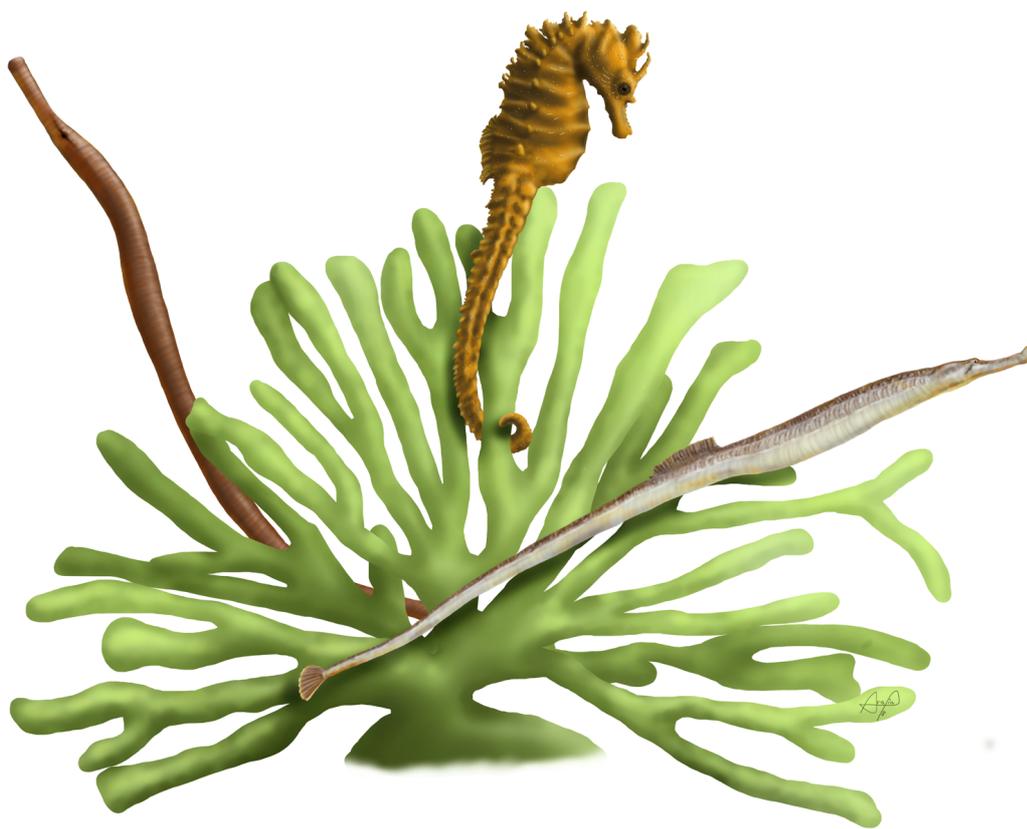


# *Características tróficas de los Signátidos de las Islas Cíes (Parque Nacional de las Islas Atlánticas de Galicia, NO España)*



Autora: Raquel Nogueira Fuertes  
Director: Miquel Planas Olivier  
21 de diciembre 2018



## Resumen

Los signátidos son una familia de peces de gran interés biológico y ecológico, así como desde el punto de vista de la conservación de la biodiversidad marina, al tratarse de especies vulnerables debido a su estrecha asociación con las comunidades vegetales. En este estudio se analizan las características biológicas y tróficas de las poblaciones de peces signátidos asociados a las comunidades vegetales del Archipiélago de las Islas Cíes (Parque Nacional Marítimo – Terrestre de las Islas Atlánticas) en base a muestreos realizados en tres zonas del archipiélago, en primavera, verano y otoño de 2017. Además de analizar la presencia de especies, abundancia, talla/peso y estado de madurez sexual se presta atención especial a los perfiles isotópicos de  $^{15}\text{N}$  y  $^{13}\text{C}$ , tanto de la epifauna y de las tres especies de signátidos capturadas en los muestreos: el caballito de mar *Hippocampus guttulatus* y los peces pipa *Entelurus aequoreus* y *Syngnathus acus*. El seguimiento anual reveló la existencia de una población significativa y de gran talla del pez pipa *S. acus*. Mientras que *Hippocampus guttulatus* y *Entelurus aequoreus* se presentaron en bajas abundancias y con una distribución muy restringida (hábitat selectivos), localizada en una sola de las zonas estudiadas. La caracterización isotópica permitió elaborar la estructura trófica de la red alimentaria asociada al hábitat de los signátidos, así como estimar por primera vez el nivel trófico (NT) de las especies estudiadas: *H. guttulatus* (NT=3,73), *E. aequoreus* (NT=3,65) y *S. acus* (NT=3,66). Los resultados de NT sitúan a las tres especies en el nivel de los consumidores secundarios (carnívoros primarios). El análisis en profundidad de las firmas isotópicas aportadas en este trabajo permitirá inferir la dieta de los peces signátidos considerando los perfiles isotópicos de las presas potenciales de epifauna. Los resultados aportados contribuirán al conocimiento de los signátidos con vistas a la elaboración de planes de protección y conservación en el Parque Nacional de las Islas Atlánticas.

**Palabras clave:** Syngnathidae, signátidos, *Syngnathus acus*, isótopos estables  $^{15}\text{N}$  y  $^{13}\text{C}$ , posición trófica, Archipiélago Islas Cíes.

## Resumo

Os signátidos son una familia de peces de grande interese biolóxico e ecolóxico, así como dende o punto de vista da conservación da biodiversidade mariña ao tratárense de especies vulnerables debido a súa estreita asociación coas comunidades vexetais. Neste estudio analízanse as características biolóxicas e tróficas das poboacións de peixes signátidos asociados ás comunidades vexetais do Arquipélago das Illas Cíes (Parque Nacional Marítimo – Terrestre das Illas Atlánticas) baseándose en mostraxes realizadas en tres lugares do arquipélago, durante as estacións de primavera, verán e outono do 2017. Ademais de analizarse a presenza de especies, abundancia, tallaxe/peso e estado de madurez sexual préstase especial atención os perfís isotópicos de  $^{15}\text{N}$  y  $^{13}\text{C}$ , tanto da epifauna coma nas tres especies de signátidos capturadas nas mostraxes: o caballiño de mar *Hippocampus guttulatus* e os peixes pipa *Entelurus aequoreus* e *Syngnathus acus*. O seguimento anual revelou a existencia dunha poboación significativa e de gran tallaxe do peixe pipa *S. acus*. Mentres que *Hippocampus guttulatus* e *Entelurus aequoreus* presentáronse en baixas abundancias e cunha distribución restrinxida (hábitat selectivos), localizada nunha sóa zona dos lugares estudados. A caracterización isotópica permitiu elaborar a estrutura trófica da rede alimentaria asociada o hábitat dos signátidos, así como estimar por vez primeira o nivel trófico (NT) das especies estudadas: *H. guttulatus* (NT=3,73), *E. aequoreus* (NT=3,65) y *S. acus* (NT=3,66). Os resultados de NT

sitúan ás tres especies no nivel dos consumidores secundarios (carnívoros primarios). A análise en profundidade das firmas isotópicas aportadas neste traballo permitirá desvelar a dieta dos peixes signátidos considerando os perfís isotópicos das presas potenciales de epifauna. Os resultados aportados contribuirán o coñecemento dos signátidos con vistas a elaboración de plans de protección e conservación no Parque Nacional das Illas Atlánticas.

**Palabras clave:** Syngnathidae, signátidos, *Syngnathus acus*, isótopos estables  $^{15}\text{N}$  e  $^{13}\text{C}$ , posición trófica, Archipélago Illas Cíes.

## Abstract

Syngnathids are a fish family with huge biological and ecological concern, for being vulnerable species due to their close association with marine algal communities. This study analysed the biological and ecological features of the Syngnathids populations in relation with algal communities in Islas Cíes archipelago (Atlantic Islands Maritime – Terrestrial National Park) depended on samples performed in three archipelago spots, in the course of spring, summer and autumn 2017. Besides to recorded appearance/ absence, size/weight and sexual mature status, it was paid special attention to  $^{15}\text{N}$  y  $^{13}\text{C}$  isotopic profiles, both epifaunal community and the three Syngnathids sampled: seahorse *Hippocampus guttulatus* and pipefishes *Entelurus aequoreus* and *Syngnathus acus*. Annual tracking revealed a significant and large – size population of pipefish *S. acus*. While *Hippocampus guttulatus* and *Entelurus aequoreus* appeared in low abundance and restricted distribution (habitat exigences), placed in only one of the sampled spots. Isotopic signatures allowed the development of trophic structure in the food web related to Syngnathids habitat, as well as determined for first time the trophic level (TL) in the recorded species: *H. guttulatus* (TL=3,73), *E. aequoreus* (TL=3,65) and *S. acus* (TL=3,66). TL data placed the Syngnathids in secondary consumers trophic level (primary carnivores). The in – depth analysis of the isotopic signatures provided by this study, allows to infer the diet of Syngnathids fishes in view of potential prey epifaunal isotopic profiles. Provided results contribute to Syngnathids knowledge with the objective of develop protection and conservation plans in Atlantic Islands National Park.

**Key words:** Syngnathidae, Syngnatids, *Syngnathus acus*, stable isotopes  $^{15}\text{N}$  and  $^{13}\text{C}$ , trophic position, Cíes Islands archipelago.

# Índice

<b>Introducción</b> .....	<b>5</b>
La familia Syngnathidae.....	7
Aplicación de los isótopos estables (SIA) al estudio de la dieta de signátidos.....	11
Objetivos.....	13
<b>Material y métodos</b> .....	<b>15</b>
1. Área de estudio.....	15
2. Trabajo de campo.....	16
2.1. Zonas de muestreo.....	16
2.2. Muestreos.....	18
2.2.1. Peces Signátidos.....	18
2.2.2. Flora y epifauna.....	19
3. Trabajo de laboratorio.....	20
3.1. Taxonomía y banco de epifauna.....	20
3.2. Análisis de isótopos estables – SIA.....	20
3.3. Cálculo del nivel trófico.....	21
3.4. Análisis estadístico.....	22
3.5. Bioética.....	22
<b>Resultados</b> .....	<b>23</b>
A. Signátidos.....	23
B. Epifauna.....	26
C. Análisis isotópico, nivel trófico y estructura trófica de la comunidad.....	28
C.1. Perfiles isotópicos en la epifauna y estructura trófica.....	28
C.2. Nivel trófico de Signátidos y variaciones isotópicas inter-específicas e intra-específicas.....	33
C.3. Estructura trófica global.....	36
<b>Discusión</b> .....	<b>38</b>
A. Signátidos.....	38
B. Epifauna.....	40
C. Análisis isotópico, nivel trófico y estructura trófica de la comunidad.....	42
C.1. Perfiles isotópicos en la epifauna y estructura trófica.....	42
C.2. Nivel trófico de Signátidos y variaciones isotópicas inter-específicas e intra-específicas.....	45
C. 3. Estructura trófica global.....	47
<b>Conclusiones y perspectivas futuras</b> .....	<b>49</b>
<b>Agradecimientos</b> .....	<b>50</b>
<b>Bibliografía</b> .....	<b>51</b>
<i>Anexo I</i> .....	<b>58</b>
<i>Anexo II</i> .....	<b>62</b>
<i>Anexo III</i> .....	<b>64</b>



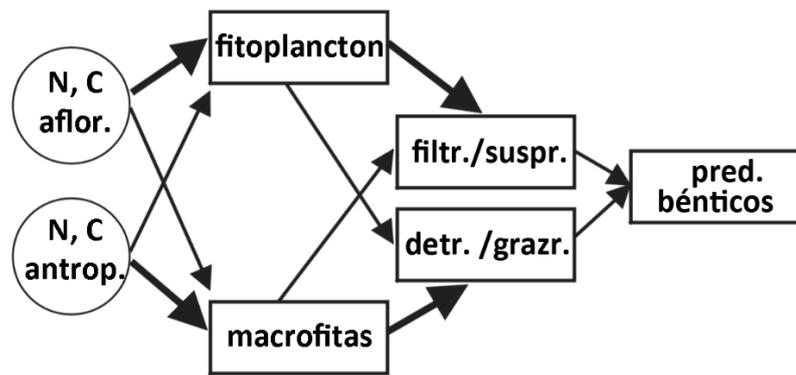
## Introducción

Los peces de la familia Syngnathidae incluyen a los peces pipa y los caballitos de mar, entre otras especies. Se trata de especies generalmente de pequeño tamaño y crípticas que viven asociadas a hábitats dominados por vegetación o hábitats epibénticos (Lourie *et al.*, 2004). Los integrantes de esta familia, en especial los caballitos de mar, gozan de gran popularidad entre la sociedad. En las últimas décadas se han convertido en especies bandera en la conservación de peces y hábitats marinos (Shokri *et al.*, 2009). A pesar de que el número de publicaciones relativas a los peces signátidos aumentó considerablemente en las últimas dos décadas (Cohen *et al.*, 2017), numerosos autores han llamado la atención sobre la falta de información biológica y ecológica de estas especies (Foster & Vincent, 2004; Curtis & Vincent, 2005; Kitsos *et al.*, 2008).

El presente trabajo tiene como objetivo general contribuir al conocimiento acerca de las especies de peces signátidos en el archipiélago de las Islas Cíes (Parque Natural de las Islas Atlánticas, NO España), aplicando el análisis de isótopos estables ( $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$ ) para determinar el nivel trófico y las fuentes de alimento de los peces signátidos. El estudio de la dieta natural de las especies de peces es un enfoque útil para entender los aspectos de la biología y ecología de las especies.

En los ricos ecosistemas de las rías gallegas, comprender la estructura de las redes tróficas es un aspecto importante para la sostenibilidad y conservación de los ecosistemas y hábitats de las rías. El entendimiento de las relaciones y flujos energéticos en las cadenas tróficas permitirá alcanzar una mejor gestión integral de los ecosistemas gallegos. La producción primaria, debida fundamentalmente al fitoplancton, es la base de la cadena trófica de la ría viguesa (Bode *et al.*, 2006; Cermeño *et al.*, 2006; Guerra *et al.*, 2008). Sobre el nicho de los productores primarios (fitoplancton, zooplancton autótrofo, macroalgas y fanerógamas marinas) se asientan los niveles tróficos ocupados por consumidores primarios, organismos filtradores, suspensívoros, detritívoros y carnívoros (**fig. 1**).

La epifauna bentónica comprende la fauna o conjunto de organismos que viven sobre el sedimento en el medio acuático, ya sea anclados a él o desplazándose libremente sobre el mismo. Incluye una amplia variedad de organismos que conforman una red trófica que da soporte a especies situadas en niveles tróficos superiores. En el caso de la epifauna asociada a unidades algales, se trata de organismos que viven y se alimentan en el dosel algal, compartiendo hábitat con especies que allí encuentran su despensa alimentaria. Los signátidos, como predadores fundamentalmente bénticos, se situarían en la parte alta de la cadena trófica analizada en este estudio, alimentándose en niveles inferiores de la cadena trófica que constituye la epifauna. El estudio de la composición de las variaciones espacio – temporales de la epifauna permite determinar las características tróficas de organismos superiores y su dependencia de los niveles tróficos sobre los que preda.



**Fig 1.** Modelo simplificado de la transferencia de nutrientes (nitrógeno y carbono) en la estructura trófica litoral. Las flechas indican los flujos entre compartimentos, el grosor es proporcional a las rutas predominantes. Aflor., afloramiento; antrop, antrópico; filtr./suspr., filtradores; suspensivos; detr./grazr., detritívoros; grazr., grazer; pred. bénticos, predadores bénticos. Fuente: Modificado de Bode *et al.*, 2006.

La dinámica de nutrientes en la ría de Vigo está regulada por procesos oceánicos, los ciclos de afloramiento – hundimiento, la alternancia estacional entre la mezcla y estratificación que fertiliza la capa fótica y los aportes antropicos o de la descarga de los ríos. En la ría, como sistema natural, el acoplamiento físico – biológico va a marcar las dinámicas de nutrientes y tasas energéticas. Dichos nutrientes constituyen la base sobre la que se asientan las redes tróficas. Las transferencias de nutrientes relacionados con el ciclo y metabolismo del carbono y del nitrógeno lleva inherente la transferencia de los denominados isótopos estables. En el caso del C y del N, se trata de isótopos más pesados:  $^{15}\text{N}$  y  $^{13}\text{C}$ . Los organismos acumulan los isótopos pesados a lo largo de su crecimiento debido a la preferencia de las reacciones metabólicas por los isótopos ligeros (Bode *et al.*, 2003). Las diferencias (enriquecimiento al aumentar la posición trófica) que se encuentran en la abundancia natural de los isótopos de  $^{15}\text{N}$  y  $^{13}\text{C}$  entre los consumidores y su dieta son consecuencia de las fuentes e intercambios de nutrientes y energía, y reflejan relaciones tróficas (Post, 2002). El análisis de isótopos estables (SIA) ofrece la posibilidad de obtener datos cuantitativos sobre la organización trófica y la dieta de los organismos estudiados.

Son muy escasos los estudios de isótopos estables en peces signátidos. Ripley & Foran (2009) realizaron un estudio isotópico en embriones de *Syngnathus* spp. para cuantificar la utilización de nutrientes de origen paterno durante las etapas embrionarias. Vizzini & Mazzola (2004) estudiaron las relaciones entre el contenido isotópico ( $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$ ), el sexo y la especie en dos especies del género *Syngnathus*, del Mediterráneo occidental. Romanuk *et al.*, (2011) determinaron el nivel trófico del orden Gasterosteiformes (nivel trófico= 3,9), donde se incluyen a muchas otras familias de peces además de los signátidos. Más recientemente Valladares y Planas (2012) pusieron a punto técnicas no invasivas de análisis isotópico en caballitos de mar y Valladares *et al.* (2017) estudiaron la dieta de caballitos de mar de las costas gallegas mediante análisis isotópico. La novedad de estos dos estudios fue la utilización de una pequeña porción de aleta caudal como elemento de análisis isotópico (Valladares & Planas, 2012). Los anteriores estudios en dietas se basaron en el análisis de contenidos digestivos que implicaron el sacrificio del animal (Teixeira & Musick, 1995; García *et al.*, 2005; Kitsos *et al.*, 2008; Gurkan *et al.*, 2011).

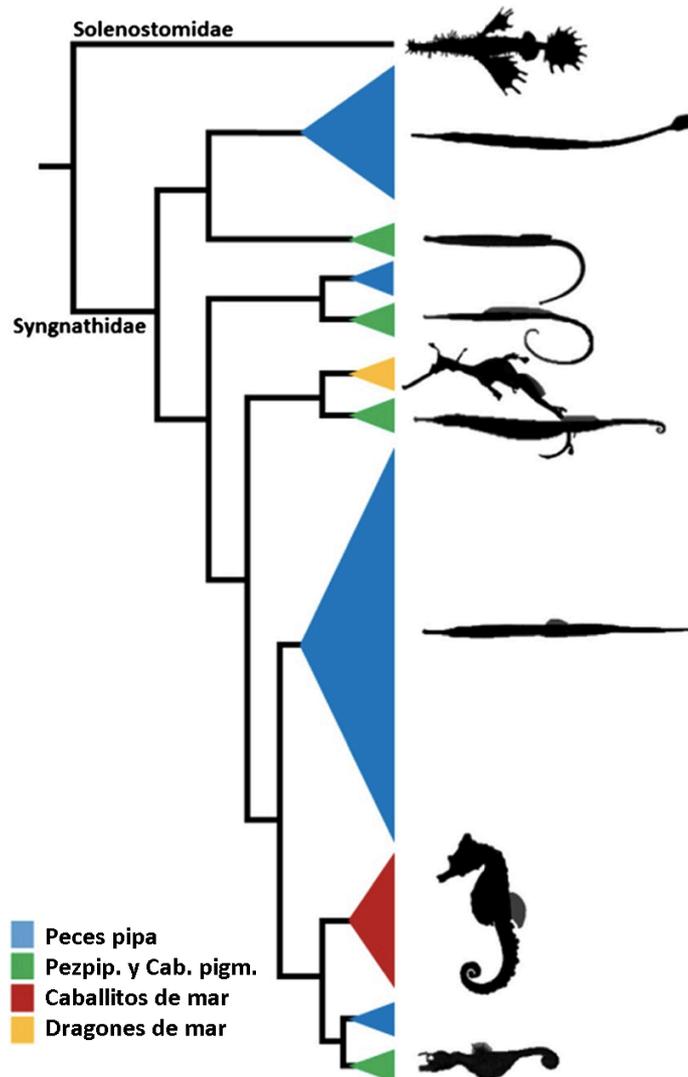
El presente estudio forma parte del Proyecto Hippoparques – Signátidos de los Parques Nacionales de las Illas Atlánticas y del Archipiélago de Cabrera (OAPN, MAPAMA, Referencia 1541S/2015). El objetivo del proyecto Hippoparques es identificar y caracterizar hábitats de preferencia y fuentes de alimentación de signátidos, tanto en el Parque Nacional de las Islas

Atlánticas como en el archipiélago de Cabrera (PNAC), con la posibilidad de crear reservas naturales y medidas de protección para la naturaleza.

El trabajo fue presentado en el VI International Symposium on Marine Sciences (ISMS), celebrado en Vigo los días 20, 21 y 22 de junio de 2018, como parte de las actividades promovidas por la candidatura del archipiélago de las Islas Cíes a Patrimonio de la Humanidad.

