ecology Progress Series*, 314: 109-117.
- Villinski, J. T., Villinski, J. C., Byrne, M., y Raff, R. A. (2002). Convergent maternal provisioning and life-history evolution in echinoderms. *Evolution*, 56(9): 1764-1775.
- Waddell, B., y Pawlik, J. R. (2000). Defenses of Caribbean sponges against invertebrate predators. II. Assays with sea stars. *Marine Ecology Progress Series*, 195: 133-144.
- Wirtz, P., y Debelius, H. (2003). *Mediterranean and Atlantic invertebrate guide*. ConchBooks.
- Zajac, R. N., Lewis, R. S., Poppe, L. J., Twichell, D. C., Vozarik, J., y DiGiacomo-Cohen, M. L. (2003). Responses of infaunal populations to benthoscape structure and the potential importance of transition zones. *Limnology and Oceanography*, 48(2): 829-842.

Anexos

Anexo 1

Tabla1. Resultado del análisis Chi-cuadrado de Pearson entre las diferentes zonas de estudio y las tallas de *Echinaster sepositus* agrupadas en categorías (GRAN: grande, MED: mediano, PEQ: pequeño).

Resumen de procesamiento de casos

	Válido		Casos Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
ZONA DE ESTUDIO * LB (categoria)	488	100,0%	0	0,0%	488	100,0%

Tabla cruzada ZONA DE ESTUDIO*LB(categoria)

Recuento

		LB(categoria)			Total
		GRAN	MED	PEQ	
ZONA DE ESTUDIO	ZONA 1	52	64	4	120
	ZONA 2	58	150	10	218
	ZONA 3	3	111	36	150
Total		113	325	50	488

Pruebas de chi-cuadrado

	Valor	gl	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	95,881 ^a	4	<,001
Razón de verosimilitud	107,572	4	<,001
N de casos válidos	488		

a. 0 casillas (0,0%) han esperado un recuento menor que 5.
El recuento mínimo esperado es 12,30.

Anexo 2

Tabla 2. Resultado del análisis Chi-cuadrado de Pearson entre los diferentes sustratos y las tallas de *Echinaster sepositus* agrupadas en categorías. (AF: algas fotófilas arborescentes, CCA: algas coralinas costrosas, GRAN: grande, MED: mediano, PEQ: pequeño).

Resumen de procesamiento de casos

	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Sustrato * LB(categoría)	488	100,0%	0	0,0%	488	100,0%

Tabla cruzada Sustrato*LB(categoría)

Recuento

		LB(categoría)			Total
		GRAN	MED	PEQ	
Sustrato	AF	64	121	4	189
	ARENA	0	8	2	10
	CCA	22	26	4	52
	ESPONJA	1	1	0	2
	MIXTO	9	21	1	31
	POSIDONIA	1	27	5	33
	RIZOMA	8	112	34	154
	ROCA	8	9	0	17
Total		113	325	50	488

Pruebas de chi-cuadrado

	Valor	gl	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	96,312 ^a	14	<,001
Razón de verosimilitud	111,036	14	<,001
N de casos válidos	488		

a. 9 casillas (37,5%) han esperado un recuento menor que 5.
El recuento mínimo esperado es ,20.