## La familia Syngnathidae

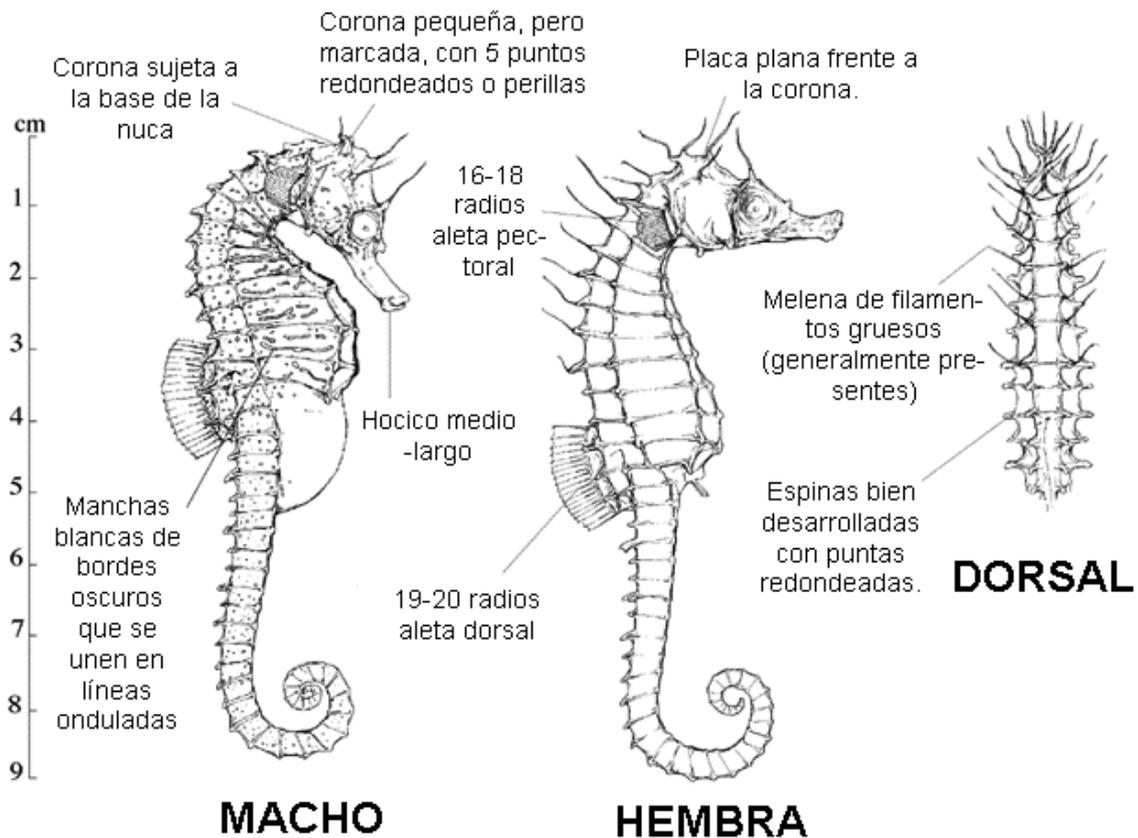
La familia Syngnathidae (orden Syngnathiformes) incluye peces fundamentalmente marinos como caballitos de mar, peces pipa y dragones de mar. La familia tiene cerca de 300 especies, agrupadas en 35 géneros (Vincent *et al.*, 1995; Wilson & Orr, 2011). Los integrantes de esta familia se caracterizan por la presencia de mandíbulas fusionadas y por el característico patrón de cuidado parental, en el que los machos son los encargados del cuidado y desarrollo de los huevos y embriones. Son peces altamente especializados, limitados por una baja movilidad, un tamaño reducido y unas aletas poco preparadas para la natación veloz.



**Fig. 1.** Cladograma que muestra las relaciones de parentesco entre los integrantes de la familia Syngnathidae. Peces pipa (azul), peces pipa y caballitos de mar pigmeos (verde), caballitos de mar (rojo) y dragones de mar (amarillo). Fuente: Modificado de Franz-Odenaal & Adriaens (2014).

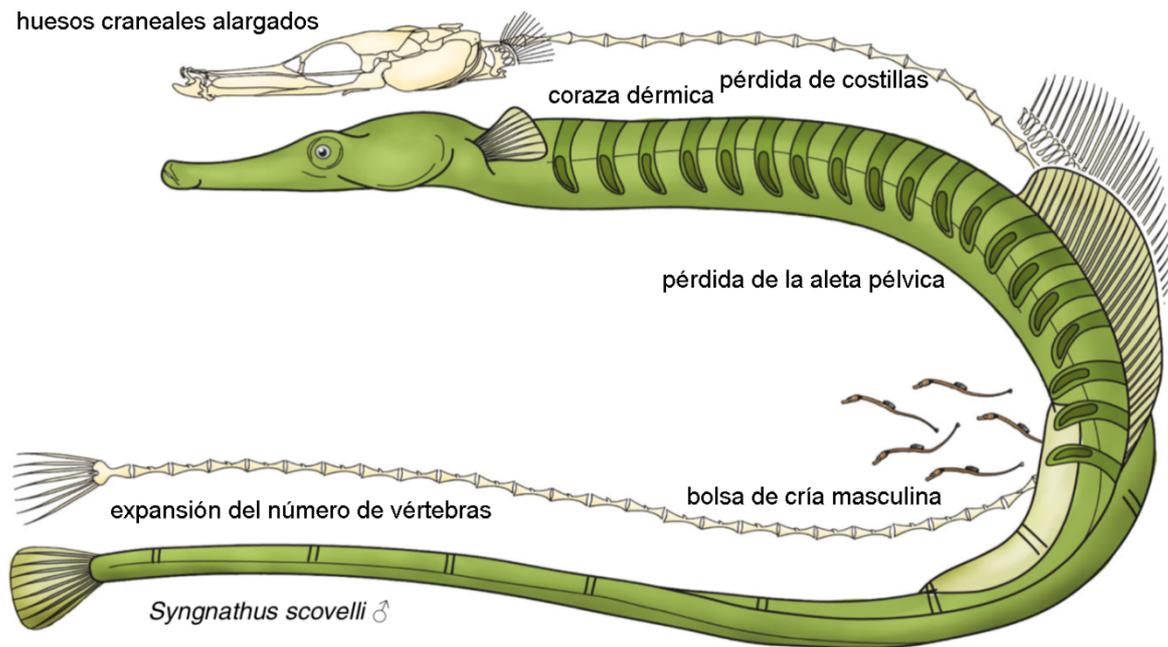
Dentro de la familia se manifiestan gran diversidad de formas, pero generalmente se identifican por sus largos hocicos (fusión de las dos mandíbulas), una pequeña boca terminal carente de dientes, ausencia de aletas pélvicas y gruesas placas, a modo de armadura ósea, que cubren sus cuerpos (Dawson, 1986). Dicha armadura les provee protección contra los predadores, al tiempo que reduce la capacidad natatoria y, por tanto, la capacidad de dispersión de la especie. La posesión del hocico tubular, similar a una pipeta, se ha interpretado como una especialización para la alimentación por succión (Bergert & Wainwright, 1997, Planas *et al.*, 2017).

Los caballitos de mar presentan una postura erguida, con la cabeza unida en ángulo recto al tronco, terminando en una cola prensil, sin aleta (fig. 2). La piel carece de escamas y cubre una estructura de placas óseas, visibles como anillos alrededor del tronco y la cola. El tamaño de los ejemplares varía según las especies, pudiendo abarcar desde 2cm en *Hippocampus bargibanti*, el caballito de mar pigmeo, hasta 35cm. En los peces pipa se pueden alcanzar los 50 cm de longitud. Pueden existir pequeñas diferencias morfológicas/anatómicas entre sexos, siendo los machos más largos que las hembras y con las colas proporcionalmente más largas, mientras que las hembras tienen el tronco más largo. El peso varía con el estado reproductiva, aumentando considerablemente en hembras ovígeras y en machos preñados.



**Fig. 2.** Boceto de *Hippocampus guttulatus*. Fuente: Modificado de Lourie *et al.*, (2004).

Los peces pipa tienen el cuerpo alargado, de apariencia vermiforme, con la cabeza alineada con el tronco, terminando en una aleta caudal; carecen de aletas pectorales y ventrales (fig. 3). Su nombre proviene del hecho de que el hocico es largo y delgado, como una pipa. La mayoría de las especies tienen entre 30 y 50 cm de longitud y, a menudo, las hembras son más grandes que los machos. Al igual que en los caballitos de mar, el peso varía entre sexos y el estado reproductivo.



**Fig. 3.** Boceto de macho de *Syngnathus scovelli*. Fuente: Modificado de Small *et al.*, (2016).

Los dragones de mar (ausentes en nuestras latitudes) presentan un aspecto similar al de los peces pipa. Su cuerpo alargado soporta numerosos apéndices que les confieren una apariencia de fantasía.

Los signátidos ocupan aguas costeras templadas o tropicales, con una distribución que abarca aproximadamente desde 50° Norte hasta 50° Sur, desde las regiones boreales hasta las aguas templadas o frías del sur. Los corales, macroalgas, raíces de manglares y pastos marinos son sus hábitats habituales, pero algunos viven en fondos arenosos o fangosos abiertos. Son especies predominantemente marinas, aunque algunas habitan estuarios o lagunas. La mayoría vive en aguas costeras hasta los 50 m de profundidad.

Tienden a distribuirse de forma parcheada en bajas densidades, siendo particularmente susceptibles a la degradación del hábitat por actividades humanas. La mayoría de las especies de signátidos estudiadas exhiben una alta fidelidad al hábitat y zona, al menos durante la temporada de reproducción (Lourie *et al.*, 2004). Estos peces suelen presentar una vida sedentaria, lo que, junto a su baja capacidad de desplazamiento, las hace muy vulnerables y susceptibles frente a la destrucción de sus hábitats. Muchas especies, especialmente de caballitos de mar están protegidas por la legislación de diversos países, entre los cuales se encuentra España (BOE, 2011).

En cuanto al comportamiento reproductivo, todas las especies de signátidos son ovovivíparas y sexualmente dimórficas. Los roles sexuales están invertidos, siendo el macho quien ejerce el cuidado de los huevos y embriones. La hembra produce huevos, el macho los fertiliza y los incuba en estructuras más o menos complejas del tronco o la cola, según las especies. Según ello, los huevos/embriones pueden estar completamente expuestos al exterior o parcial o completamente encerrados en la estructura incubadora. Dependiendo de las especies pueden ser monógamos o no y en determinadas especies de peces pipa los machos pueden aceptar huevos de varias hembras a la vez, lo que no ocurre en los caballitos de mar. El desarrollo de los huevos y embriones dura entre 9 y 30 días, dependiendo de la especie. Los recién nacidos son juveniles que a menudo se asemejan a los adultos, aunque en algunos géneros existen diferencias significativas entre jóvenes y adultos (Dawson, 1986). Los juveniles suelen ser planctónicos (p. ej. caballitos de mar) o bentónicos (p. ej. *Syngnathus* spp.).

En el primer caso, los juveniles viven unas semanas en la columna de agua y posteriormente adquieren una vida bentónica, como los subadultos y adultos.

La esperanza de vida de los signátidos oscila entre tres y seis años y las tasas de mortalidad en las distintas fases del ciclo de vida son muy poco conocidas (Louire *et al.*, 2004). Como la mayoría de especies sufren depredación, siendo atunes, rayas, pingüinos y otras aves acuáticas sus depredadores más conocidos.

Los movimientos lentos y la cripsis son características importantes del comportamiento de las especies de esta familia para evitar ser depredados o para capturar sus presas (Howard & Kohen, 1985). Los signátidos son peces relativamente inactivos que utilizan la emboscada estacionaria o el enfoque lento para ver la presa (Curtis & Vincent, 2005; Kitsos *et al.*, 2008). Esta es capturada e ingerida a través de una fuerte acción de succión con el hocico tubular (Bergert & Wainwright, 1997). A causa de la ausencia de dientes, muchas presas son ingeridas intactas. El aparato digestivo es muy simple y poco eficiente, carente de verdadero estómago, lo que los obliga a alimentarse continuamente, siendo unos predadores voraces.

En las costas de Galicia se ha reportado la existencia de nueve especies de signátidos, (Bañón *et al.*, 2010; Valladares *et al.*, 2014): *Hippocampus guttulatus* Cuvier, 1829; *Hippocampus hippocampus* (Linnaeus, 1758); *Entelurus aequoreus* (Linnaeus, 1758); *Nerophis lumbriciformis* (Jenyns, 1835); *Nerophis ophidion* (Linnaeus, 1758); *Syngnathus typhle* Linnaeus, 1758; *Syngnathus acus* Linnaeus, 1758; *Syngnathus abaster* Risso, 1827. En este trabajo final de máster se estudian tres especies: el caballito de mar *Hippocampus guttulatus* y los peces pipa *Enterulus aequoreus* y *Syngnathus acus*.

La biología y características de las especies estudiadas en este trabajo, así como su estado de conservación, se detallan en el **Anexo I**.

## Aplicación de los isótopos estables (SIA) al estudio de la dieta de signátidos

Desde la década de los 60, los investigadores en ecología aplicada han explotado el potencial del análisis de isótopos pesados de  $^{15}\text{N}$  y  $^{13}\text{C}$  para analizar las cadenas tróficas. Basado en la asunción, “eres lo que comes” el análisis de isótopos estables se utiliza de forma masiva en dos tipos de estudios: (1) para identificar relaciones y posiciones tróficas de organismos (Cabana & Rasmussen, 1996; Aberle *et al.*, 2010; Sokolowski *et al.*, 2014), y (2) estudios de reconstrucción de dietas animales (Oliveira *et al.*, 2007; Baeta *et al.*, 2017). En las últimas décadas, también se emplean las firmas isotópicas de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  para para cuantificar las contribuciones isotópicas de la dieta al total del isótopo del consumidor (modelos MIX – SIAR) (Boecklen *et al.*, 2011).

El uso de isótopos estables de nitrógeno y carbono aporta información acerca de las relaciones de alimentación y energía el flujo a través de la cadena trófica ya que las firmas isotópicas (expresadas en notación  $\delta$ , ratio entre el isótopo pesado respecto al ligero en partes por mil) de los consumidores reflejan la firma isotópica de sus presas, más un factor de enriquecimiento (Peterson & Fry, 1987; Cabana & Rasmussen, 1996; Post, 2002). El enriquecimiento en isótopos pesados entre depredadores y presas se denomina fraccionamiento isotópico y su valor es consistente en todos los ecosistemas acuáticos cuando se promedia en un gran número de cadenas tróficas (Minagawa & Wada, 1984; Vander Zanden & Rasmussen, 2001; Post, 2002). La constancia del fraccionamiento trófico se puede utilizar como una herramienta para calcular la posición trófica (es decir, la cuantificación del uso relativo de diferentes recursos tróficos) de cada especie o compartimiento de ecosistema analizado (Vander Zanden & Rasmussen, 2001; O'Reilly *et al.*, 2002; Post, 2002). Aunque estudios recientes han demostrado que no es así, especialmente en los niveles inferiores de la cadena trófica (Nelson *et al.*, 2011).

El estudio de las cantidades de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  acumuladas en los tejidos animales, permite analizar la estructura de la cadena alimentaria y las relaciones tróficas existentes, ya que aporta información sobre el alimento que el consumidor ha asimilado, integrado en el tiempo (Post, 2002; Vizzini & Mazzola, 2004; Vizzini *et al.*, 2013). Asimismo, posibilita cuantificar la eficacia en la transferencia trófica a través de los sucesivos niveles, es decir la proporción de presa que se convierte en producción de consumidor, por ejemplo, mediante la corrección con la biomasa corporal (Jennings *et al.*, 2002). La determinación de la posición trófica de una especie requiere el uso de una medida isotópica de referencia, denominada línea de base, que debe estar próxima a la base de la cadena trófica (Post, 2002).

En el caso particular del isótopo de  $^{15}\text{N}$ , el fraccionamiento de  $\delta^{15}\text{N}$  del consumidor con respecto a su dieta aumenta progresivamente según se asciende en la cadena trófica, variando un 3 – 4% (DeNiro & Epstein, 1981; Minagawa & Wada, 1984; Peterson & Fry, 1987; Cabana & Rasmussen, 1994). La causa principal de este fraccionamiento es la acumulación de  $^{15}\text{N}$  en los tejidos, debido a la discriminación positiva que tiene el metabolismo por el nitrógeno ligero  $^{14}\text{N}$ , que se elimina en el ciclo de la urea (Peterson & Fry, 1987).

Como consecuencia de la incorporación de  $\delta^{15}\text{N}$ , las ratios del isótopo estable en los tejidos de los consumidores sirven como indicador de la posición trófica integrada en el tiempo, según los flujos de energía predominantes del metabolismo, que presenta el consumidor con respecto a su presa (DeNiro & Epstein, 1981; Vander Zanden & Rasmussen, 2001; Post, 2002).

En cuanto al isótopo de  $^{13}\text{C}$ , la firma isotópica de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) aporta información sobre la fuente de energía primaria u origen de la fuente de C (p. ej. bentos vs fotosíntesis pelágica) (DeNiro & Epstein, 1978; Post, 2002). Los productores primarios terrestres, presentan un importante enriquecimiento en  $^{13}\text{C}$  con respecto a los marinos, debido a las rutas fotosintéticas y

las diferentes ratios de difusión del CO<sub>2</sub> en los ecosistemas terrestres vs acuáticos (en los ecosistemas acuáticos la fotosíntesis se ve limitada por el grado de disolución del CO<sub>2</sub> en agua) (France, 1995). El marcado sesgo en contra del <sup>13</sup>C en la producción oceánica (valores más negativos) contrasta fuertemente con los ecosistemas marinos costeros, donde se cuenta con aportes de materia orgánica de origen terrestre (por lo tanto, enriquecida en <sup>13</sup>C) (France, 1995; Finlay, 2001). Debido a ello, el análisis de la firma isotópica de carbono aporta información sobre la fuente de producción primaria predominante, especialmente en los niveles más bajos de la cadena trófica.

El fraccionamiento del carbono entre el consumidor y su dieta, oscila entre 0,5 – 1,1‰ en ecosistemas marinos (France & Peters, 1997; Vander Zanden & Rasmussen, 2001). Esta diferencia se debe a varias causas, entre ellas el metabolismo del organismo (producción de lípidos y proteínas) o, en el caso de los organismos calcáreos la incorporación de fuentes de DIC (carbono inorgánico disuelto) de origen no fotosintético.

El uso de las técnicas SIA, para determinar los flujos de energía y materia a través de las cadenas tróficas, implica tener en cuenta todas las fuentes de variabilidad que influyen sobre la firma isotópica del consumidor con respecto a la firma isotópica de su dieta. Para más inri, una de las fuentes de variabilidad es la propia composición de la dieta. La mayoría de las dietas naturales implican el consumo de más de una fuente de alimento, que a su vez se puede alimentar de varias fuentes distintas. A ello hay que añadirle la variabilidad ambiental que influye sobre todas las dietas naturales, tanto espacial (Deudero *et al.*, 2004) como la temporal, así como el tipo de tejido considerado (Vander Zanden & Rasmussen, 1999; Caut *et al.*, 2009) ya que dependiendo del tipo de tejido empleado la composición isotópica puede variar.

## Objetivos

En el presente trabajo se han analizado los perfiles isotópicos de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  en peces signátidos y grupos de epifauna asociados a la cobertura algal en tres zonas del archipiélago de las Islas Cíes, con los siguientes objetivos:

1. Estudiar las características biológicas e isotópicas de las poblaciones de signátidos en el archipiélago.
2. Analizar la variabilidad isotópica espacio-temporal y su relación con la variabilidad de las comunidades de epifauna.
3. Determinar la posición trófica de las especies de signátidos identificadas en el archipiélago.

En el estudio también se pretende analizar la existencia de diferencias isotópicas inter-específicas e intra-específicas, tanto en los peces signátidos como en la epifauna asociada a comunidades vegetales, con base a los siguientes factores:

### a) Estacionalidad

En las latitudes medias, la estacionalidad es una fuente de variabilidad ambiental muy potente que actúa mediante cambios en los regímenes de luz y temperatura, regulando la producción primaria (sucesión de especies). Las fluctuaciones en la producción primaria afectarán a los escalones tróficos superiores (consumidores primarios y secundarios).

Las rías gallegas están localizadas en el límite norte del afloramiento de las Islas Canarias y, como consecuencia del ciclo anual de eventos de afloramiento – hundimiento, se ven muy influenciadas por el hidrodinamismo. En la ría de Vigo, cuando los vientos dominantes son del norte, en los meses de primavera y verano, el transporte de Ekman produce el empuje de la capa de agua superficial hacia la plataforma continental, fenómeno que se conoce como afloramiento costero. Este fenómeno constituye el evento de fertilización por excelencia de las aguas de la ría, al importar desde la plataforma aguas frías ricas en nutrientes. En el periodo restante del año (otoño e invierno), los vientos predominantes tienen componente sur, arrastrando la capa superficial del agua de mar hacia el noroeste, de tal modo que el transporte de Ekman creado produce una convergencia o apilamiento del agua contra la costa, favoreciendo el hundimiento de las aguas superficiales (Rosón *et al.*, 2008).

A mayores de la variabilidad estacional a nivel de productores primarios, algunas especies de signátidos presentan migraciones estacionales relacionadas con la época de reproducción (Monteiro *et al.*, 2006), que se sitúa en primavera y verano. Es posible que las migraciones influyan en la variabilidad de los niveles isotópicos de los signátidos.

### b) Zona de muestreo

Una de las causas de la vulnerabilidad de los peces signátidos reside en la estrecha asociación que mantienen con las comunidades vegetales (Lourie *et al.*, 2004), que les proveen de alimento y refugio. La elección del archipiélago de las Islas Cíes como zona de estudio se debió a que forma parte del Parque Nacional Marítimo Terrestre de las Islas Atlánticas (PNIA). La elección también se basó en cuestiones de logística, dada su cercanía a la ciudad donde tiene la sede el Instituto de Investigaciones Marinas (IIM-CSIC). En el primer año de estudio (OAPN, 2016) se analizó la distribución general y los hábitats de los peces signátidos de las islas Cíes, a partir de cuyos resultados se seleccionaron 3 zonas en las que se realizó un seguimiento bianual (2017 - 2018) tanto del hábitat como de la epifauna y de las poblaciones de signátidos.

c) Sexo y estado sexual

Debido al inusual comportamiento sexual de esta familia de peces cabría esperar que hembras y machos presenten diferentes comportamientos predatorios, tal como se ha puesto de manifiesto en los peces pipa *Syngnathus fucus* (Roelke & Sogard, 1993) o *Syngnathus folletti* (García *et al.*, 2005).

Es probable que los machos presenten un descenso en la capacidad predatora respecto a las hembras, ya que son las hembras las que realizan la mayor inversión en la reproducción (Steffe *et al.*, 1989). A su vez, también cabría esperar que las hembras ovígeras presenten diferencias en su composición isotópica respecto a las inmaduras, al tener que invertir energía en producir los huevos.

d) Tamaño corporal

El tamaño corporal es una importante característica de los organismos animales que se emplea en ecología para describir la estructura trófica de comunidades y ecosistemas marinos (Jennings *et al.*, 2001; Deudero *et al.*, 2004). Estudios previos en cadenas tróficas pelágicas han mostrado que una amplia fracción de la varianza total en los perfiles de los isótopos estables en organismos acuáticos, desde plancton hasta consumidores secundarios, como peces, se debe al tamaño corporal del organismo (Bode *et al.*, 2003).

Los tiempos dedicados a cada parte del trabajo se muestran de forma gráfica en el cronograma inferior (**tabla 1**).

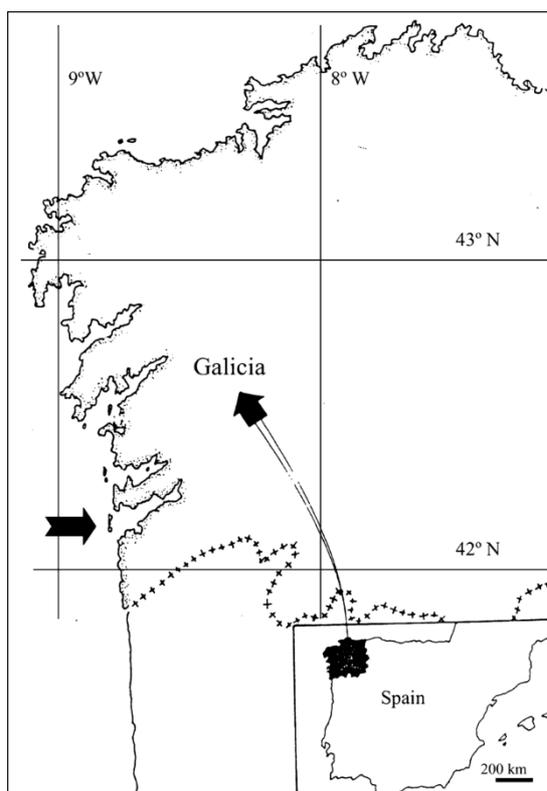
**Tabla 1.** Cronograma de trabajo. Las tareas de laboratorio y análisis de datos se explican con detalle en el apartado de Material y métodos. En concreto las tareas de laboratorio se realizaron en los fines de semana de los meses de febrero, marzo y abril. Bibliografía: incluye todas las búsquedas bibliográficas que se realizaron, tanto para las tareas formativas como para la redacción de la memoria.

TAREA	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Laboratorio	■								
Análisis de datos				■					
Bibliografía		■							
Redacción						■			

## Material y métodos

### 1. Área de estudio

El estudio se realizó en el litoral oriental del Archipiélago de las Islas Cíes, perteneciente al Parque Nacional Marítimo de las Islas Atlánticas (PNIA), al suroeste de Galicia (España). El archipiélago se localiza a 13 kilómetros de la ciudad de Vigo, en la boca de la Ría de Vigo. El archipiélago lo constituyen tres islas: Faro y Monte Agudo al norte, unidas por un banco de arena, y San Martiño al sur (**fig. 4**). Desde 2017, el archipiélago está en proceso de solicitar convertirse en Patrimonio de la Humanidad, a petición del gobierno local y de la Xunta de Galicia. Fue declarada EPA (Zona de Especial Protección para las Aves) en 1988 y LIC (Lugar de Importancia Comunitaria) en 2001.



**Fig. 4.** Localización de la zona de estudio. La flecha de la izquierda señala la posición del Archipiélago de las Islas Cíes, en la boca de la Ría de Vigo. Fuente: Modificado de Darriba *et al.* (2005).

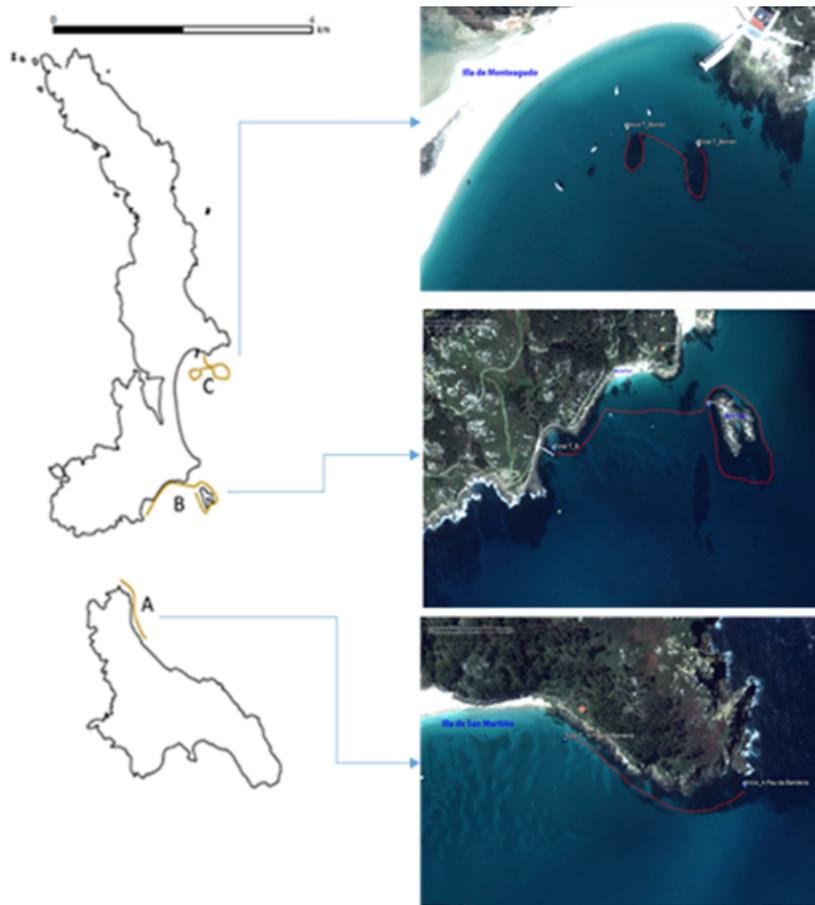
En el archipiélago destaca la gran diversidad del ambiente costero. Los empinados taludes del lado oceánico occidental, con altos acantilados que rematan en el Atlántico, contrastan con el suave aspecto del lado oriental donde la costa está protegida de las olas, predominando el ambiente sedimentario.

La Ría de Vigo es un ecosistema costero de alta productividad biológica y de gran importancia económica. La hidrografía y la dinámica están lideradas por el afloramiento, un fenómeno ligado al viento que afecta a las características físicas (temperatura y salinidad) y químicas (nutrientes, oxígeno) del agua marina. Este es un evento recurrente de fertilización del agua marina, transportando nutrientes oceánicos hacia las aguas superficiales de la ría (Rosón *et al.*, 2008).

## 2. Trabajo de campo

### 2.1. Zonas de muestreo

En 2017 se muestrearon tres zonas en la cara interna del archipiélago: A - Pau de Bandeira, B - Islote de Viños y Carracido y C - Borrón (**fig. 5**). Las tres localizaciones fueron elegidas para el seguimiento temporal a partir de los resultados del estudio general realizado en 2016 (OAPN, 2016, 2017). Dichas zonas se seleccionaron por ser las más apropiadas para un estudio de seguimiento poblacional de peces signátidos debido a la presencia de comunidades de macroalgas generadoras de hábitat para esta familia de peces.



**Fig. 5.** Ubicación de las zonas de muestreo – A, B, C – seleccionadas para este estudio. Derecha: Fotografías aéreas de los transeptos muestreados. Fuente: proyecto Hippoparques.

La cobertura vegetal en las zonas de estudio incluye algas coralinas (*Corallina officinalis*, *Lithophyllum hibernicum*, *L. incrustans*), *Codium* spp. y especies de praderas marinas (*Chondracanthus acicularis* y *C. teedei*) en Pau de Bandeira. Viños y Carracido presentan comunidades algales representadas por *Laminaria ochroleuca*, *Codium* spp., *C. acicularis*, *C. teedei*, así como algas coralinas, mientras que el Borrón se caracteriza por la presencia de *Cystoseira* spp. y de algas coralinas (**fig. 6**). Estas comunidades de macroalgas fueron estudiadas en 2016 a partir de unidades cuadradas de muestreo (0.5x0.5m) (OAPN, 2016, 2017).



**Fig. 6.** Fotografías de las principales especies que conforman las comunidades algales de las zonas de estudio. Fuente: Proyecto Hippoparques.

En lo referente a la composición del fondo, el transecto de la zona A (Pau de Bandeira) transcurre por un fondo blando, con presencia de megarripias, compuesto por arena gruesa con alto contenido en  $\text{CaCO}_3$  y con presencia de una zona rocosa en las proximidades de la costa. La zona B (Islote de Viños y Carracido), en su parte más profunda, presenta un fondo fangoso – arenoso que conforme al disminuir la profundidad pasa a estar dominado por arena y cascajo, sin formas de fondo mayores. Finalmente, la zona C (Borrón, **fig. 7**) presenta un fondo mixto, rocoso – arenoso, con arena de tamaño medio-fino.



**Fig. 7.** Ejemplar macho de *Hippocampus guttatus* en fondo de roca con arena y algas (*Cystoseira baccata*, *Padina pavonica* y *Codium tomentosum*) de la zona C (Borrón) en septiembre 2016. Fuente: Proyecto Hippoparques.

## 2.2. Muestreos

Los muestreos se realizaron mediante inmersiones con botella en primavera, verano y otoño de 2017, realizándose dos visitas estacionales en cada zona (**tabla 2**). El trabajo de campo se realizó por la mañana y consistió en inmersiones de 1 hora de duración de dos grupos de buceadores (2-3 personas por grupo), respaldadas por una embarcación de apoyo. En cada zona, se recogieron estacionalmente 3-4 muestras de sedimento para el análisis de granulometría y contenido en carbonatos.

**Tabla 2.** Características de los transectos (A – Pau de Bandeira; B – Illote de Viños – Carracido; C – Borrón) muestreados en 2017 (OAPN, 2017). Z, profundidad.

ID transecto	Localidad	Fecha	Hora (GMT+1)	Z máx. (m)	Z mín. (m)	Altura marea (m)
<b>PRIMAVERA</b>						
A	Pau da Bandeira	08/05/2017	12:15	8	5	2
A	Pau da Bandeira	09/05/2017	12:00	7,8	4,9	1,8
B	Illote Viños	25/04/2017	09:45	11	5	0,5
B	Illote Viños	18/05/2017	10:15	11	5	2,8
C	Borrón	08/05/2017	10:00	7,5	4	0,9
C	Borrón	09/05/2017	10:15	7,4	4	0,8
<b>VERANO</b>						
A	Pau da Bandeira	19/07/2017	11:30	8	5	2,8
A	Pau da Bandeira	20/07/2017	12:00	7,8	4,9	2,8
B	Illote Viños	11/07/2017	09:45	11	5	0,9
B	Illote Viños	12/07/2017	09:50	11	5	0,9
C	Borrón	19/07/2017	08:45	8	5	1,50
C	Borrón	20/07/2017	09:00	8	5	1,45
<b>OTOÑO</b>						
A	Pau da Bandeira	31/10/2017	13:08	9	5	3
A	Pau da Bandeira	05/12/2017	13:15	8	5	1,5
B	Illote Viños	27/10/2017	11:14	11	5	2,5
B	Illote Viños	03/12/2017	09:45	11	5	0,9
C	Borrón	31/10/2017	10:43	8	5	2,5
C	Borrón	05/12/2017	10:48	7,5	4	0,4

### 2.2.1. Peces Signátidos

Los ejemplares de Signátidos localizados en las inmersiones (**fig. 8**) mediante censo visual se capturaron a mano y se introdujeron individualmente en bolsas numeradas que posteriormente se llevaron a bordo de la embarcación de apoyo para su análisis en tierra. Todos los ejemplares fueron pesados en una balanza ( $\pm 0,01$ g) y fotografiados sobre papel milimétrico (**fig. 8**), para el análisis posterior de longitud mediante el software de procesamiento de imagen NIS-Elements (Nikon®). Antes de ser manipulados, los ejemplares fueron anestesiados (MS-222; 0,1 gr/L). En cada ejemplar se tomaron dos pequeñas porciones de tejido de la aleta dorsal (Planas *et al.*, 2008; Valladares & Planas, 2012) para análisis genético (no incluido en este estudio) y de isótopos estables. Una vez obtenidas otras características como sexo y la madurez sexual, se procedió a marcar cada ejemplar con elastómeros fluorescentes

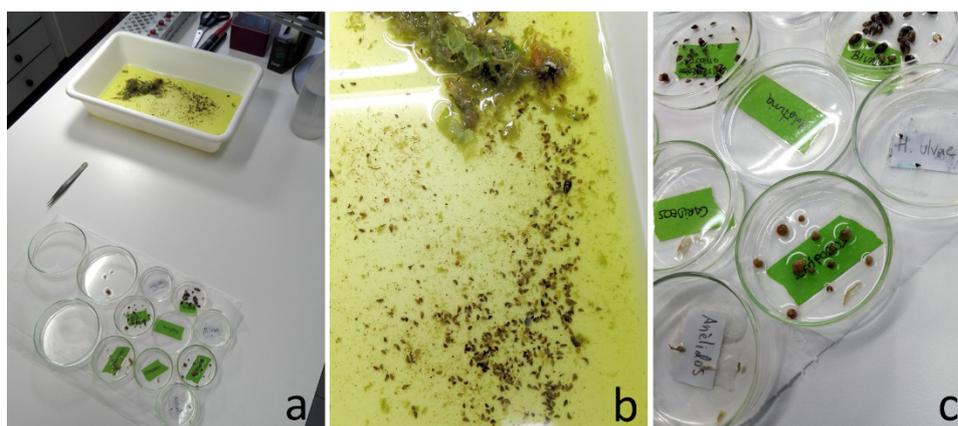
(VIFE, Northwest Marine Technology, Inc., USA) para futuras identificaciones. Finalmente, los ejemplares fueron devueltos a sus localizaciones de captura.



**Fig. 8.** Fotografías de los peces signátidos, tomadas durante los muestreos. Izquierda, individuos recién nacidos de *Syngnathus acus*; derecha, ejemplar de *Hippocampus guttulatus*. Fuente: Proyecto Hippoparques.

### 2.2.2. Flora y epifauna

Con el objetivo de caracterizar la epifauna asociada a los hábitats de signátidos, estudiados se recogieron entre tres y cuatro ejemplares completos de macroalgas características de cada hábitat (*Asparagopsis armata*, *Codium* sp., *Cystoseira baccata*). Las muestras se recogieron en bolsas de nylon de 100µm de luz de malla y se almacenaron en recipientes conteniendo etanol 95%. También se tomaron muestras de Misidáceos en la columna de agua de cada zona. Todo el material se trasladó al laboratorio para su posterior procesado (recuento e identificación) (**fig. 9**). En cada zona de estudio se establecieron 3 subzonas, donde ser realizaron los muestreos algales y de epifauna asociada.



**Fig. 9.** Procesado de muestras de epifauna. De izquierda a derecha: a, detalle de la zona de trabajo donde se aprecia la epifauna de una muestra separada por taxones; b, ejemplar de macroalga y epifauna asociada conservados en alcohol 95%; c, detalle de la epifauna separada por taxones (OTUS). Fuente: Proyecto Hippoparques.

### 3. Trabajo de laboratorio

#### 3.1. Taxonomía y banco de epifauna

En las instalaciones del Instituto de Investigaciones Marinas de Vigo (IIM – CSIC), cada muestra algal se lavó cuidadosamente con agua de mar recogiendo la fauna sobre una malla de 120 $\mu$ m y conservándose en frío (4°C) en botes herméticos conteniendo etanol 95%.

La identificación taxonómica de la epifauna corrió a cargo de Laura Iglesias (Iglesias, 2018), previa separación, agrupación taxonómica (nivel más bajo posible) y conservación de los grupos taxonómicos (OTUS, unidades taxonómicas operativas) en tubos con etanol al 95%.

Una vez finalizado el trabajo de identificación se creó un banco de muestras de epifauna compuesta por submuestras representativas de cada OTUS. Dicho banco se mantiene por el Grupo de Biología y Fisiología Larvaria de Peces (IIM-CSIC) con el objetivo de que pueda ser puesto a disposición de investigadores interesados.

#### 3.2. Análisis de isótopos estables – SIA.

De entre los 84 taxones identificados se seleccionaron 24 OTUS (**Anexo II, tabla 1**), cuya abundancia fue superior al 2%, para el análisis de isótopos estables (SIA) de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  (**fig. 10**).

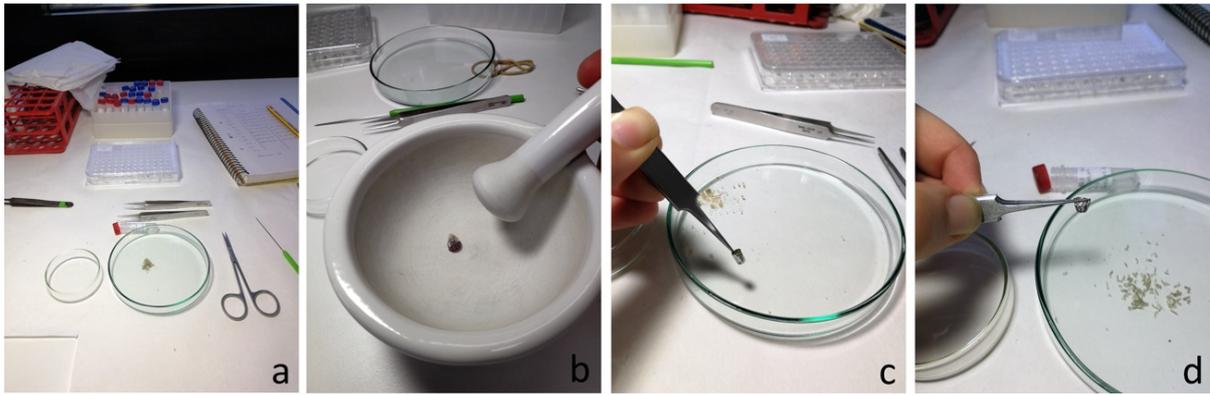


**Fig. 10.** Procesado de las muestras de epifauna para el análisis de isótopos estables por la autora de este TFM.

Para el estudio de la variación estacional (primavera, verano, otoño) e interzonal (zonas A, B, C) se analizaron nueve muestras (3 estaciones anuales y 3 zonas de muestreo) de cada OTUS.

Las muestras de epifauna, previamente conservadas en etanol 95% y refrigeradas, se secaron en estufa a 60°C, durante un mínimo de 72h. Los OTUS de cada muestra se procesaron de manera individual (**fig. 11**), homogeneizándose los tejidos de los individuos enteros. En el caso de gasterópodos y bivalvos se retiró manualmente la estructura inorgánica, para que no interfiriese con los resultados de carbono.

Una alícuota de cada homogeneizado (~2mg) se introdujo en cápsulas de estaño, previamente pesadas. Seguidamente las cápsulas se cerraron, se pesaron nuevamente, se colocaron en una placa ELISA de 96 pocillos (**fig. 11**) y se mandaron a analizar.



**Fig. 11.** Procesado de muestras de epifauna para SIA. De izquierda a derecha: a, detalle de la mesa de trabajo; b, detalle del proceso de separación de la concha en un gasterópodo; c y d, detalle del rellenado y cierre de las cápsulas de estaño, al fondo de la imagen se aprecia la placa de ELISA.

Las muestras de aleta dorsal de los Signátidos fueron analizadas, siguiendo el método propuesto por Valladares & Planas (2012). Esta metodología minimiza el impacto sobre las poblaciones naturales, al no tener que sacrificar a los animales para extraerles tejidos internos. Por otro lado, permite un seguimiento posterior de los peces debido a la capacidad de regeneración de la aleta.

Los análisis de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  y la composición elemental en C y N se realizaron en Servicios de Apoyo a Investigación (SAI) de la Universidad de A Coruña mediante espectrometría de masas en flujo continuo (IR - MS). La abundancia estable de cada isótopo se expresa en notación  $\delta$  como una diferencia en tanto por mil con respecto a un estándar internacional (Belemnite de Viena PeeDee para carbono, aire para nitrógeno), que indica el agotamiento o enriquecimiento del isótopo pesado en relación con el isótopo liviano en la siguiente ecuación:

$$\delta X = \left( \frac{R_{\text{muestra}}}{R_{\text{standard}}} - 1 \right) * 10^3$$

Donde X corresponde a  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  y R es la relación correspondiente de  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  o  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ . También se calculó la relación C/N a partir de los datos porcentuales de ambos isótopos.

### 3.3. Cálculo del nivel trófico

Para determinar el nivel trófico al que pertenece cada uno de los organismos estudiados (Signátidos y OTUS seleccionados de epifauna) se aplicó la ecuación desarrollada por Post (2002):

$$\frac{\lambda + (\delta^{15}\text{N}_{\text{consumidor secundario}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{base}})}{\Delta_n}$$

Dónde  $\lambda$  es la posición trófica del organismo empleado como  $\delta^{15}\text{N}_{\text{base}}$ , en este estudio se utilizó la especie de bivalvo *Musculus costulatus*, siendo  $\lambda = 2$  (niveles tróficos entre organismo de la línea de base y consumidor) y  $\Delta_n$  es el enriquecimiento de  $\delta^{15}\text{N}$  por nivel trófico. En el enriquecimiento de  $\delta^{15}\text{N}$  por nivel trófico se consideró un valor de 3,4‰ (Minagawa & Wada, 1984; Cabana & Rasmussen, 1996; Post, 2002). Se trata un valor genérico

que se debería determinar para cada especie, pero se carece de los valores concretos para especies de Signátidos. Tanto para el cálculo del  $\delta^{15}N_{consumidor\ secundario}$  como para el cálculo de  $\delta^{15}N_{base}$  se emplearon los valores promedio de las estaciones y las zonas, con el fin de obtener la firma isotópica del individuo integrando la escala espacial y temporal.

### 3.4. Análisis estadístico

Para determinar las variaciones estacionales y zonales en los valores de isótopos estables de  $\delta^{15}N$  y  $\delta^{13}C$  y en otras características de los peces signátidos (talla, sexo, estado de madurez sexual), se realizaron análisis de la varianza, univariantes y multivariantes (ANOVA y MANOVA), considerándose las diferencias se consideraron significativas cuando  $P < 0.05$ . Previamente al análisis de la varianza se confirmó si los datos cumplían los requisitos para realizar este tipo de análisis (variables cuantitativas, independencia entre los grupos, homocedasticidad, distribución normal).

En los análisis de la varianza se estudiaron los efectos principales. Cuando se consideró necesario se aplicaron test de los efectos simples para descartar posibles errores en la interacción de los efectos principales.

Los factores empleados en MANOVA fueron los siguientes: (1) talla, (2) estación anual y (3) zona de muestreo, pues uno de los objetivos principales del presente estudio es el seguimiento espacio-temporal; (4) género (macho o hembra), para establecer las posibles diferencias inter-sexos; y por último (5) estado sexual, con el propósito de determinar posibles diferencias entre hembras inmaduras y ovígeras y machos inmaduros y machos preñados.

Todos los estadísticos empleados, así mismo como algunos gráficos se realizaron con el programa SPSS Statistics®. Para el cluster de similitud single linkage se empleó el programa Past 3.21®.

Todos los procedimientos y análisis fueron realizados en el Grupo de Biología y Fisiología Larvaria de Peces del Instituto de Investigaciones Mariñas (IIM - CSIC, Vigo), bajo la supervisión del Dr. Planas Oliver, mentor de este TFM y coordinador del proyecto Hippoparques (Organismo Autónomo de Parques Nacionales, referencia 1541S/2015), en el que se enmarca este estudio.

### 3.5. Bioética

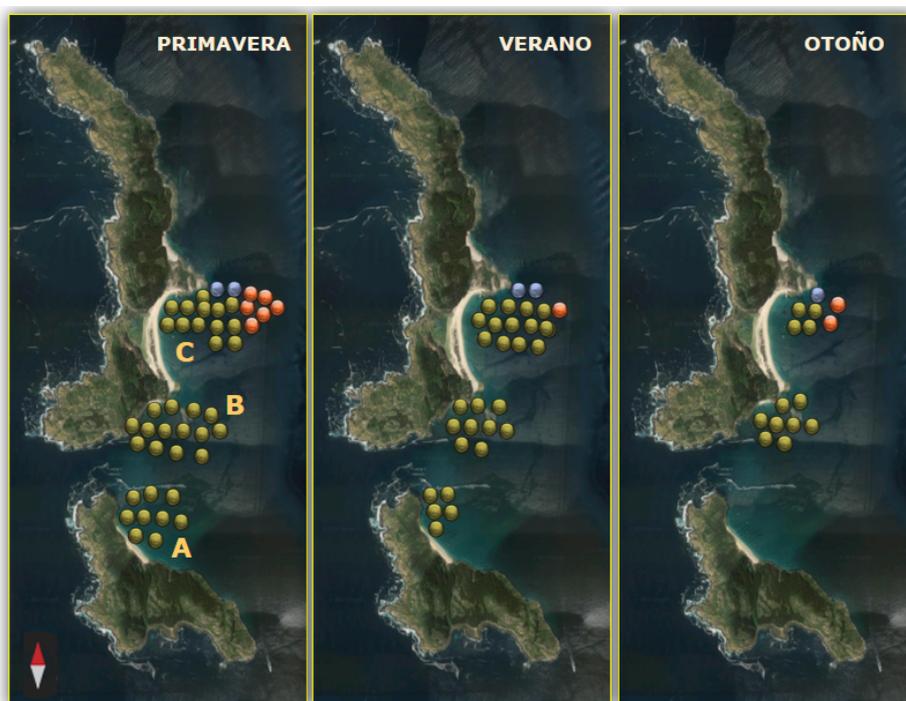
La captura, el manejo y el muestreo de los animales se realizaron de acuerdo con las normas bioéticas sobre experimentación animal del Gobierno español (Real Decreto 1201/2005, 10 de octubre) y del gobierno regional de la Xunta de Galicia (REGA Ref. REGA ES360570202001/16/FUN/BIOL.AN/MPO02).

## Resultados

### A. Signátidos

En los muestreos realizados en 2017 se contabilizaron un total de 85 individuos, pertenecientes a tres especies: *Hippocampus guttulatus* (7 ejemplares; 5 hembras, 2 machos), *Entelurus aequoreus* (5 ejemplares; 4 hembras, 1 macho) y *Syngnathus acus* (73 ejemplares; 52 hembras, 21 machos).

La zona de muestreo donde se avistó el mayor número de ejemplares fue la zona C (50% de las capturas), seguida por las zonas B (35%) y A (15%). En cuanto a la variación estacional, la época del año con más avistamientos fue la primavera. En verano se redujo el número de ejemplares, tendencia que se intensificó en otoño, hasta tal punto que no llegó a avistarse ejemplar alguno en la zona A (**fig. 12**).



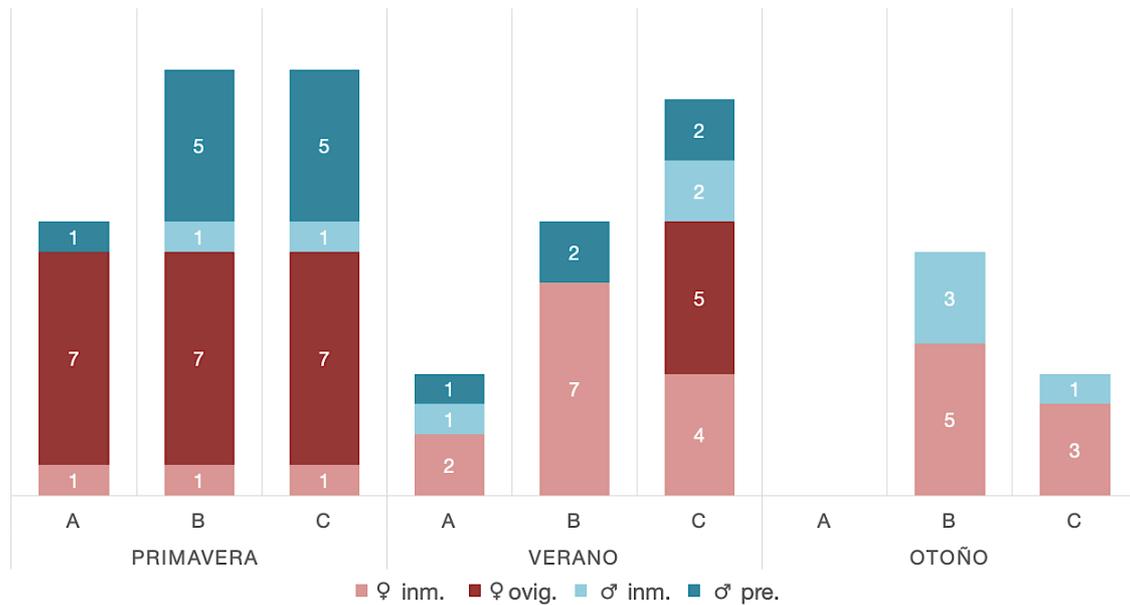
**Fig. 12.** Capturas efectuadas en los muestreos de primavera, verano y otoño de 2017, en las tres estaciones (A, B y C) muestreadas. Cada círculo representa un ejemplar de *Hippocampus guttulatus* (rojo), *Entelurus aequoreus* (azul) y *Syngnathus acus* (verde).

A la vista del reducido número ( $n < 30$ ) de ejemplares avistados de *H. guttulatus* y *E. aequoreus*, el estudio se ha centrado fundamentalmente en el pez pipa *S. acus*.

En el total de capturas de *S. acus* (52 hembras, 21 machos) se observó una mayoría de hembras ( $n=52$ ), la mayoría de las cuales fueron ejemplares inmaduros (no ovígeras) (57%); en los machos ( $n=21$ ) predominó la presencia de ejemplares preñados (71%).

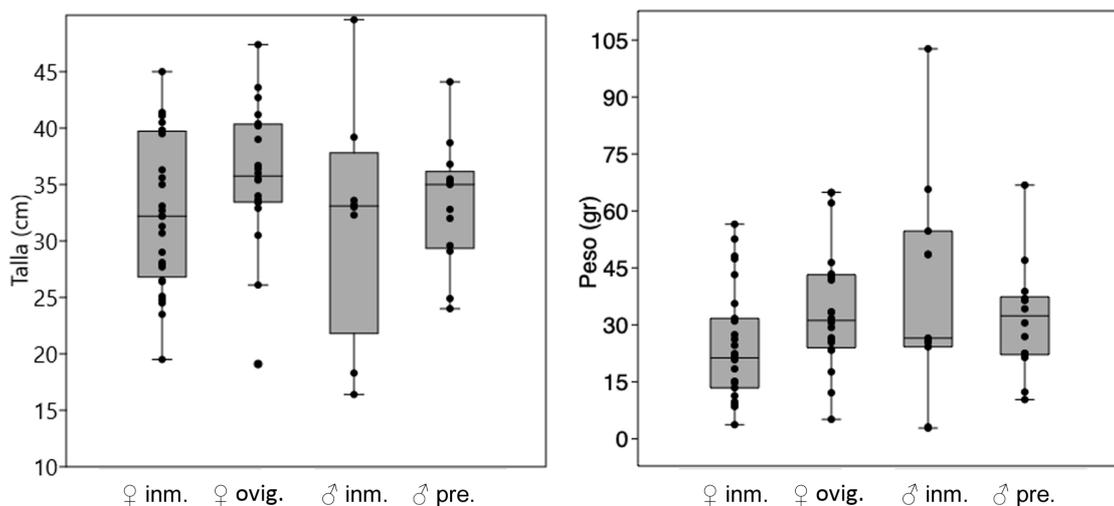
En lo referente a la variación estacional (**fig. 13**), en los meses de primavera (abril – mayo) dominó la presencia de hembras ovadas (56,76% de la población total) y machos preñados (29,73%). En verano (julio) se encontraron 2 hembras ovadas, siendo mayoría (50%) las hembras no ovadas, mientras que en machos continuó la dominancia de los ejemplares

preñados (19,23%). En los muestreos de otoño (octubre – noviembre) solamente se encontraron ejemplares inmaduros.



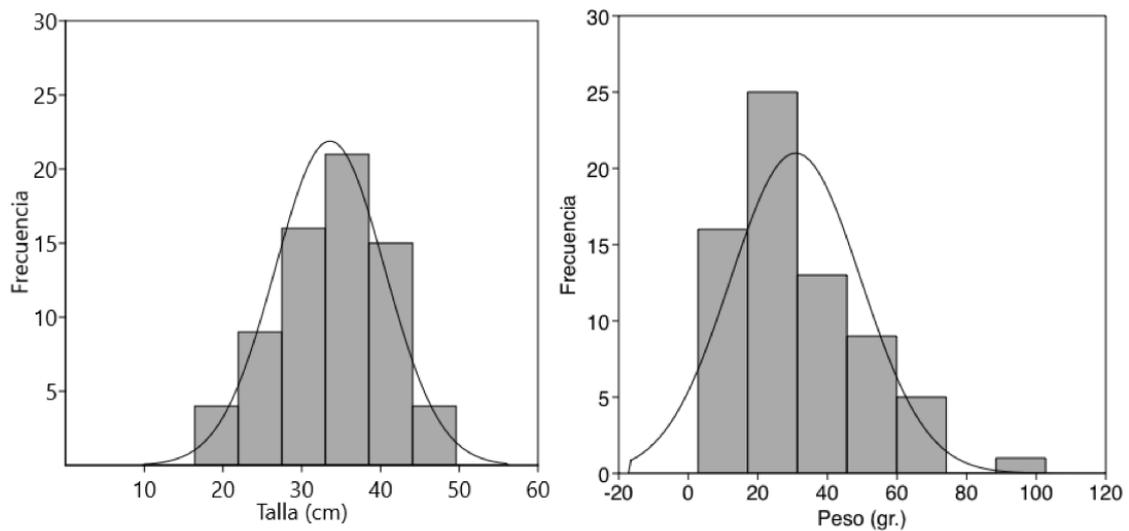
**Fig. 13.** Capturas de *Syngnathus acus*, distribuidas por estado sexual, en las zonas y estaciones muestreadas en 2017. ♀ inm., hembras inmaduras; ♀ ovig., hembras ovígeras; ♂ inm., machos inmaduros; ♂ pre., machos preñados. En el eje y, número de individuos.

Analizando la estructura de la población global de *Syngnathus acus*, los ejemplares capturados presentaron un rango de tamaños que oscilaba entre los 16,4 – 49,6 cm (**fig. 14**), con presencia muy dominante de ejemplares de gran talla. Las tallas de ejemplares sexualmente maduros oscilaron entre 29 y 44 cm en machos y entre 19 y 47 cm en hembras. El rango de pesos registrado fue mucho más amplio (2,80gr. – 102,70gr.) (**fig. 14**).



**Fig. 14.** Estructura de tallas (izquierda) y pesos (derecha) de *Syngnathus acus* en función del estado sexual. ♀ inm., hembras inmaduras; ♀ ovig., hembras ovígeras; ♂ inm., machos inmaduros; ♂ pre., machos preñados.

Las tallas y los pesos de los ejemplares capturados de *S. acus* se analizaron, en relación con la estación anual de muestreo, la zona de muestreo y el estado sexual, mediante un análisis múltiple de la varianza (MANOVA). Para ello se comprobó previamente el ajuste a la distribución normal (test de Kolmogorov – Smirnov) (**fig. 15**). En el caso de la talla no se observaron diferencias significativas en ninguno de los factores estudiados: estación ( $P=0,8$ ), zona ( $P=0,12$ ) y estado sexual ( $P=0,94$ ). Las diferencias tampoco fueron significativas cuando se aplicó el MANOVA para el peso (gr.) de los ejemplares ( $P=0,59$  en el caso de la estación;  $P=0,23$  para la zona;  $P=0,75$  en el caso del estado sexual).



**Fig. 15.** Distribución de tallas (izquierda) y pesos (derecha) en *S. acus*, acotadas a la normal.

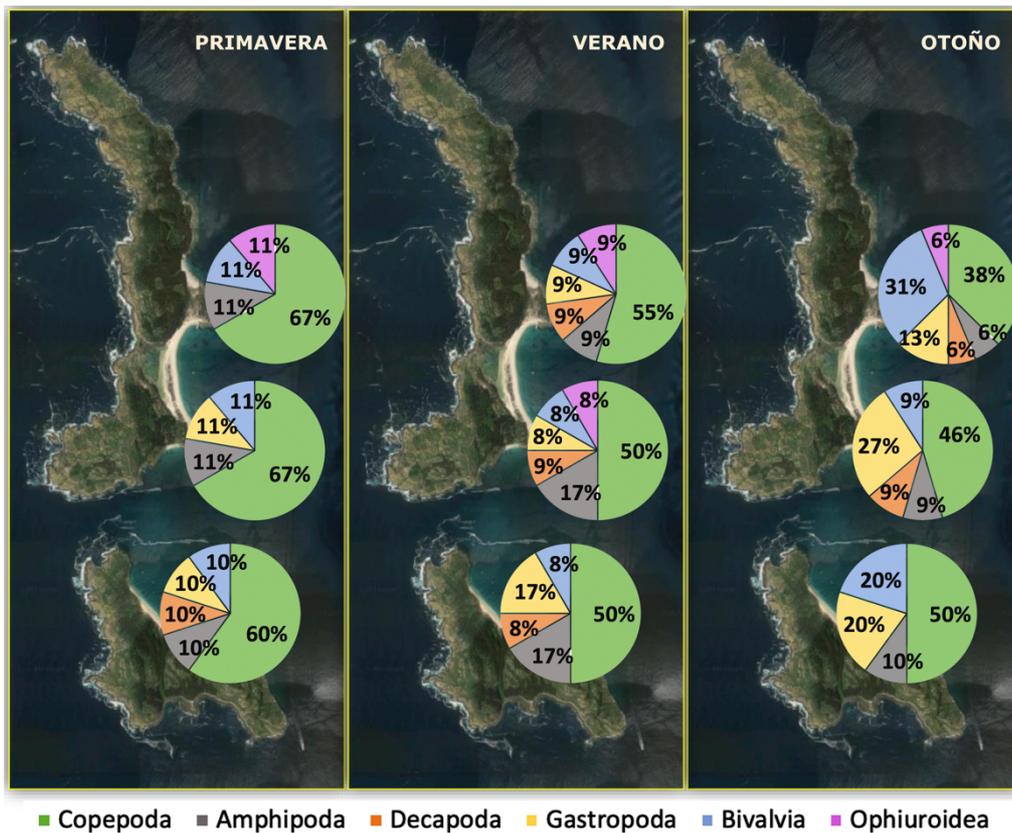
## B. Epifauna

Entre toda la epifauna recolectada en el archipiélago de las Islas Cíes durante el año 2017 se identificaron 84 unidades taxonómicas operativas (OTUS) (**ANEXO II, tabla 1**). De los grupos identificados por Iglesias (2018) se seleccionaron 24 de ellos, por ser los que representaban una abundancia superior al 2%, además de ser identificados como posibles presas potenciales de los peces signátidos (**tabla 3**).

**Tabla 3.** Relación de Unidades Taxonómicas Operativas (OTUS) seleccionados en este trabajo clasificados por el taxón más próximo. Se indica presencia o ausencia por cada zona y estación de muestreo.

TAXA	OTUS	Presencia/Ausencia								
		Primavera			Verano			Otoño		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
Copepoda	Orden Harpacticoida	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Amphipoda	<i>Caprella acanthifera</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	<i>Amphilochus manudens</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	<i>Apherusa spp.</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	<i>Corophium spp.</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Decapoda	<i>Hippolyte varians</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	<i>Porcellana platycheles</i>	x	x	x		x	x			x
Isopoda	<i>Cymodoce truncata</i>	x	x	x	x	x	x	x		x
	<i>Dynamene bidentata</i>	x	x	x		x	x	x	x	x
Mysidacea	<i>Siriella armata</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Pycnogonida	<i>Endeis spp.</i>	x	x	x	x	x	x	x		x
Gastropoda	<i>Elysia spp.</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	<i>Peringia ulvae</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	<i>Tricolia pullus</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	<i>Calliostoma zizyphinum</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Bivalvia	Familia Mytilidae	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	<i>Irus irus</i>		x	x	x		x	x	x	x
	<i>Musculus costulatus</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Polychaeta	Familia Nereididae	x	x	x			x	x	x	x
	Familia Polynoidae	x	x	x		x	x		x	x
Platyhelminthes	<i>Stylochoplana maculata</i>	x	x	x	x		x	x	x	x
Ophiuroidea	<i>Amphipholis squamata</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Holothuroidea	<i>Aslia lefevrei</i>	x	x	x	x	x	x			
Infraorden Teleostei	Infraorden Teleostei									x

Con el fin de simplificar y resaltar la información más interesante en la **fig. 18** se indican las abundancias relativas de los taxones más representativos de la epifauna en función de su distribución espacial y estacional. La abundancia de cada OTUS, por unidad algal en las zonas de muestreo y las estaciones anuales, se obtuvo asignando valores de 1 a 6, dónde cada unidad equivale a un número de 50 individuos.



**Fig. 18.** Frecuencia relativa de los seis grupos de epifauna dominantes en cada estación (primavera, verano, invierno) y zona de muestreo (A, B, C) según los muestreos realizados en 2017 en el archipiélago de las Islas Cíes.

El grupo más representado, considerando su abundancia relativa, fue el de los copépodos (Orden Harpaticioidea) (38-67%), seguido de gasterópodos (*Peringia ulvae*, *Elysia* spp. y *Tricolia pullus*) (0-27%) y anfípodos (*Amphilocheus manudens* y *Apherusa* spp.) (6-17%). En general, la representación de los diversos grupos taxonómicos fue más equilibrada en verano (particularmente en estaciones B y aún más en C) siendo la epifauna de la zona A la que presentó menor representación taxonómica, especialmente en otoño. Debido a que los misidáceos se recolectaron mediante pesca en la columna de agua no es posible aportar datos de abundancia.

En cuanto a la abundancia total (**Anexo III, fig. 1**), ésta fue más elevada en la zona C en todas las estaciones anuales. Siendo máxima en verano y mínima en otoño. Por otra parte, la riqueza específica fue similar en primavera y verano, destacando la elevada riqueza de la zona C en otoño.

## C. Análisis isotópico, nivel trófico y estructura trófica de la comunidad

### C.1. Perfiles isotópicos en la epifauna y estructura trófica

El análisis taxonómico de la epifauna permitió establecer una estructura trófica formada por cinco grupos, ordenados en función de su posición trófica (**tabla 4**).

Los grupos establecidos fueron:

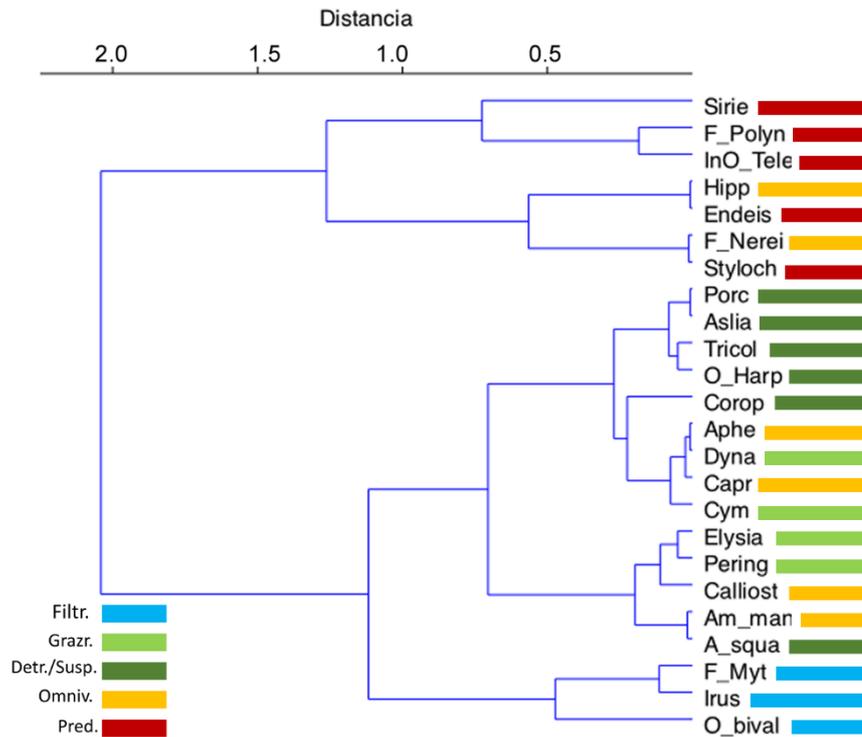
- (1) Filtradores, compuesto por taxones de bivalvos de dieta exclusivamente filtradora. Este grupo presenta los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  más bajos ( $5,52\pm 0,45$ ). El rango de  $\delta^{13}\text{C}$  oscila entre  $-18,36\pm 0,92$  y  $-17,70\pm 0,79$ . Entre los integrantes del grupo se encuentra la familia Mytilidae y la especie *Musculus costulatus* (en principio identificada como el OTUS “otros bivalvos”). Los valores de esta especie se utilizaron como nivel de base para el cálculo del nivel trófico de los taxones superiores, al ser el OTUS tróficamente inferior con el nivel de  $\delta^{15}\text{N}$  más bajo.
- (2) Grazers, compuesto por taxones de dieta predominante herbívora y por ramoneadores, que se alimentan en el microfitobentos y perifiton; no se descarta la presencia de algún detritívoro provisional. Los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  de este grupo son más altos que los de filtradores, oscilando entre  $6,60\pm 0,86$  y  $7,54\pm 0,50$ ; en el caso del  $\delta^{13}\text{C}$  el intervalo es más amplio, oscilando entre  $-13,73\pm 1,32$  y  $-18,21\pm 1,51$ . Predomina la presencia de gasterópodos, como las especies *Peringia ulvae* y *Elysia* spp.
- (3) Detritívoros y Suspensívoros, grupo mixto que incluye taxones que se alimentan en el microfitobentos (diatomeas), excavadores y mixótrofos de dieta predominantemente suspensívora, que por las características de su dieta no llegan a ser considerados omnívoros. Los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  que presentó este grupo trófico fueron muy próximos a los del grupo anterior ( $6,40\pm 0,41$  –  $7,29\pm 0,49$ ). En el caso del  $\delta^{13}\text{C}$ , el intervalo de valores fue muy amplio, oscilando entre  $-11,05\pm 4,02$  y  $-19,67\pm 2,75$ . En este grupo destacó la presencia de los copépodos del orden Harpacticoida y anfípodos, como la especie *Corophium* spp.
- (4) Omnívoros, grupo constituido por especies de dieta mixta, con alta predominancia de carnívoros. Los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  del grupo oscilaron entre  $6,59\pm 0,43$  y  $8,54\pm 0,50$ . En el caso de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , el intervalo osciló entre  $-16,63\pm 1,35$  y  $-22,33\pm 1,21$ . En cuanto a especies, el grupo estuvo dominado por la presencia de *Caprella acanthifera*, *Amphilocheus manudens* y *Apherusa* spp., todos ellos englobados en el taxón Amphipoda.
- (5) Predadores, compuesto por taxones que predan de forma activa y que se encontrarían en lo alto de la cadena trófica de la epifauna. Estos grupos presentaron los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  más altos de todos los OTUS estudiados ( $7,98\pm 0,40$  –  $10,00\pm 0,60$ ). En rango en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  osciló entre  $-16,78$  y  $-19,39\pm 0,51$ . En este grupo destacó la presencia del misidáceo *Siriella armata*.

**Tabla 4.** Relación de taxones de epifauna seleccionados para el análisis de perfiles isotópicos y valores correspondientes de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$ . Se indica el nivel trófico (NT) y la relación C/N. Los valores se refieren a medias y desviación estándar. Se calculó el nivel trófico a partir de la media de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ . Al final de la tabla se detalla la bibliografía consultada para caracterizar la dieta de cada OTUS; F., Familia; O. Orden; Inf. O., Infraorden.

TAXA	OTUS	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	NT	C/N
<b>FILTRADORES</b>					
Bivalvia	F. Mytilidae	5,93±0,29	-18,36±0,92	2,12	3,3±0,2
Bivalvia	<i>Irus irus</i>	6,05±0,51	-17,70±0,79	2,15	3,5±0,1
Bivalvia	<i>Musculus costulatus</i>	5,52±0,45	-18,16±0,89	2,00	3,3±0,2
<b>GRAZERS</b>					
Isopoda	<i>Cymodoce truncata</i> <sup>1</sup>	6,68±0,84	-13,80±1,00	2,34	6,8±1,5
Isopoda	<i>Dynamene bidentata</i> <sup>1</sup>	6,60±0,86	-13,73±1,32	2,31	5,9±1,1
Gastropoda	<i>Elysia</i> spp. <sup>2</sup>	7,49±0,50	-18,21±1,51	2,58	3,8±0,4
Gastropoda	<i>Peringia ulvae</i> <sup>3</sup>	7,54±0,50	-15,12±0,65	2,59	4,0±0,2
<b>DETR. / SUSP.</b>					
Copepoda	O. Harpacticoida <sup>4</sup>	6,86±0,50	-19,67±2,75	2,39	3,7±0,2
Amphipoda	<i>Corophium</i> spp. <sup>5</sup>	6,40±0,41	-18,14±1,57	2,25	4,4±0,6
Gastropoda	<i>Tricolia pullus</i> <sup>6</sup>	6,91±0,72	-15,11±2,75	2,41	3,7±0,3
Holothuroidea	<i>Aslia lefevrei</i> <sup>7</sup>	6,80±0,53	-13,72±1,77	2,37	5,1±0,8
Decapoda	<i>Porcellana platycheles</i> <sup>8</sup>	6,81±0,32	-16,65±1,61	2,38	4,6±0,3
Ophiuroidea	<i>Amphipholis squamata</i> <sup>9</sup>	7,29±0,49	-11,05±4,02	2,52	8,3±2,4
<b>OMNIVOROS</b>					
Amphipoda	<i>Caprella acanthifera</i> <sup>10-11</sup>	6,62±0,27	-18,28±1,93	2,32	4,5±0,7
Amphipoda	<i>Amphilochus manudens</i> <sup>11</sup>	7,28±0,70	-17,69±1,38	2,51	4,5±0,5
Amphipoda	<i>Apherusa</i> spp. <sup>11</sup>	6,59±0,43	-17,47±0,87	2,31	4,0±0,2
Decapoda	<i>Hippolyte varians</i> <sup>12</sup>	8,54±0,50	-17,58±1,30	2,88	3,4±0,1
Gastropoda	<i>Calliostoma zizyphinum</i> <sup>13</sup>	7,41±1,52	-16,63±1,35	2,55	3,3±0,2
Polychaeta	F. Nereididae <sup>14</sup>	7,96±0,70	-22,33±1,21	2,72	4,1±1,8
<b>PREDADORES</b>					
Mysidacea	<i>Siriella armata</i>	10,00±0,60	-17,90±0,76	3,31	3,3±0,1
Pycnogonida	<i>Endeis</i> spp. <sup>15</sup>	8,53±0,40	-19,39±0,51	2,88	3,8±0,2
Polychaeta	F. Polynoidae <sup>14</sup>	9,18±0,48	-18,44±0,89	3,07	3,4±0,2
Platyhelminthes	<i>Stylochoplana maculata</i>	7,98±0,40	-17,76±0,95	2,72	3,4±0,2
Inf. O. Teleostei	Inf. O. Teleostei	9,36	-16,78	3,13	3,1

<sup>1</sup> (Arrontes, 1990); <sup>2</sup> (Jensen, 1994); <sup>3</sup> (Araujo *et al.*, 2015); <sup>4</sup> (Dahms & Qian, 2004); <sup>5</sup> (Gerdol & Hughes, 1994); <sup>6</sup> (Troncoso *et al.*, 1996); <sup>7</sup> (Costelloe & Keegan, 1984); <sup>8</sup> (Stevcic, 1988); <sup>9</sup> (Miller *et al.*, 1992); <sup>10</sup> (Lolas & Vafidis, 2013); <sup>11</sup> (Guerra-García & Tierno de Figueroa, 2009); <sup>12</sup> (Coombs & Allen, 1978); <sup>13</sup> (Marshall, 1995; Dornellas & Simone, 2011); <sup>14</sup> (Fauchald & Jumars, 1979); <sup>15</sup> (Arnaud & Bamber, 1988).

Con el fin de ilustrar de manera más comprensiva las interacciones tróficas existentes en los grupos de epifauna seleccionados, se utilizaron los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  de los OTUS incluidos en la **tabla 4** para realizar un cluster de similitud (Single Linkage - distancia mínima entre dos grupos) entre OTUS (**fig. 19**).



**Fig. 19.** Cluster de similitud Single Linkage para los 24 OTUS seleccionados de epifauna. Las barras de colores señalan la dieta predominante del grupo trófico establecido. Abreviaturas por orden de aparición: Sirie, *Siriella armata*; F\_Polyn, Familia Polynoidae; InO\_Tele, Infra Orden Teleostei; Hipp, *Hippolyte varians*; Endeis, *Endeis* spp.; F\_Nerei, Familia Nereididae; Styloch, *Stylochoplana maculata*; Porc., *Porcellana platycheles*; Aslia, *Aslia lefevrei*; Tricol, *Tricolia pullus*; O\_Harp, Orden Harpacticoida; Corop, *Corophium* spp.; Aphe, *Apherusa* spp.; Dyna, *Dynamene bidentata*; Capr, *Caprella acanthifera*; Cym, *Cymodoce truncata*; Elysia, *Elysia* spp.; Pering, *Peringia ulvae*; Calliost., *Calliostoma zizyphium*; Am\_man, *Amphilocheus manudens*; A\_squa, *Amphipholis squamata*; F\_Myt, Familia Mytilidae; Irus, *Irus irus*; O\_bival; Otros bivalvos (especie *Musculus costulatus*).

Dado que no todos los grupos faunísticos incluidos en la **tabla 4** estuvieron representados en todas las zonas de muestreo y en todas las estacionales anuales (**tabla 3**), la variabilidad interestacional e interzonal de la epifauna guarda relación con la de signátidos. Se realizó un MANOVA considerando como factores la estación y la zona de muestreo (**tabla 5**). Se optó por escoger los 14 grupos identificados en las 3 zonas (A, B, C) y en las tres estaciones (primavera, verano, otoño). Debido a la necesidad de realizar un análisis estadístico de peso, los OTUS se agruparon por el taxón para amplificar la varianza. Las agrupaciones resultaron ser: (1) Copepoda, compuesto por el orden Harpacticoida; (2) Amphipoda, compuesto por las especies *Caprella acanthifera*, *Amphilocheus manudens*, *Apherusa* spp. y *Corophium* spp.; (3) Decapoda, compuesto por la especie *Hippolyte varians*; (4) Mysidacea, compuesto por la especie *Siriella armata*; (5) Gastropoda, compuesto por las especies *Elysia* spp., *Peringia ulvae*, *Tricolia pullus* y *Calliostoma zizyphinum*; (6) Bivalvia, compuesto por la familia Mytilidae y la especie *Musculus costulatus*; (7) Ophiuroidea, compuesto por la especie *Amphipholis squamata*.

**Tabla 5.** MANOVA de los factores estación (primavera, verano, otoño), zona (A, B, C) frente a los isótopos de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  para Copepoda, Amphipoda, Decapoda, Mysidacea, Gastropoda, Bivalvia y Ophiuroidea. SC, suma de cuadrados; gl, grados de libertad; MC, media de cuadrados; P, valor p. Para resaltar la significancia se incluyen tres cifras decimales.

	SC	gl	MC	F	P
<b><math>\delta^{15}\text{N}</math></b>					
EFECT. PRINCIPALES					
Taxón	135,367	6	22,561	51,445	<0,001
Estación	5,198	2	2,599	5,927	0,004
Zona	1,431	2	0,716	1,632	0,204
INTERACCIÓN					
Estación * Zona	0,939	4	0,235	0,535	0,710
Error	26,752	61	0,439		
<b><math>\delta^{13}\text{C}</math></b>					
EFECT. PRINCIPALES					
Taxa	473,084	6	78,847	31,93	<0,001
Estación	92,974	2	46,487	18,825	<0,001
Zona	4,4	2	2,200	0,891	0,416
INTERACCIÓN					
Estación * Zona	31,411	4	7,853	3,180	0,019
Error	150,633	61	2,469		

Las diferencias en los perfiles isotópicos fueron altamente significativas entre grupos faunísticos (taxón) y también entre épocas de muestreo (estación). En el caso de las zonas de muestreo no se encontraron diferencias significativas ( $P=0,204$ ). Una vez rechazada la hipótesis nula se realizó el test de los efectos simples para poner de manifiesto las posibles diferencias intragrupo. Mediante el test de Scheffé, se compararon entre sí las medias de un factor, dejando estable el otro factor. En el caso del factor estación (**tabla 6**) se establecieron dos subgrupos: el primer subgrupo compuesto por primavera – verano, con valores de  $\delta^{15}\text{N}$  más altos (7,354) y  $\delta^{13}\text{C}$  más negativo (-17,981); el segundo subgrupo constituido por los valores de otoño, más bajos en el caso de  $\delta^{15}\text{N}$  (6,823) más altos y  $\delta^{13}\text{C}$  menos negativo (-15,768).

**Tabla 6.** Pruebas Post Hoc para el factor estación frente a los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$ . Test de Scheffé dónde se muestran las medias de los grupos de subconjuntos homogéneos (sub 1, sub 2). Dado que tamaños de los grupos fueron distintos, se empleó la media armónica de los tamaños de los grupos (41,328). Para resaltar la significancia se incluyen tres cifras decimales.

	n	Sub 1	Sub 2
EFECTOS SIMPLES			
<b><math>\delta^{15}\text{N}</math></b>			
Primavera	41		7,295
Verano	42		7,354
Otoño	41	6,824	
<b><math>\delta^{13}\text{C}</math></b>			
Primavera	41	-17,541	
Verano	42	-17,981	
Otoño	41		-15,768

La comparativa a posteriori de los valores isotópicos para cada taxón (test de Scheffé, **tabla 7**) puso de manifiesto la existencia de cuatro subconjuntos en el caso del  $\delta^{15}\text{N}$ . Uno de los subgrupos estuvo constituido por los taxones Amphipoda, Copepoda, Ophiuroidea y Gastropoda, mientras que Bivalvia, Decapoda y Mysidacea, constituyeron cada uno un subgrupo independiente. En el caso del  $\delta^{13}\text{C}$  los efectos simples revelaron la existencia de tres subgrupos mixtos. Los taxones Copepoda, Bivalvia, Mysidacea, Amphipoda y Decapoda constituyeron el primer grupo. El segundo estuvo constituido por los mismos taxones, con la excepción de Copepoda, que fue sustituido por Gastropoda. Finalmente, el tercer grupo estuvo formado en exclusiva por el taxón Ophiuroidea.

**Tabla 7.** Pruebas Post Hoc (Test de Scheffé) para el factor estación frente a los valores isotópicos de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  en *S. acus*. Se indican las medias de los grupos de subconjuntos homogéneos (sub 1, sub 2, sub 3, sub 4). Dado que los tamaños de los grupos fueron distintos, se utilizó la media armónica de los tamaños de los grupos (12,53). Para resaltar la significancia se incluyen tres cifras decimales.

	n	Sub 1	Sub 2	Sub 3	Sub 4
<b>EFFECTOS SIMPLES</b>					
<b><math>\delta^{15}\text{N}</math></b>					
Bivalvia	18	5,716			
Amphipoda	36		6,713		
Copepoda	9		6,855		
Ophiuroidea	9		7,288		
Gastropoda	34		7,332		
Decapoda	9			8,522	
Mysidacea	9				9,988
<b><math>\delta^{13}\text{C}</math></b>					
Copepoda	9	-19,688			
Bivalvia	18	-18,255	-18,255		
Mysidacea	9	-17,900	-17,900		
Amphipoda	36	-17,897	-17,897		
Decapoda	9	-17,566	-17,566		
Gastropoda	34		-16,241		
Ophiuroidea	9			-11,044	

C.2. Nivel trófico de Signátidos y variaciones isotópicas inter-específicas e intra-específicas.

El análisis ANOVA de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  frente a las tres especies no puso de manifiesto diferencias significativas inter-específicas para ninguno de los isótopos ( $P=0,314$  para  $\delta^{15}\text{N}$ ;  $P=0,377$  para  $\delta^{13}\text{C}$ ). Asimismo, el nivel trófico de las tres especies de signátidos fue muy semejante, no encontrándose diferencias significativas ( $P=0,305$ ) situándose entre 3,65 – 3,73, valores que corresponden a un consumidor secundario (**tabla 8**). Cuando se aplicó el test de Scheffle, las medias poblacionales de las tres especies fueron semejantes para los valores de ambos isótopos.

**Tabla 8.** Perfiles isotópicos ( $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$ ), nivel trófico (NT) y la relación carbono – nitrógeno total (C/N) de las tres especies de signátidos estudiadas en el archipiélago de las Islas Cíes. En cada columna, las diferencias significativas entre especies se indican con letras diferentes. El nivel trófico de cada especie se calculó a partir del correspondiente valor medio de  $\delta^{15}\text{N}$ .

ESPECIE	n	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	NT	C/N
<i>Hippocampus guttulatus</i>	6	11,41±0,46 <sup>a</sup>	-15,60±0,48 <sup>a</sup>	3,73 <sup>a</sup>	3,00±0,03
<i>Entelurus aequoreus</i>	4	11,11±0,23 <sup>a</sup>	-15,77±0,53 <sup>a</sup>	3,65 <sup>a</sup>	2,93±0,03
<i>Syngnathus acus</i>	69	11,16±0,53 <sup>a</sup>	-15,49±0,55 <sup>a</sup>	3,66 <sup>a</sup>	2,96±0,08

La existencia de posibles diferencias intra-específicas en los perfiles isotópicos se centró en la especie *S. acus*, por ser la única con un tamaño de muestra adecuado ( $n=69$ ). Como factor para establecer las diferencias intra-específicas se analizó la talla frente a los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$ . Se agruparon las tallas en función de los percentiles: pequeña (<30cm), intermedia (30 – 40 cm) y grande (>40cm). Para esta agrupación el test de los efectos simples (test de Shefflé) no puso de manifiesto diferencias significativas entre los grupos intermedio y grande, por lo que se decidió realizar un reagrupamiento en función de la mediana del conjunto (33,6cm), resultando en dos grupos: (1) <33,6cm (Media $_{\delta^{15}\text{N}}$  = 10,88±0,07; Media $_{\delta^{13}\text{C}}$  = -15,73±0,4) y (2) >33,6cm (Media $_{\delta^{15}\text{N}}$  = 11,31; Media $_{\delta^{13}\text{C}}$  = -15,19). El análisis de la varianza (**tabla 9**) pone de manifiesto la existencia de diferencias altamente significativas entre los dos grupos de tamaño, tanto para de  $\delta^{15}\text{N}$  como para  $\delta^{13}\text{C}$ .

**Tabla 9.** ANOVA del factor talla (grupo <33,6cm; grupo >33,6cm) frente a los valores isotópicos de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  en *S. acus*. SC, suma de cuadrados; gl, grados de libertad; MC, media de cuadrados; P, valor p. Para resaltar la significancia se incluyen tres cifras decimales.

	SC	gl	MC	F	P
EFECT. PRINCIPALES					
$\delta^{15}\text{N}$					
Talla	3,192	1	3,192	17,495	<0,001
Error	12,223				
$\delta^{13}\text{C}$					
Talla	4,623	1	4,623	26,59	<0,001
Error	11,649				

A continuación, se estudió, mediante un MANOVA, si los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  en *S. acus* presentaban dependencia con respecto a los factores considerados de interés: la distribución temporal (estación), la distribución espacial (zona), y el estado de madurez sexual (est\_sexual) (**tabla 10**). En ambos isótopos las diferencias fueron significativas para la estación ( $P=0,03$  para  $\delta^{15}\text{N}$ ,  $P=0,04$  para  $\delta^{13}\text{C}$ ), en tanto que no se encontraron diferencias significativas respecto a la zona de captura ( $P=0,12$  para  $\delta^{15}\text{N}$ ,  $P=0,14$  para  $\delta^{13}\text{C}$ ) o estado sexual ( $P=0,72$  para  $\delta^{15}\text{N}$ ,  $P=0,91$  para  $\delta^{13}\text{C}$ ). Asimismo tampoco fueron significativas las diferencias en la interacción de los factores. Se tiene en cuenta también que la suma de cuadrados del error es muy superior a la de los factores, lo que indica que hay otras variables que intervienen en la variabilidad de los valores del carbono y nitrógeno.

**Tabla 10.** MANOVA de los factores estación (primavera, verano, otoño), zona (A, B, C) y estado sexual (hembra inmadura, hembra ovígera, macho inmaduro, macho preñado) frente a los isótopos de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  en *S. acus*. SC, suma de cuadrados; gl, grados de libertad; MC, media de cuadrados; P, valor p. Para resaltar la significancia se incluyen tres cifras decimales.

	SC	gl	MC	F	P
<b><math>\delta^{15}\text{N}</math></b>					
EFECT. PRINCIPALES					
Estación	1,524	2	0,762	3,595	0,036
Zona	0,911	2	0,455	2,148	0,129
Est_sexual	0,283	3	0,094	0,445	0,722
INTERACCIÓN					
Estación*zona	0,25	3	0,083	0,392	0,759
Estación*Est_sexual	0,928	6	0,155	0,729	0,628
Zona*Est_sexual	0,91	5	0,182	0,859	0,516
Estación*Zona*Est_sexual	0,494	3	0,165	0,776	0,514
Error	9,328	44	0,212		
<b><math>\delta^{13}\text{C}</math></b>					
EFECT. PRINCIPALES					
Estación	1,588	2	0,794	3,479	0,040
Zona	0,924	2	0,462	2,024	0,144
Est_sexual	0,123	3	0,041	0,18	0,910
INTERACCIÓN					
Estación*zona	0,554	3	0,185	0,809	0,496
Estación*Est_sexual	0,222	6	0,037	0,162	0,985
Zona*Est_sexual	0,823	5	0,165	0,721	0,611
Estación*Zona*Est_sexual	0,538	3	0,179	0,785	0,509
Error	10,043	44	0,228		

Como lo efectos principales ponen de manifiesto la existencia de variabilidad estacional, se quiso cuantificar esa variabilidad con el test de los efectos simples. El test de Scheffé, agrupó las medias de ambos isótopos en dos subgrupos, con medias poblacionales iguales (**tabla 11**). En la tabla se aprecia como los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  en primavera son superiores a los de otoño, siendo el verano una transición entre los valores de primavera y otoño. En el caso de  $\delta^{13}\text{C}$  fue la primavera quien marcó la transición entre los valores de verano y otoñales.

**Tabla 11.** Pruebas Post Hoc para el factor estación frente a los valores de isotopos de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  en *S. acus*. Test de Scheffé dónde se muestran las medias de los grupos de subconjuntos homogéneos (sub 1, sub 2). Dado que tamaños de los grupos fueron distintos, se empleó la media armónica de los tamaños de los grupos (19,203). Para resaltar la significancia se incluyen tres cifras decimales.

	n	Sub 1	Sub 2
<b>EFFECTOS SIMPLES</b>			
<b><math>\delta^{15}\text{N}</math></b>			
Primavera	34		11,294
Verano	23	10,952	10,952
Otoño	12	10,883	
<b><math>\delta^{13}\text{C}</math></b>			
Primavera	34	-15,350	-15,350
Verano	23	-15,721	
Otoño	12		-15,225

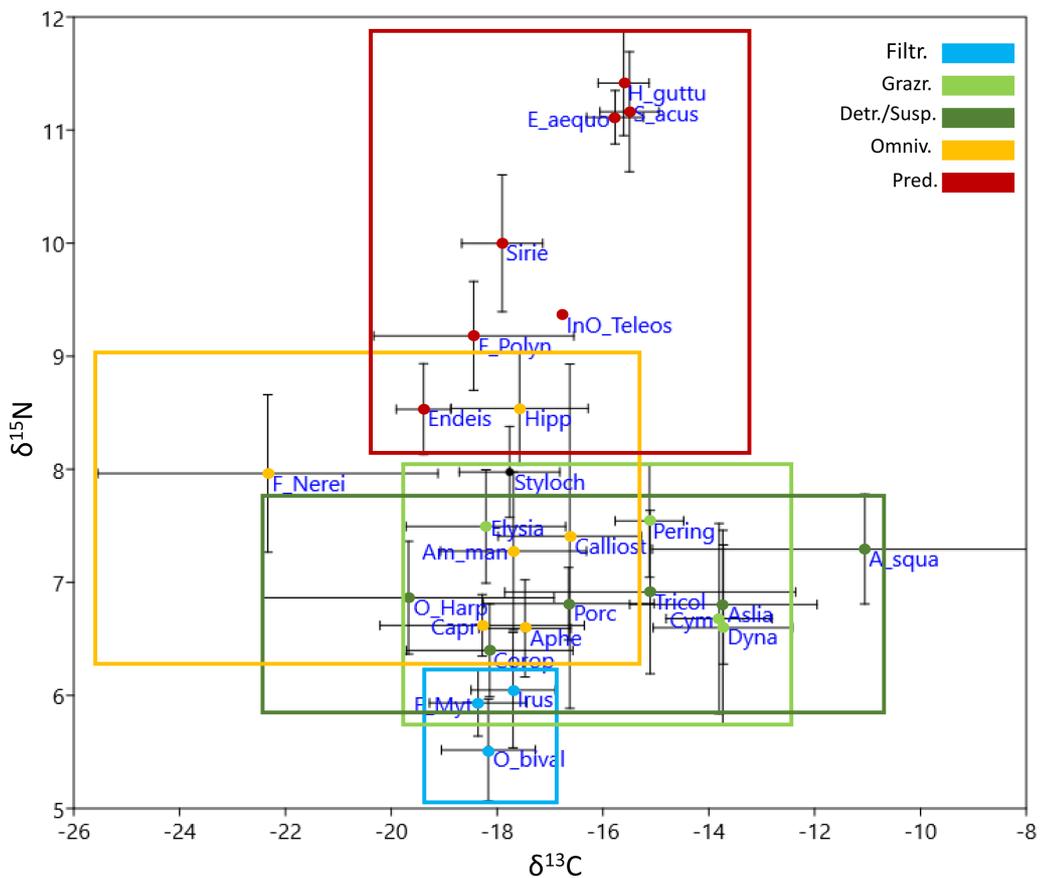
Del mismo modo, se realizó el análisis de los efectos principales para el conjunto de las hembras de *S. acus* (n=46). Se encontraron diferencias significativas en el caso de la estación (primavera, verano, otoño) para los valores de ambos isótopos (P=0,003 para  $\delta^{15}\text{N}$ , P=0,008 para  $\delta^{13}\text{C}$ ). El posterior análisis de los efectos simples devolvió dos subgrupos de medias, agrupados de manera idéntica a la **tabla 11**. En el caso de la zona (A, B, C) se encontraron diferencias significativas sólo en el caso de  $\delta^{15}\text{N}$  (P=0,03 para  $\delta^{15}\text{N}$ , P=0,10 para  $\delta^{13}\text{C}$ ); a pesar de la significancia la agrupación Post Hoc devolvió un solo subconjunto homogéneo (Media<sub>Zona A</sub>=11,16; Media<sub>Zona B</sub>=11,23; Media<sub>Zona C</sub>= 10,96). No se encontraron diferencias significativas entre estados sexuales (inmadura vs ovadas) en ninguno de los dos isótopos (P=0,59 para  $\delta^{15}\text{N}$ , P=0,37 para  $\delta^{13}\text{C}$ ).

El mismo análisis se repitió para el caso de los machos (n=23). No se encontraron diferencias significativas en el caso de la estación (P=0,84 para  $\delta^{15}\text{N}$ , P=0,29 para  $\delta^{13}\text{C}$ ), la zona (P=0,93 para  $\delta^{15}\text{N}$ , P=0,20 para  $\delta^{13}\text{C}$ ) o el estado sexual (inmaduros vs preñados) (P=0,52 para  $\delta^{15}\text{N}$ , P=0,66 para  $\delta^{13}\text{C}$ ).

### C.3. Estructura trófica global

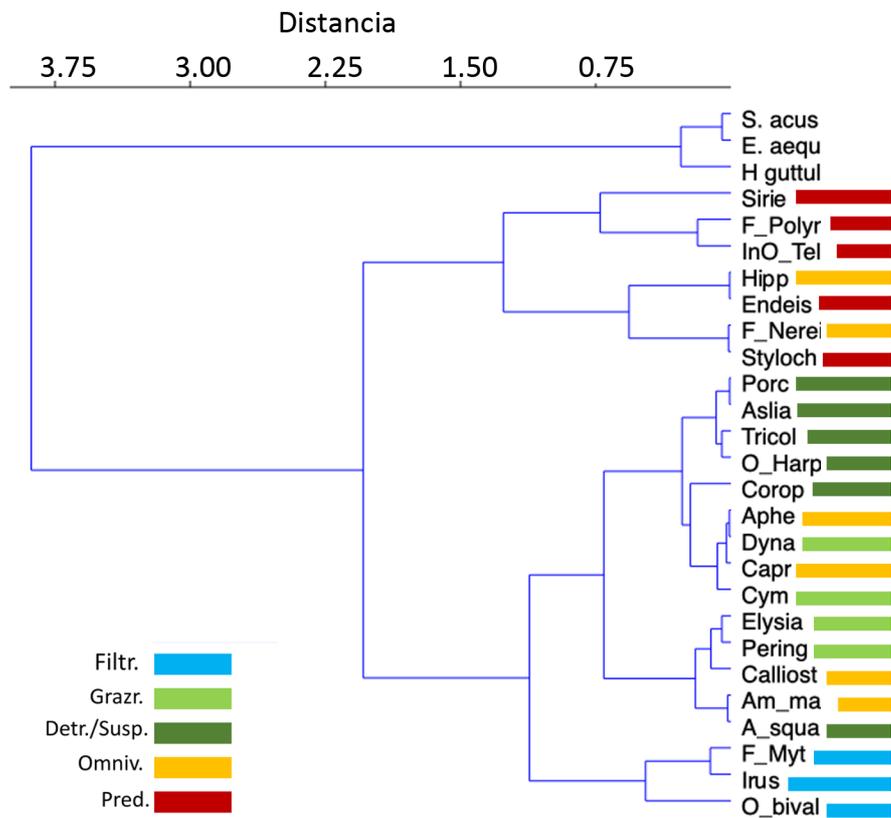
Las características isotópicas ( $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$ ) de los grupos tróficos epifaunales (especies que los componen) y de las tres especies de signátidos analizadas, se compilaron en un gráfico carbono – nitrógeno (**fig. 20**), que refleja la estructura de la red trófica de las zonas muestreadas en el Archipiélago de las Islas Cíes.

Las tres especies avistadas de signátidos ocuparon la posición trófica más alta y semejante, no se encontraron diferencias significativas entre ellos ( $P=0,305$ ): *Hippocampus guttulatus* (NT=3,73), *Entelurus aequoreus* (NT=3,65) y *Syngnathus acus* (NT=3,66). Los resultados obtenidos indican que los signátidos presentes en las Islas Cíes son carnívoros o consumidores primarios, con una posición trófica próxima al nivel trófico inmediatamente superior (carnívoros o consumidores secundarios).



**Fig. 20.** Valores medios de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  (‰  $\pm$  SD) de los OTUs de epifauna y de las tres especies de Signátidos estudiadas. Se empleó como línea base el grupo otros bivalvos (*Musculus costulatus*), cuyos valores isotópicos fueron de  $5,52 \pm 0,45$  para  $\delta^{15}\text{N}$  y  $-18,16 \pm 0,89$  para  $\delta^{13}\text{C}$ . Agrupación por nivel trófico: azul, filtradores; verde claro, grazers; verde oscuro, detritívoros y suspensívoros; amarillo, omnívoros; rojo, predadores. Abreviaturas: ver **fig. 19**.

En consonancia con la **figura 20**, también se elaboró un gráfico de similitud (**fig. 21**) a partir de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  de la epifauna y de las tres especies de signátidos. Tal como se aprecia en la figura, la mínima distancia entre los grupos agrupó juntas y con una elevada similitud a las tres especies de signátidos, distinguiendo por un lado a *Hippocampus guttulatus* y agrupando por el otro a *Syngnathus acus* – *Entelurus aequoreus*. Los signátidos quedaron claramente diferenciados de la rama de la epifauna. En los grupos de epifauna, el cluster agrupó en conjunto a los grupos tróficos superiores (predadores y omnívoros), entre los que destacan el misidáceo *Siriella armata*. En una segunda rama se agruparon especies de grazers, suspensívoros, dentrítvoros y algunos omnívoros, entre los cuales figuran copépodos y anfípodos. Este subgrupo se diferenció claramente del subgrupo compuesto por taxones de bivalvos filtradores (Familia Mytilidae, *Musculus costulatus* e *Irus irus*), que componen el nivel trófico más bajo.



**Fig. 21.** Cluster de similitud Single Linkage para 24 OTUS de epifauna y las tres especies de signátidos. Abrebituras: ver **fig. 19**. S\_acus, *Syngnathus acus*; E\_aequ, *Entelurus aequoreus*; H\_guttul, *Hippocampus guttulatus*.

## Discusión

### A. Signátidos

El seguimiento realizado en 2017 de las comunidades de signátidos en la cara este del archipiélago de las Islas Cíes dio como resultado la presencia de tres especies: el caballito de mar *Hippocampus guttulatus* y los peces pipa *Entelurus aequoreus* y *Syngnathus acus*. Estas especies ya fueron avistadas en el estudio previo realizado en 2016 a lo largo de toda la cara oriental del litoral de Cíes (OAPN, 2016). En dicho estudio también se avistó un ejemplar de *H. hippocampus* (zona B, Islote de Viños), especie que no apareció en los muestreos de 2017. Las abundancias de las tres especies fueron muy diferentes entre sí, con presencias enormemente reducidas de *H. guttulatus* y de *E. aequoreus*. Por este motivo, el análisis poblacional de estas especies únicamente pudo realizarse en *S. acus*.

Las tres zonas de muestreo estudiadas fueron seleccionadas a partir de los datos obtenidos en el estudio previo de 2016 (OAPN, 2016). La selección se realizó considerando la presencia y abundancia de signátidos y las características del hábitat, seleccionando aquellas comunidades algales dominadas por especies asociadas a la presencia de signátidos (*Cystoseira* spp. y otras algas de pradera marina).

Los signátidos, y de manera especial los caballitos de mar (*Hippocampus* spp.) son especies con “home ranges” reducidos (Foster & Vincent, 2004; Curtis & Vincent, 2006; Kuitert, 2009) y una capacidad de natación limitada, lo que reduce su rango de dispersión. Los resultados del presente estudio confirman en gran parte los del estudio preliminar (realizado en primavera y verano de 2016). La mayor riqueza específica y abundancia de peces signátidos ocurre en la zona C (Borrón), en tanto que las zonas A (isla sur) y B (Pau de Bandeira) registraron únicamente la presencia de *Syngnathus acus*, en abundancias mucho menores. La presencia monoespecífica de *S. acus* en dichas zonas puede responder a diversas características.

Por una parte, la hidrografía y dinámica estacional influyen fuertemente en la composición del hábitat marino en el archipiélago. La zona de estudio, situada en la boca de la Ría de Vigo, tiene una influencia claramente oceánica y está muy afectada por las condiciones del mar adversas, especialmente en otoño e invierno. En la cara occidental de las islas impacta con mucha fuerza el oleaje, afectando incluso zonas de la cara oriental, como las zonas A y, en menor medida, B. La zona C está mucho más protegida, la estructura de su comunidad vegetal se mantiene más íntegra frente a las condiciones de mala mar, mientras que en las otras dos zonas gran parte de la cobertura algal se pierde.

Una de las causas principales de la vulnerabilidad de los peces signátidos reside en su estrecha dependencia con la disponibilidad de macroalgas y fanerógamas marinas, que ofrecen una densa de alimento y permiten el camuflaje y la sujeción tanto de peces pipa (*Syngnathus* spp.) como, sobre todo, de caballitos de mar (*Hippocampus* spp.). La reducción, y en algún caso desaparición de signátidos (zona A), en otoño estaría estrechamente relacionada, con el detrimento de la comunidad algal en respuesta a la fuerza del oleaje en los temporales de otoño – invierno.

Por otra parte, las diferencias tanto en abundancia como en distribución de las tres especies pueden explicarse por las diferentes preferencias de hábitat. *E. aequoreus* exhibe una fuerte inclinación por los hábitats oceánicos de aguas abiertas (Dawson 1986; Kloppmann & Ulleweit, 2007), su presencia en aguas costeras es menos común, aunque la especie está presente en zonas más internas de las rías gallegas (datos sin publicar). *H. guttulatus* prefiere hábitats costeros más protegidos, con amplia cobertura algal y riqueza de fanerógamas en las que poder agarrarse (Dawson 1986; Curtis & Vincent, 2005). La especie se caracteriza por presentar generalmente

una distribución reducida y parcheada, (Curtis & Vincent, 2005) con proporciones semejantes entre sexos.

Las siete capturas realizadas de *H. guttulatus*, con mayoría de hembras, sugieren que las Islas Cíes son un reducto muy limitado (tanto temporal como espacial) que es necesario proteger mediante acciones apropiadas de conservación (p.ej. Reserva Marina), máxime considerando que se trata de especies protegidas (Listado español de especies silvestres de protección especial) (BOE, 2011) y que la zona de estudio es parte de un litoral protegido al ser parte de un Parque Nacional.

Por contra, *Syngnathus acus*, es una especie más eurioica en cuanto a las preferencias de hábitat. Sus poblaciones se encuentran tanto en aguas de plataforma y ambientes estuáricos, dominados por fondos de arena y rocas, como en las praderas marinas (Dawson 1986; Roelke *et al.*, 1993). Su patrón de distribución se caracteriza por la presencia de grupos reducidos y agrupados de individuos, así como por una distribución proporcional de sexos (Vincent *et al.*, 1992; Dawson, 1986; García *et al.*, 2005). La variabilidad natural hace que la proporción de sexos varíe entre localizaciones geográfica, en algunas poblaciones naturales de *S. acus* se ha informado de una amplia superioridad de hembras (Gurkan *et al.*, 2009), al contrario que en *S. abaster* donde se reportó una dominancia de machos (Franzoi *et al.*, 1993). El sesgo a favor de las hembras observado en las Islas Cíes para *S. acus* también se observó en el caso de *H. guttulatus* y *E. aequoreus*.

En cuanto a las variaciones estacionales observadas, los resultados del año 2017 nuevamente confirman los resultados previos de 2016. En este sentido, las mayores abundancias de primavera, frente a las de verano y, sobre todo, a las de otoño responderían a las características reproductoras de las especies de signátidos. De manera general, la época reproductiva de los signátidos se extiende globalmente desde primavera a inicios de otoño, con variaciones dependiendo de la especie. En *Hippocampus guttulatus* la temporada de cría comienza en abril y termina en octubre, con 3-5 semanas de período de incubación (Curtis & Vincent, 2006). En el caso de *Entelurus aequoreus* el periodo temporal es mucho más reducido, abarcando el periodo de junio a julio (Muus & Nielsen, 1998). En cuanto a *Syngnathus acus*, la época reproductiva abarca un periodo de marzo a septiembre, y la especie puede llegar a reproducirse hasta tres veces por año (Gurkan *et al.*, 2009).

Una de las características del comportamiento sexual de los peces signátidos consiste en que son las hembras las que compiten por los machos (papel sexual invertido) en los que depositar sus huevos. La alta frecuencia de hembras reportadas en el archipiélago, junto con el alto porcentaje de machos maduros, sugiere que las hembras de *S. acus* se desplazan al archipiélago para provisionarse de machos en los cuales descargar sus huevos. En esta especie, un macho puede aceptar huevos de varias hembras, que en el caso de la zona de estudio puede ser de hasta cinco (C. Bouza, datos sin publicar). Algunos autores también han señalado que la baja disponibilidad de machos se debe a una alta mortalidad en los momentos posteriores al desove y durante el desarrollo embrionario (Roelke & Sogard, 1993).

La posibilidad de que el archipiélago de Cíes funcione como zona de reproducción de *S. acus* coincide con las mayores abundancias en primavera, que es cuando se inicia la época de reproducción (Vincent *et al.*, 1995; Gurkan *et al.*, 2009) (**fig. 9**). En el caso concreto de las rías gallegas, la reproducción de esta especie generalmente abarca un periodo comprendido entre marzo y junio (así ocurrió en Islas Cíes en 2016; OAPN, 2016), a veces puede alargarse hasta agosto, coincidiendo con un periodo de aguas relativamente cálidas como ocurrió en 2017 (OAPN, 2017).

La biología reproductiva de la especie determina que en primavera aparezca un gran número de individuos maduros (hembras ovígeras y machos preñados). Las hembras de *S. acus* alcanzan la madurez sexual antes que los machos y tardan aproximadamente cinco semanas en producir un

nuevo lote de huevos (M Planas, com. pers.), prácticamente el mismo tiempo que dura el desarrollo embrionario del macho. A partir de junio, el número de ejemplares maduros, tanto machos como hembras, mermó drásticamente, hasta la entrada del otoño, época en la que ya no se observaron ejemplares sexualmente maduros (**fig. 10**). La presencia de machos preñados fue más duradera que la de hembras ovígeras debido a que cuando las hembras dejan de producir huevos maduros los machos aún serán portadores de embriones durante al menos 5 semanas.

La tendencia de reducción poblacional en relación con la estacionalidad se puede enlazar con la estructura poblacional (rango de tallas) de *S. acus* en el archipiélago. La población de *S. acus* presentó una talla media situada entre 30 y 35 cm y una ausencia de tallas menores que pueden considerarse habituales en poblaciones de otras zonas geográficas cercanas, como el interior de la ría de Vigo (Arcade) (OAPN, 2016, 2017).

Esto plantea la posibilidad de que los ejemplares adultos de gran talla se desplacen hasta las Islas Cíes para aparearse y reproducirse y/o de que los ejemplares de menor talla (incluidos los juveniles y subadultos) puedan desplazarse a otras zonas, ya sea por natación activa o por dispersión indirecta mediante las corrientes marinas.

A mayores del comentado patrón reproductivo, la reducción, y en algún caso desaparición de signátidos (zona A), en otoño estaría estrechamente relacionada, entre otros factores; (1) como las condiciones adversas del mar y a la consiguiente reducción de la cobertura vegetal y /o (2) la reducción de la disponibilidad de alimento como consecuencia del detrimento de las macroalgas. Los muestreos realizados en las Islas Cíes en otoño del presente año (2018) han puesto de manifiesto una desaparición casi total de los signátidos, lo que estaría relacionado con los temporales y la enorme destrucción de la cubierta vegetal en las islas, implicando un desplazamiento poblacional hacia zonas más protegidas y posiblemente con mayor disponibilidad de recursos alimenticios (M. Planas, com. pers.).

Asimismo, es posible que se produzcan migraciones a zonas más protegidas, tal como se ha descrito en *Syngnathus fucus* (Lazzari & Able, 1990), o *H. guttulatus*, (Caldwell & Vincent, 2013) en respuesta a perturbaciones del hábitat. *E. aequoreus* se revela como la especie de mayor capacidad migratoria. Estudios realizados en el Atlántico norte, señalaron el aumento del rango de dispersión de esta especie ligado al aumento de temperatura del agua (Fleischer *et al.*, 2007).

## B. Epifauna

La epifauna es un componente importante de la cadena trófica estudiada, ya que conforma el escalón intermedio entre los productores y los consumidores secundarios, los signátidos. En total se obtuvo una relación de 84 OTUS, unidades taxonómicas operativas (Iglesias, 2018), de los cuales 14 grupos se identificaron como presas potenciales de signátidos o de interés para el estudio de la red trófica relacionada con las especies de signátidos.

En la ría de Vigo, como en cualquier ecosistema, el acoplamiento de los procesos físicos y biológicos operando a diferentes escalas espaciales y temporales genera gran variabilidad tanto en la composición como en las características isotópicas de la epifauna. Por dicho motivo no todas las especies se vieron representadas en todas las zonas muestras (A, B, C) o en todas las épocas de muestreo (primavera, verano, otoño). En los grupos dominantes de epifauna se observó una alta influencia del componente estacional. Esta influencia fue muy apreciable en el caso del bivalvo *Musculus costulatus* (especie a la que se hace referencia a lo largo de esta memoria como “Otros bivalvos”), con una mayor dominancia en otoño. En coincidencia con las observaciones de Iglesias (2018), quien señaló que la abundancia total de epifauna se mantuvo estable en primavera – verano, disminuyendo notablemente en otoño.

Los OTUS de epifauna que más contribuyeron en las diferencias estacionales fueron los copépodos (*O. Harpacticoida*), los gammáridos (*A. manudens*, *Apherusa* spp.), y los gasterópodos (*Peringia ulvae* y *Tricolia pullus*). Los copépodos dominan la comunidad de zooplancton (59%), varían estacionalmente desde un máximo en primavera a un mínimo de abundancia en nuestros datos en invierno (38%) en la zona C. Un estudio previo en zooplancton en la cara externa de la ría de Vigo (Buttay *et al.*, 2016) reveló como grupos dominantes los copépodos, larvas de bivalvos, de decápodos y de gastrópodos. En dicho estudio, se observó una variación estacional, con dos picos de abundancia, uno en primavera y otro a comienzos de otoño; estos datos coincidirían con los dos picos de producción fitoplanctónica señalados por Cermeño *et al.* (2006). En el presente estudio, la riqueza específica global de la epifauna fue relativamente constante a lo largo del año, mientras que la abundancia y presencia de ciertos grupos (anfipodos y copépodos) disminuyó notablemente en otoño, hecho en el que posiblemente influyese la reducción de la cobertura vegetal por las condiciones meteorológicas adversas otoñales.

Las macroalgas son extremadamente vulnerables a los impactos mecánicos cuando el movimiento del agua provoca un fuerte rozamiento en el dosel. El resultado es un declive natural del dosel en los meses de otoño – invierno, en el que muchas unidades algales son eliminadas de la comunidad. Este impacto, observado en los muestreos de otoño, redujo la abundancia de epifauna asociada a la pérdida de dosel vegetal y la biomasa alimentaria disponible para los consumidores (Reed *et al.*, 2011; Winkler *et al.*, 2017). Aunque en este estudio no se realizaron muestreos en invierno debido a la dificultad de las inmersiones en dicha época, los valores otoñales aportan información valiosa sobre la tendencia que se seguiría durante el invierno.

Los cambios a corto plazo en la composición y abundancia de la epifauna responden a la influencia de las variables ambientales, como la precipitación o el índice de afloramiento (Buttay *et al.*, 2016), así como de características determinadas por la biología y ciclo de vida de los organismos. La respuesta de la epifauna a la variabilidad ambiental no tiene porque ser lineal, sino que la resultante de la acción conjunta de variables biológicas y ambientales. Así, la mayor abundancia de gasterópodos o bivalvos observada en verano u otoño respondería a las épocas de reproducción y de reclutamiento. En el caso de *Peringia ulvae*, se trata de un pequeño gasterópodo que puede presentar varias épocas de reproducción anual en nuestras latitudes; sin embargo, los picos reproductivos se sitúan en verano – otoño (Planas & Mora, 1987), lo que estaría en consonancia con nuestras observaciones. Es necesario señalar que en este estudio no fue posible aportar datos absolutos de abundancia debido a que los muestreos consistieron en la recogida de unidades algales, por lo que no fue posible referenciar los datos a unidades de superficie o volumétricas.

## C. Análisis isotópico, nivel trófico y estructura trófica de la comunidad

### C.1. Perfiles isotópicos en la epifauna y estructura trófica

La epifauna está compuesta por especies que son el escalón intermedio entre los niveles de producción primaria y el/los nivel/es inmediatamente superior/es; es decir, ser trataría de los consumidores (carnívoros) secundarios de la cadena trófica. A partir del análisis de los grupos de epifauna fue posible establecer la estructura trófica, organizada en cinco grupos de dieta predominante: filtradores, grazers (o ramoneadores), suspensívoros – detritívoros, omnívoros y predadores primarios (signátidos).

La dificultad a la hora de determinar estos cinco grupos reside en la estructura y composición de los grupos faunísticos y las discrepancias existentes *a priori* en la bibliografía con respecto a las preferencias alimentarias de determinadas especies. La problemática principal radicó en la dificultad de establecer la dieta de cada OTUS (p. ej. en orden Harpacticoida o familia Nereididae). Hay grupos faunísticos que presentan un amplio abanico de fuentes alimentarias, como el caso de los poliquetos, que incluye especies suspensívoras facultativas, depositívoras, excavadoras o predadoras activas (Reise, 1978; Fauchald & Jumars, 1979).

Los organismos filtradores se alimentan casi en exclusiva de microfitoplancton (Page & Lastra, 2003). Mientras que los grazers lo harían en macroalgas (Arrontes, 1990; Araujo *et al.*, 2015). La mayoría de grazers pueden dirigir eventualmente la base de su dieta a detritus o microfitobentos, mientras que otros como *Elysia* spp. son especies estenófagas que se alimentan exclusivamente de algas verdes (Jensen, 1994).

El grupo compuesto por los detritívoros - suspensívoros comprende un conjunto de especies de dieta eurífaga, con una tendencia predominante a la dieta suspensívora/detritívora. Algunos de sus integrantes alternan indistintamente ambas dietas, como *Corophium* spp. (Gerdol & Hughes, 1994). En el caso de los copépodos (orden Harpacticoida), se considera que tanto juveniles (copepoditos) como adultos son suspensívoros (herbi-, detritri-, carni- y omnívoros) (Hicks & Coull, 1983; Dahms & Qian, 2003).

El grupo de especies con dieta omnívora presenta grandes similitudes con el de los detritívoro – suspensívoros, ya que comprende tanto ejemplares puramente omnívoros, suspensívoros y algunos predadores oportunistas como *Caprella acanthifera* (Guerra-García & Tierno de Figueroa, 2009). En este grupo también se encuentran organismos eurípagos, como *Hippolyte varians*, capaz de alimentarse de macroalgas o de preda en pequeños bivalvos y gasterópodos (Coombs & Allen, 1978). Los grupos de dieta predadora activa posiblemente sean los menos complejos en su clasificación trófica.

Pese a las dificultades antes señaladas, consideramos que la organización que se ha realizado en este estudio responde fielmente a la realidad, tal como lo demuestra el clúster de similitud aportado (**fig. 19**).

Una vez establecida la composición de los grupos de epifauna dominantes se determinaron los perfiles isotópicos de los componentes de cada grupo trófico y las fuentes de variabilidad isotópica. El análisis de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  puso de manifiesto la existencia de variabilidad inter e intra-específica en los valores de ambos isótopos. La tendencia estacional global en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  apunta a un enriquecimiento de  $\delta^{15}\text{N}$  en primavera, que incrementó verano, y un empobrecimiento en otoño. Dicha fluctuación estacional pudo deberse a dos causas principales: (1) cambios en la fuente de alimento (composición de la dieta) y/o (2) empobrecimiento/enriquecimiento de la fuente de  $\delta^{15}\text{N}$  (cambios en la línea de base de la cadena trófica).

La ría de Vigo recibe un aporte continuo de nutrientes, debido a la remineralización de la materia orgánica y los procesos de afloramiento (Prego *et al.*, 1999). Estos procesos están estrechamente vinculados a cambios en la composición y dinámica del fitoplancton (y zooplancton) (Figueiras *et al.*, 2008) y, en consecuencia, en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ . Tanto filtradores (*M. costulatus*, F. Mytilidae) como grazers o suspensívoros (O. Harpacticoida) se alimentan mayoritariamente de microplancton (diatomeas, nanoflagelados autótrofos y cianobacterias) y microalgas bénticas (Jensen, 1994; Page & Lastra: 2003; Galván *et al.*, 2008). Estos grupos de epifauna, a su vez, sirven de alimento para aquellos organismos omnívoros y predadores activos.

En una escala local y a corto plazo las dinámicas del plancton, tales como crecimiento, fecundidad y supervivencia, están directamente afectadas por factores ambientales como temperatura o disponibilidad/calidad de las fuentes nutricionales (Buttay *et al.*, 2016). A mayor escala geográfica, factores como diversidad o tamaño corporal, están significativamente correlacionados con la variabilidad climática a gran escala, como la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) (Drinkwater *et al.*, 2003) o El Niño (ENSO). A escala local y concretamente en la ría de Vigo, el ciclo climático que marca profundamente la hidrografía y dinámica de la ría es el ciclo estacional de afloramiento – hundimiento (Rosón *et al.*, 2008). Varios estudios han indicado la existencia de variaciones en la abundancia de zooplancton de la ría, estrechamente ligada a este ciclo (Bode *et al.*, 2009; Roura *et al.*, 2013; Buttay *et al.*, 2016), dicha abundancia se caracteriza por un máximo de mayo a septiembre y un mínimo invernal. El control que ejercen los factores físico – químicos sobre los productores primarios se extiende a lo largo de toda la cadena trófica, adaptándose a los tiempos de respuesta de cada organismo. Las variaciones en la comunidad zooplanctónica están estrechamente acopladas al escalón de los productores primarios, el fitoplancton y las macrófitas.

En un ciclo estacional, durante la época de afloramiento (marzo – septiembre) la comunidad fitoplanctónica está dominada por células de gran tamaño ( $>20\mu\text{m}$ ), el microfítoplancton (Cerniño *et al.*, 2006; Figueiras *et al.*, 2008), constituido principalmente diatomeas (hasta 80% de la biomasa autótrofa). Estos organismos tienen un mayor potencial de exportación de materia orgánica hacia los niveles superiores de la cadena trófica, lo que incrementaría los niveles de  $\delta^{15}\text{N}$  de sus consumidores (Fry & Wainright, 1991). Además, debido a su gran tamaño, sedimentan rápidamente al fondo de la columna de agua, pasando a formar parte del detritus, alimento de varios grupos de epifauna.

El empobrecimiento en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  de la epifauna en otoño (tendencia que presumiblemente continuaría en invierno) podría deberse a un cambio en la composición del fitoplancton, ligada al inicio de la estación de hundimiento (octubre – febrero). Las diatomeas pasarían a un plano secundario y el pico y nanoplancton (dinoflagelados autótrofos) pasaría a dominar la estructura de la comunidad. Como consecuencia, la tasa de producción de materia orgánica disminuiría considerablemente; por tanto, la exportación a niveles tróficos superiores. También, es posible que el empobrecimiento en  $\delta^{15}\text{N}$  de otoño esté relacionado con el ciclo de reciclado de los nutrientes, que discrimina en contra del  $\delta^{15}\text{N}$  al no haber aportes nuevos oceánicos debidos al afloramiento (Cifuentes *et al.*, 1989).

En lo que se refiere a la variabilidad estacional de  $\delta^{13}\text{C}$ , se observó un empobrecimiento en primavera y verano, indicando un mayor aporte de materia orgánica de origen oceánico, empobrecida en  $\delta^{13}\text{C}$ . La tendencia al enriquecimiento en  $\delta^{13}\text{C}$  durante el otoño sugiere una fuente de DOC (carbono orgánico disuelto) de origen más continental.

Los cambios anuales en las fuentes de carbono total se relacionan con la dinámica del carbono en la ría de Vigo. Debido a los eventos de afloramiento de primavera – verano en la ría el 90% DOC proviene de las ACNAE (Agua Central del Atlántico Nordeste), mientras que en invierno

el aporte se reduce al 23% (Álvarez - Salgado *et al.*, 2001). Durante los meses de otoño e invierno también se aprecia una entrada de nutrientes de procedencia continental, debido a la descarga de los ríos Verdugo - Oitavén, cuya máxima descarga se produce en los meses de invierno (Otero *et al.*, 2010). En esa época, una entrada de agua dulce se introduce en la ría de Vigo, aportando nutrientes ricos en  $\delta^{13}\text{C}$  producto de la escorrentía superficial.

A diferencia de lo observado en otras zonas geográficas (Lange *et al.*, 2018), no se observó variabilidad isotópica zonal en los perfiles isotópicos de la epifauna. Las zonas seleccionadas resultaron ser muy semejantes y relativamente poco distantes entre sí.

Además de la variabilidad estacional, se observó un componente de variabilidad isotópica interespecífica en los taxones de epifauna estudiados (Copepoda, Amphipoda, Decapoda, Mysidacea, Gastrópoda, Bivalvia y Ophiuroidea).

En el caso de  $\delta^{15}\text{N}$ , la significativa diferencia entre taxones se debió a la posición trófica (dieta) de cada taxón. Los filtradores (F. Mytilidae, *I. irus*, *M. costulatus*), al ser el primer escalón en la cadena trófica estudiada, exhibieron los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  más bajos, mientras que el grupo de misidáceos (*S. armata*), el de mayor nivel trófico dentro de la epifauna, presentó los valores más elevados.

La variabilidad de  $\delta^{13}\text{C}$  se debió a las distintas fuentes de carbono utilizadas, a la presencia de/ausencia de esqueleto carbonatado (crustáceos, equinodermos) y a diferentes contenidos en lípidos, dependiendo de la especie o grupo taxonómico considerado.

En el proceso de preparación de las muestras de epifauna en el laboratorio, los exoesqueletos carbonatados de los moluscos se eliminaron, ya que el  $\text{CaCO}_3$  de las conchas procede de  $\text{HCO}_3^-$  del agua de mar, que al estar enriquecida en  $^{13}\text{C}$  inorgánico, no supone ningún aporte dietario (Gillikin *et al.*, 2007). En el caso del taxón Ophiuroidea se obtuvieron valores de  $\delta^{13}\text{C}$  muy altos (-11,04), ya que no fue posible eliminar dicha fuente de carbono isotópico.

Asimismo, el contenido lipídico de un organismo también influye en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$ . La capacidad de los lípidos de provocar variaciones isotópicas de carbono se debe a dos causas principales: (1) a la discriminación en contra de  $^{13}\text{C}$  durante la síntesis lipídica, de lo que resulta que los lípidos estén empobrecidos (6-8‰) en  $\delta^{13}\text{C}$  con respecto a proteínas y carbohidratos, (DeNiro & Epstein, 1977) y (2) la alta heterogeneidad en el contenido lipídico de los organismos marinos (Post, 2000) e incluso entre tejidos de un mismo organismo (Sweeting *et al.*, 2006).

Para lidiar con la fuente de variabilidad lipídica en los análisis isotópicos, algunos autores han optado por realizar una extracción previa de los lípidos, utilizando una solución de metanol-cloroformo en las muestras previamente congeladas (Pinnegar & Polunin, 1999). El inconveniente de esta técnica es que causa fraccionamiento en  $\delta^{15}\text{N}$  (Pinnegar & Polunin, 1999; Post *et al.*, 2007). Una alternativa a la extracción lipídica sería la corrección de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  en base a la relación C/N cuando ésta supere el valor de 3,5 (Post *et al.*, 2007). Para ello sería necesario disponer de relaciones correctoras apropiadas para cada tipo de organismo. En este estudio no fue posible congelar las muestras de epifauna recién muestreadas ya que fueron necesarios largos tiempos de separación manual e identificación de los distintos componentes faunísticos de la epifauna, para lo cual era necesario disponer de organismos íntegros bien conservados. En consecuencia, se optó por la conservación en etanol. Aun así, actualmente se está realizando un estudio paralelo en el que se pretende determinar los factores de corrección para los componentes mayoritarios de la epifauna de islas Cíes.

Se espera que la variabilidad puesta de manifiesto en los valores isotópicos ( $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$ ) de la epifauna debido al tipo de conservación de las muestras de pueda tener algún efecto (no muy

importante) en la caracterización de la posición trófica de OTUS de la epifauna y también de los signátidos (capítulo siguiente).

## C.2. Nivel trófico de Signátidos y variaciones isotópicas inter-específicas e intra-específicas.

En este estudio se ha cuantificado por primera vez la posición trófica de *Hippocampus guttulatus*, *Entelurus aequoreus* y *Syngnathus acus*. Estas especies de signátidos presentaron un nivel trófico muy próximo al nivel 4, con valores de 3,66 a 3,73. En las especies marinas, este nivel está integrado por peces planctívoros (consumidores secundarios).

El abanico de presas potenciales de las especies integrantes de la familia Syngnathidae es muy amplio, los peces pipa del género *Syngnathus* spp., caracterizados por sus aletas bien formadas y la ausencia de cola prensil, están tróficamente muy diversificados, pudiendo alimentarse en el sedimento o de la epifauna asociada a las algas (Franzoi *et al.*, 1993; García *et al.*, 2005; Oliveira *et al.*, 2007). Por contra, aquellas especies con la aleta caudal ausente, como los caballitos de mar *Hippocampus* spp. o los peces pipa *Entelurus aequoreus*, aparecen asociadas a la vegetación y alimentándose de presas plantónicas.

En lo estrictamente referente a la composición de la dieta de los signátidos de las islas Cíes, no es objetivo del presente estudio identificar con precisión los componentes dietarios. Este estudio se está realizando en la actualidad mediante la aplicación de modelos Bayesianos (Valladares *et al.*, 2017).

Estudios previos señalan que la dieta de *H. guttulatus* es diversa. Esta especie es un predador pasivo que utiliza la emboscada para capturar a sus presas. Se mantiene activo durante el periodo diurno, cuando la diversidad de macrofauna es superior al periodo nocturno, y se alimenta sobre todo de Amphipoda, Anomura Decapoda y Mysidacea (Curtis & Vincent, 2005; Kitsos *et al.*, 2008). En zonas geográficas próximas a la de este estudio se han observado perfiles isotópicos similares a los encontrados por nosotros y las especies que más contribuyeron a la dieta fueron caprélidos, gammáridos y carídeos (Valladares *et al.*, 2017). Debido a la composición de su dieta, sus niveles de  $\delta^{15}\text{N}$  son los más altos de las tres especies, presentando el nivel trófico más alto (3,73) de las tres especies estudiadas.

En el caso de *Entelurus aequoreus* no se conocen datos concretos de las especies que componen su dieta. Sus valores de  $\delta^{15}\text{N}$  fueron ligeramente inferiores a los de *H. guttulatus* y casi idénticos a los de *S. acus*.

De *Syngnathus acus* la bibliografía no aporta datos sobre la composición de su dieta. En especies próximas como *S. folletti*, se vio que se alimentan de Copepoda, Amphipoda, Mysidacea y huevos de peces (Teixeira & Vieira, 1995; García *et al.*, 2005). En el caso de ejemplares mediterráneos de *S. abaster* y *S. typhle* (Vizzini & Mazzola, 2004) se indicó que tanto juveniles como adultos tienen un nicho alimentario complejo que incluye copépodos del orden Harpacticoida, isópodos y misidáceos.

Los perfiles isotópicos de carbono también fueron muy semejantes entre las tres especies de signátidos, con valores elevados, lo que podría estar en consonancia con un origen más bentónico del alimento.

En cuanto a las diferencias isotópicas intra-específicas en *S. acus*, la marcada diferencia entre los dos grupos de talla comparados sugiere ciertas diferencias en la dieta. El grupo de menor talla (<33,6cm) mostró un cierto empobrecimiento en  $\delta^{15}\text{N}$  con respecto al grupo de mayor tamaño (>33,6cm). La diferencia de talla está relacionada con el tamaño de la boca. Los signáti-

dos adultos, con unos hocicos más largos, bocas más grandes y mayor capacidad de desplazamiento predarían sobre presas con mayor movilidad y posiblemente más dispersas, en cambio, los individuos más pequeños se centrarían más en presas lentas de origen planctónico, como Gammarida, Amphipoda o Harpacticoidea. (Kendrick & Hyndes, 2005; Oliveira *et al.*, 2007). El tamaño del hocico limitaría el mecanismo de succión, típico de estas especies, centrándose en presas de menor tamaño (Teixeira & Vieira, 1995).

El enriquecimiento en  $\delta^{15}\text{N}$  con el aumento del tamaño corporal también se ha observado en otras especies de peces marinos, como la sardina (*Sardina pilchardus*) (Bode *et al.*, 2003). Algo similar sucedería con el enriquecimiento isotópico y la posición trófica (Jennings *et al.*, 2002).

En cuanto a las zonas de muestreo, al igual que ocurría con la variabilidad en la epifauna, la similitud entre los perfiles isotópicos de los signátidos de las tres zonas muestreadas (A, B, C) indicaría hábitos alimentarios y dietas semejantes.

Respecto a la variabilidad estacional, resalta el hecho de que las tendencias de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  sean semejantes a las de la epifauna. Es decir, al máximo de primavera en  $\delta^{15}\text{N}$  le seguiría un empobrecimiento estival y, en menor medida, otoñal. Este comportamiento podría deberse a tres causas principales:

- (1) Variación en los niveles de  $\delta^{15}\text{N}$  en los componentes de la dieta. En este sentido, hay que tener en cuenta el retraso en la incorporación y estabilización del isótopo en el tejido (equilibrio isotópico), que en este estudio fue la aleta dorsal. En el caso del  $\delta^{13}\text{C}$  en juveniles de *H. guttulatus*, el equilibrio se alcanzaría en un período de tiempo no muy largo (aproximadamente 2 semanas), mientras que para  $\delta^{15}\text{N}$  se requeriría mucho más tiempo (M. Planas, com. pers.).
- (2) Cambio estacional en el tipo y diversidad de especies que predan. En ejemplares de *Syngnathus taenionotus* del Delta del Po que se ha observado que la alimentación en verano se centra preferentemente en copépodos calanoideos y en larvas de crustáceos. Franzoi *et al.*, (1993), incorporan los misidáceos en la dieta de otoño, cuando la abundancia de copépodos tiende a disminuir o desaparecer. En ese caso, los misidáceos serían una presa de emergencia ante la escasez de las presas preferidas, en consonancia con Valladares *et al.*, (2017).
- (3) Migraciones. La existencia de migraciones de/hacia zonas más protegidas es conocida. Una migración implicaría un potencial cambio en los integrantes de la dieta y/o un cambio en el perfil isotópico de la cadena trófica (con cambios en la línea base). La posibilidad de desplazamientos desde zonas más interiores de la ría en primavera o antes estaría soportada por el aumento de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  en dicha época. En dichas zonas habría un enriquecido en  $\delta^{13}\text{C}$  debido a los aportes terrestres.

La falta de diferencias entre sexos (machos vs hembras) o estado sexual (inmaduros vs machos preñados/hembras ovígeras) en la alimentación de *S. acus* coincide con lo señalado por otros autores en la especie *S. typhle* (Oliveira *et al.*, 2007). Estudios previos ponen de manifiesto diferencias entre hembras y machos adultos, sugiriendo que las hembras son más móviles y activas que los machos, predando en un conjunto más diverso de presas (en términos de riqueza de presas y rangos de tamaño) mientras que los machos se concentran en tamaños de presa más pequeños (isópodos y copépodos) (Roelke & Sogard, 1993; García *et al.*, 2005).

### C. 3. Estructura trófica global

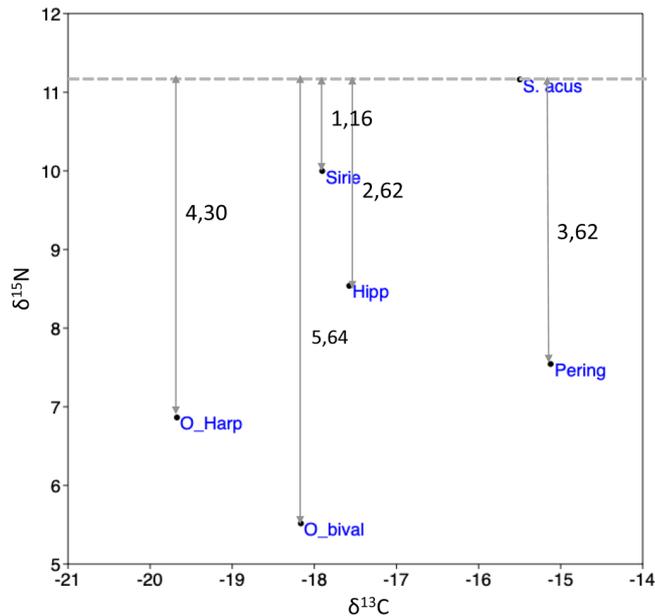
El análisis de los isótopos estables de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  de las tres especies de signátidos y los grupos de epifauna reveló la estructura de la cadena trófica compleja asociada al dosel de algas en la cara interna del archipiélago de las Islas Cíes. La complejidad de las relaciones tróficas estudiadas se puso de manifiesto en el gráfico carbono – nitrógeno, donde los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de las especies representadas se mueven en un amplio abanico. La estructura vertical en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  evidencia la disposición de los distintos grupos tróficos, marcando el enriquecimiento en  $\delta^{15}\text{N}$  a lo largo de la cadena trófica.

La complejidad de la cadena se mantiene gracias a la alta productividad del ecosistema de la ría de Vigo (Nogueira *et al.*, 1997; Álvarez-Salgado *et al.*, 2001; Cermeño *et al.*, 2006), que es capaz de exportar grandes cantidades de producción primaria hacia los niveles tróficos superiores.

En el caso de los signátidos se obtuvo una posición trófica media de 3,6, que corresponde a un consumidor secundario. Esto coincide con la bibliografía consultada, Romanuk *et al.*, (2011) detallan la posición trófica del orden Gasterosteiformes (TL= 3,49), dentro del cual se encuentra la familia Syngnathidae, pero es meramente orientativo debido a que considera muchas otras familias de peces no signátidos.

A la hora de estudiar una cadena trófica hay varias cuestiones en las que se debe poner especial atención. Una de ellas es la elección de la línea de base. La línea de base debe integrar el cambio isotópico a una escala próxima al consumidor secundario de interés, cubrir el mismo periodo temporal que el consumidor y capturar la variabilidad espacial (Post, 2002). La situación ideal requiere de emplear datos de  $\delta^{15}\text{N}$  del nivel de los productores primarios, tanto macrófitas como fitoplancton. En el caso particular de los muestreos de 2017 en el archipiélago de Cíes no se recolectaron muestras para SIA, ni de macrófitas ni de fitoplancton. A falta de ello la bibliografía consultada tampoco aportó datos isotópicos concretos de la biomasa productora en la ría de Vigo. Se optó por seleccionar el bivalvo *Musculus costulatus* (gasterópodo muy representativo del hábitat en Cíes) como línea de base, ya que la especie supone el nivel más bajo de  $\delta^{15}\text{N}$  muestreado y representa el nivel inferior de la cadena trófica estudiada. Además, sus valores para ambos isótopos son estables temporal y espacialmente, a lo largo de las zonas de muestreo y las estaciones muestreadas.

La siguiente cuestión a tener cuenta es el fraccionamiento isotópico. Definiendo como fraccionamiento isotópico al enriquecimiento en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  y de  $\delta^{13}\text{C}$  según se asciende en los niveles de la cadena trófica (Peterson & Fry, 1987; Yokoyama *et al.*, 2005). En el caso del  $\delta^{15}\text{N}$  este enriquecimiento se ve claramente entre la especie *Syngnathus acus* y los cinco niveles de epifauna considerados (**fig. 22**). Las mayores diferencias en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  se dan respecto al grupo de los filtradores (5,64 unidades de diferencia con respecto a la especie *M. costulatus*); la diferencia se hace menor en los sucesivos niveles de grazer y suspensívoros/detrítivoros (3,63 y 4,3 unidades respectivamente respecto a las especies *Peringia ulvae* y el orden Harpacticoida), en omnívoros (2,62 unidades con respecto a *Hippolyte varians*) y es mínima en el nivel de predadores activos (1,16 unidades con respecto a la especie *S. armata*). En el caso del  $\delta^{13}\text{C}$  la fuente de variabilidad natural influye en el enriquecimiento isotópico, además de que los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  se relacionan también con el estado de alimentación, aumentando cuando las condiciones alimentarias no son óptimas.



**Fig. 22.** Diferencia en el enriquecimiento isotópico de los diferentes grupos de epifauna con respecto al nivel de *Syngnathus acus*. Abreviaturas: ver **fig. 19**.

En base a estudios previos se asume que para el caso de organismos marinos el fraccionamiento a través de la cadena trófica es de 3,4‰ para el  $\delta^{15}\text{N}$  y de 1‰ para  $\delta^{13}\text{C}$  (Minagawa & Wada, 1984; Cabana & Rasmussen, 1996; Post, 2002). Sin embargo, en aras de una mayor rigurosidad se debería estudiar el fraccionamiento isotópico de los signátidos y los niveles de epifauna en base a una dieta conocida, para eliminar la fuente de incertidumbre que provoca la variabilidad natural.

Por último, también es importante tener en cuenta el acoplamiento temporal entre los distintos compartimentos tróficos. El metabolismo de cada organismo dicta los tiempos entre que una presa o fuente de alimento es ingerida hasta que se alcanza el equilibrio en los niveles isotópicos en el tejido. El tiempo que se tarda en el alcanzar el equilibrio también va a depender del tejido estudiado. En el caso de la epifauna se conocen datos concretos de asimilación para algunas especies. Estudios previos en copepodites (*Acartia tonsa*, en la costa sueca) han demostrado que se alcanza el equilibrio en los tejidos a los cinco días de la ingesta, en copépodos adultos el proceso es más largo (Tiselius & Fransson, 2016). En cuanto a los signátidos, se conoce que el equilibrio para  $\delta^{13}\text{C}$  en larvas de *Hippocampus guttulatus* se alcanza en menos de 2 semanas, en  $\delta^{15}\text{N}$  se requiere más tiempo (M. Planas, com. pers., datos sin publicar).

Pese a todos los factores de inexactitud comentados, se considera que la cadena trófica estudiada, compuesta por la epifauna y los grupos de signátidos, está bien caracterizada. Los signátidos en sus hábitats naturales, presentan una dieta compleja que comprende una amplia variedad de presas potenciales, exhibiendo un alto grado de especialización trófica en comparación con otros teleóstomos (Kendrick & Hyndes, 2005). Este alto grado de especialización se da incluso entre especies de signátidos, debido a las diferencias en la morfología de sus hocicos que, junto al patrón de depredación, determina el comportamiento alimentario.

Es posible que no todos los grupos de epifauna estudiados en este trabajo formen parte de la dieta habitual de las tres especies de signátidos. Se espera que el análisis bayesiano de los isótopos estables de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  arroje luz sobre la composición taxonómica de la dieta de los signátidos. Así mismo se espera obtener más datos tróficos en los análisis interanuales, ya sea para ratificar o corregir los datos expuestos en este trabajo fin de máster.

## Conclusiones y perspectivas futuras

El presente estudio aporta novedosa información sobre comunidad de signátidos que habitan las comunidades vegetales del archipiélago de las Islas Cíes. Con base en la información comentada se pueden sintetizar los siguientes puntos:

- I. Las tres zonas (A - Pau de Bandeira, B - Islote de Viños - Carracido y C - Borrón) estudiadas en los muestreos de 2017 se sitúan en los hábitats más propicios para las tres especies de signátidos avistadas: el caballito de mar *Hippocampus guttulatus* y los peces pipa *Entelurus aequoreus* y *Syngnathus acus*. El archipiélago mantiene una población reducida de *H. guttulatus* y *E. aequoreus*, muy selectivas en su hábitat (presentes solo en Borrón), mientras que *S. acus* mostró una distribución menos selectiva y una densidad poblacional mucho mayor. Las elevadas abundancias de *S. acus*, la dominancia de hembras y las grandes tallas medias de la población (además de la ausencia de ejemplares jóvenes/subadultos) señala al archipiélago como una zona de reproducción de interés.
- II. La reducción en la abundancia de signátidos se relaciona con un deterioro del hábitat ligado a las condiciones de mala mar por temporales de otoño – invierno, lo que reduce la cobertura vegetal y la disponibilidad de alimento.
- III. Las variaciones estacionales en la abundancia de los taxones de epifauna responden a los ciclos vitales de las especies que la conforman y a las variaciones de los factores ambientales.

El análisis de las firmas isotópicas de  $^{15}\text{N}$  y  $^{13}\text{C}$  de las especies de signátidos y de la epifauna, permitió establecer las siguientes conclusiones:

- IV. Los OTUS que componen la epifauna fueron caracterizados por sus niveles de  $\delta^{15}\text{N}$  según su dieta y posición trófica, corroborando la información bibliografía disponible.
- V. Se considera que la variabilidad isotópica intra-específica de los OTUS está relacionada con los ciclos de producción de los productores primarios (macroalgas y fitoplancton). Esta variabilidad se relaciona con la sucesión estacional de especies (perfiles de  $\delta^{15}\text{N}$ ) y con los cambios en la hidrografía y dinámica de la ría (fuente de  $\delta^{13}\text{C}$ ).
- VI. El análisis de las firmas isotópicas de las tres especies de signátidos estudiadas ha permitido caracterizar por primera vez su posición trófica, no encontrándose diferencias significativas entre las tres especies ni inter-sexos. El nivel trófico se reveló muy próximo al de los consumidores secundarios. Los elevados valores de  $\delta^{13}\text{C}$  en los signátidos sugieren un origen de la dieta predominantemente bentónico.
- VII. Las diferencias isotópicas intra-específicas, tanto en  $\delta^{15}\text{N}$  como  $\delta^{13}\text{C}$ , en relación a la talla de *S. acus* indican diferencias significativas en la composición de la dieta de los ejemplares de menor tamaño frente aquellos más grandes.
- VIII. La variabilidad estacional en las firmas isotópicas de  $\delta^{15}\text{N}$  de los signátidos estaría en consonancia con cambios en la estructura trófica y abundancia de OTUS (menor disponibilidad de alimento en otoño – invierno), lo que conllevaría migraciones de la población de *S. acus*.

Como conclusión final, este trabajo final de máster aporta información necesaria para la estimación de los componentes específicos de la dieta de los peces signátidos mediante la aplicación de análisis más complejos (modelos bayesianos) de los isótopos estables de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$ . Asimismo sirve de complemento y referencia para la información obtenida en el archipiélago durante el presente año 2018.

## Agradecimientos

En primer lugar, quiero mostrar mi agradecimiento al Organismo Autónomo de Parques Nacionales (OAPN) por la financiación del Proyecto Hippoparques, así como al Laboratorio de Biología y Fisiología Larvaria de Peces del Instituto de Investigaciones Marinas (IMM – CSIC), técnicos e investigadores, por haberme dado la oportunidad de realizar este estudio.

De manera especial quiero darle millones de gracias a Miquel Planas. Tutor de este trabajo, por la infinita paciencia que ha tenido conmigo, por todo su tiempo extra de dedicación y por valorar mi dedicación y esfuerzo.

A Laura, por ser mi instructora y compañera de laboratorio, por estar siempre ahí a todas horas para las dudas, las risas y las preocupaciones derivadas de este trabajo. Eres la compi de laboratorio que todos querrían tener y te deseo toda la suerte del mundo en tu aventura en la vida.

A Noe, por su buena compañía, las horas de biblioteca que sufrimos juntas y los cafés mañaneros de “solo media horita y volvemos”.

A Ledi, Srta. ilustradora científica Leticia Prieto Vázquez (a.k.a. Aralia art). No tengo palabras para la portada que me has hecho.

A mis profesores, tanto los del Grado en Biología como los del Máster en Oceanografía, por los consejos heredados.

A Fernando, por el apoyo y la paciencia con todos mis dramas de datos (y con los dramas que no eran de datos), y repetir las cosas mil veces hasta que me quedaron a fuego.

Este trabajo (y yo) es mejor hoy que ayer gracias a todos vosotros, infinito agradecimiento y cariño. Y a todas esas personas, que ellas saben quiénes son, que me han sufrido y aguantado todos estos años. Estoy en camino.

## Bibliografía

- Aberle N., Hansen T., Boettger-Schnack R., Burmeister A., Post A. F., Sommer U. (2010). Differential routing of “new” nitrogen toward higher trophic levels within the marine food web of the Gulf of Aqaba Northern Red Sea. *Mar. Biol.* 157 pp 157-169 doi: 10.1007/s00227-009-1306-y
- Álvarez - Salgado, X. A., Gago J., Míguez B. M., Pérez F. F. (2001). Net ecosystem production of dissolved organic carbon in a coastal upwelling system: the Ría de Vigo, Iberian margin of the Sort Atlantic. *Limnol. Oceanogr.* 46 (1) pp 135 -147.
- Araujo C. V. M., Moreira-Santos M., Patricio J., Martins I., Moreno-Garrido I., Blasco J., Marques J.C., Ribeiro R. (2015). Feeding niche preference of the mudsnail *Peringia ulvae*. *Mar. Freshw. Res.* 66, 573-581.
- Arnaud F., Bamber R.N. (1988). The biology of Pycnogonida. *Adv. Mar. Biol.* 24: 1-96. DOI: 10.1016/S0065-2881(08)60073-5
- Arrontes J. (1990). Diet, food preference and digestive efficiency in intertidal isopods inhabiting macroalgae. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, Vol. 139, pp. 231-249.
- Baeta A., Vieira L. R., Lirio A. V., Canhoto C., Marques J. C., Guilhermino L. (2017). Use of stable isotope ratios of fish larvae as indicator to assess diets and patterns of anthropogenic nitrogen pollution in estuarine ecosystems. *Ecol. Indic.* 83 pp 112-121.
- Bañón R., Villegas -Ríos D., Serrano A., Mucientes G., Arronte J. C. (2010). Marine Fishes from Galicia (NW Spain): an updated checklist. *Zootaxa* 2667 pp 1-27.
- Bergert B. A., Wainwright P. C. (1997). Morphology and kinematics of prey capture in the syngnathid fishes *Hippocampus Erectus* and *Syngnathus floridae*. *Mar. Biol.* 127 pp 563-570.
- Bode A., Alvarez-Ossorio M. T., Cabanas J. M. M., Miranda A., Varela, M. (2009). Recent trends in plankton and upwelling intensity off Galicia (NW Spain). *Prog. Oceanogr.* 83 pp 342–350.
- Bode A., Alvarez-Ossorio M.T., Varela M. (2006). Phytoplankton and macrophyte contributions to littoral food webs in the Galician upwelling (NW Spain) estimated from stable isotopes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 318 pp 89–102.
- Bode A., Carrera P., Lens S. (2003). The pelagic foodweb in the upwelling ecosystem of Galicia (NW Spain) during spring: natural abundance of stable carbon and nitrogen isotopes. – *ICES J. Mar. Sci.* 60 pp 11–22.
- BOE, (2011). Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero, para el desarrollo del Listado de especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas. BOE-A-2011-3582. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2011/02/04/139>
- Boecklen W. J., Yarnes C. T., Cook B. A., James A. C. (2011) On the use of stable isotopes in trophic ecology. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 42 pp 411 -440.
- Buttay L., Miranda A., Casas G., González-Quirós R., Nogueira E. (2016). Long-term and seasonal zooplankton dynamics in the northwest Iberian shelf and its relationship with meteo-climatic and hydrographic variability. *J. Plankton Res.* 38 (1) pp 106–121. doi:10.1093/plankt/fbv100
- Cabana G., Rasmussen J. B. (1996). Comparison of aquatic food chains using nitrogen isotopes. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 93 pp 10844-10847.
- Caldwell I. R., Vincent A. C. J. (2013). A sedentary fish on the move: effects of displacement on long-snouted seahorse (*Hippocampus guttulatus* Cuvier) movement and habitat use. *Environ. Biol. Fish.* 96 pp 67-75.
- Caut S., Angulo E., Courchamp F. (2009). Variation in discrimination factors ( $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{13}\text{C}$ ): the effect of diet isotopic values and applications for diet reconstruction. *J. App. Ecol.* 46 pp 443-453.

- Cermeño P., Marañón E., Pérez V., Serret P., Fernández E., Castro C.G. (2006). Phytoplankton size structure and primary production in a highly dynamic coastal ecosystem (Ría de Vigo, NW-Spain): seasonal and short time scale variability. *Estuar. Coast. and Shelf Sci.* 67 pp 251–266.
- Cifuentes L. A., Fogel M. L., Pennock J. R., Sharp J. H. (1989). Biogeochemical factors that influence the stable nitrogen isotope ratio of dissolved ammonium in the Delaware Estuary. *Geochim. Cosmochim. Acta* 55 pp 2713-2721.
- Cohen F.P.A., Valenti W.C., Planas M., Calado R. (2017). Seahorse aquaculture, biology and conservation: knowledge gaps and research opportunities. *Rev. fish. sci. aquac.* 25 (1) pp 100 - 111.
- Coombs E.F., Allen J.A. (1978) The functional morphology of the feeding appendages and gut of *Hippolyte varians* (Crustacea: Natantia). *Zool. J. Linnean Soc.* 64 pp 261-282.
- Costelloe J., Keegan B.F. (1984) Feeding and related morphological structures in the dendrochirote *Aslia lefevrei* (Holothuroidea: Echinodermata). *Mar. Biol.* 84 pp 135-142.
- Curtis J. M. R., Vincent A. C. J. (2005). Distribution of sympatric seahorse species along a gradient of habitat complexity in a seagrass - dominated community. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 291 pp 81 - 91.
- Curtis J. M. R., Vincent A. C. J. (2006). Life history of an unusual marine fish: survival, growth and movement patterns of *Hippocampus guttulatus* Cuvier 1829. *J. Fish. Biol.* 68 pp 707-733.
- Dahms H.U., Qian P.Y. (2004). Life histories of the Harpacticoida (Copepoda, Crustacea): a comparison with meiofauna and macrofauna. *J. Nat. Hist.* 38 (14), 1725–1734.
- Darriba S., San Juan F., Guerra A. (2005). Energy storage and utilization in relation to the reproductive cycle in the razor clam *Ensis arcuatus* (Jeffreys, 1865). *ICES J. Mar. Sci.* 62 pp 886 – 896.
- Dawson C. E. (1986). Syngnathidae. In: Whitehead P. J. P., Bauchot M. L., Hureau J. C., Nielsen J., Tortonese E. (eds) Fishes of the north-eastern Atlantic and the Mediterranean, vol 2. UNE- SCO, Paris, pp 628–639.
- DeNiro M. J., Epstein S. (1977). Mechanism of carbon isotope fractionation associated with lipid synthesis. *Science* 197 pp 261–263.
- DeNiro M. J., Epstein S. (1978). Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 42 pp 495–506.
- DeNiro M. J., Epstein S. (1981). Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 45 pp 341–351.
- Deudero S., Pinnegar J. K., Polunin N. V. C., Morey D., Morales-Nin B. (2004). Spatial variation and ontogenic shifts in the isotopic composition of Mediterranean littoral fishes. *Mar. Biol.* 145 pp 971-981.
- Dornellas A. P. S., Simone L. R. L. (2011) Bivalves in the stomach contents of *Calliostoma coppingeri* (Calliostomatidae: Gastropoda). *Strombus* 18 (1–2) pp 10–12.
- Drinkwater K. F., Belgrano A., Borja A., Conversi A., Edwards M., Greene C. H., Ottersen G., Pershing A. J., Walter H. (2003). The response of marine ecosystems to climate variability associated with the North Atlantic Oscillation. En Hurrell J., Kushnir Y., Ottersen G., Visbeck M., (eds). The North Atlantic Oscillation, Climatic Significance and Environmental Impact. Geophysical Monograph, 134 pp 211-234.
- Fauchald K., Jumars P.A. (1979) The diet of worms: a study of polychaete feeding guilds. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 17 pp 193-284.
- Figueiras F. G., Miranda A., Vergara A. R. (2008). Hidrografía y dinámica de la ría de Vigo. Un sistema de afloramiento. En González-Garcés S., Vilas F., Álvarez - Salgado X. A. (eds) La ría de Vigo. Una aproximación integral al ecosistema marino de la ría de Vigo. Vigo: Instituto de estudios Vigueses, pp 111-152.

- Finlay J. C. (2001). Stable -carbon - isotope ratios of river biota: implications for energy flow in lotic food webs. *Ecol.* 82 (4) pp 1052-1064.
- Fleischer D., Schaber M., Piepenburg D. (2007). Atlantic snake pipefish (*Entelurus aequoreus*) extends its northward distribution range to Svalbard (Arctic Ocean). *Polar Biol.* 30 pp 1359-1362.
- Foster S. J., Vincent A. C. J. (2004). Life history and ecology of seahorses: implications for conservation and management. *J. Fish Biol.*, 65 pp 1-61.
- France R. L., (1995). Carbon-13 enrichment in benthic compared to planktonic algae: food web implications. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 124 pp 307-312.
- France R. L., Peters R. H. (1997). Ecosystem differences in the trophic enrichment of  $^{13}\text{C}$  in aquatic food webs. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54 (6) pp 1255-1258.
- Franz-Odenaal T., Adriaens D. (2014). Comparative developmental osteology of the seahorse skeleton reveals heterochrony amongst *Hippocampus* sp. and progressive caudal fin loss. *EvoDevo* 2014 5:45. <http://www.evodevojournal.com/content/5/1/45>
- Franzoi P., Maccagnani R., Rossi R., Ceccherelli V. U. (1993). Life cycles and feeding habits of *Syngnathus taenionotus* and *S. Baster* (Pisces, Syngnathidae) in a brackish bay of the Po River Delta (Adriatic Sea). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 97 pp 71-81.
- Fry B., Wainright S. C. (1991). Diatoms sources of  $^{13}\text{C}$ -rich carbon in marine food webs. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 76 pp 149-157.
- Galván K., Fleeger J. W., Fry B. (2008). Stable isotope addition reveals dietary importance of phytoplankton and Microphytobenthos to saltmarsh infauna. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 359 pp 37-49.
- García A. M., Geraldi R. M., Vieira J. P. (2005). Diet composition and feeding strategy of the southern pipefish *Syngnathus folletti* in the Widgeon grass bed of the Patos Lagoon Estuary, RS, Brazil. *Neotrop. Ichthyol.* 3 (3) pp 427-432 <https://dx.doi.org/10.1590/S1679-62252005000300011>
- Gerdol V., Hughes R.G. (1994) Feeding behaviour and diet of *Corophium volutator* in an estuary in southeastern England. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* Vol. 114: 103-108.
- Gillikin D. P., Lorrain A., Meng L., Dehairs F. (2007). A large metabolic carbon contribution to the  $\delta^{13}\text{C}$  record in marine aragonite bivalve shells. *Geochim. Cosmochim. Acta* 71 pp 2936-2946.
- Guerra A., Lens S., Rocha F. (2008). Impacto del hombre sobre el ecosistema de la ría de Vigo: hacia una gestión integrada. En González-Garcés S., Vilas F., Álvarez - Salgado X. A. (eds) *La ría de Vigo. Una aproximación integral al ecosistema marino de la ría de Vigo*. Vigo: Instituto de estudios Vigueses, pp 325 -369.
- Guerra-García J.M., Tierno de Figueroa J.M. (2009) What do caprellids (Crustacea: Amphipoda) feed on? *Mar. Biol.* 156 pp 1881-1890. doi: 10.1007/s00227-009-1220-3.
- Gurkan S., Taskavak E., Hussucu B. (2009). The reproductive biology of the great pipefish *Syngnathus acus* (Family: Syngnathidae) in the Aegean Sea. *North-West. J. Zool.* 5 (1) pp 179 -190.
- Gurkan S., Taskavak E., Sever T.M., Akalin S. (2011). Gut contents of two european seahorses *Hippocampus hippocampus* and *Hippocampus guttulatus* in the Aegean Sea, coasts of Turkey, Pakistan. *J. Zool.*, vol. 43 (6) pp 1197-1201
- Hicks G. R. F.; Coull B.C. (1983). The ecology of marine meiobenthic harpacticoid copepods. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* 21 pp 67-175.
- Howard R. K., Koehn J. D. (1985). Population dynamics and feeding ecology of pipefish (Syngnathidae) associated with eelgrass beds of Western Port, Victoria. *Aust. J. Mar. Freshw. Res.* 36 pp 361-370.
- Iglesias L. (2018). Estudio espacio-temporal de la epifauna asociada a macroalgas en el Archipiélago de Cíes (Parque Nacional de las Islas Atlánticas, NO España). Trabajo de Fin de Máster, Máster Interuniversitario en Biología Marina, Universidades de Vigo, Santiago y Coruña, Spain), 36 pp.

- Jennings S., Pinnegar J. K., Polunin N. V. C., Warr K. J. (2002). Linking size-based and trophic analyses of benthic community structure. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 226 pp 77–85.
- Jennings S., Pinnegar, J. K., Polunin N. V. C., Boon, T. W. (2001). Weak cross-species relationships between body size and trophic level belie powerful size-based trophic structuring in fish communities. *J. Anim. Ecol.* 70 pp 934–944.
- Jensen K. R. (1994). Behavioural adaptations and diet specificity of sacoglossan opisthobranchs, *Ethol. Ecol. & Evol.*, 6:1 pp 87-101. doi: 10.1080/08927014.1994.9523011
- Kendrick A. J., Hyndes G. A. (2005). Variations in the dietary compositions of morphologically diverse syngnathid fishes. *Environ. Biol. Fish.* 72 pp 415-427.
- Kitsos M., Tzomos T., Anagnostopoulou L., Koukouras A. (2008). Diet composition of the seahorses, *Hippocampus guttulatus* Cuvier, 1829 and *Hippocampus hippocampus* (L., 1758) (Teleostei, Syngnathidae) in the Aegean Sea. *J. Fish Biol.*, 72 pp 1259-1267. doi:[10.1111/j.1095-8649.2007.01789.x](https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2007.01789.x)
- Kloppmann M.H.F., Ulleweit J. (2007) Off-shelf distribution of pelagic snake pipefish, *Entelurus aequoreus* (Linnaeus, 1758), west of the British Isles. *Mar. Bill.* 151 pp 271 - 275. doi:10.1007/s00227-006-0480-4
- Kuiter R. H. (2009). Seahorses and their Relatives. Seaford: Aquatic Photographics. 334 pp.
- Lange G., Haynert K., Dinter T., Scheu S., Kröncke I. (2018). Adaptation of benthic invertebrates to food sources along marine - terrestrial boundaries as indicated by carbon and nitrogen stable isotopes. *J. Sea Res.* 131 pp 12 - 21.
- Lazzari M. A., Able K. W. (1990). Northern pipefish, *Syngnathus fuscus*, occurrences over the Mid-Atlantic Bight continental shelf: evidence of seasonal migration. *Environ. Biol. Fish.* 27 pp 177-185.
- Lolas A., Vafidis D. (2013) Population dynamics of two caprellid species (Crustaceae: Amphipoda: Caprellidae) from shallow hard bottom assemblages. *Mar. Biodiv.* 43 pp 227-236. doi: 10.1007/s12526-013-0149-4
- Lourie S. A., Foster S. J., Cooper E. W., Vincent, A. C. (2004). A Guide to the Identification of Seahorses. Project Seahorse and TRAFFIC North America. Washington D.C.: University of British Columbia and World Wildlife Fund.
- Marshall B.A. (1995). A revision of the recent *Calliostoma* species of New Zealand (Mollusca: Gastropoda: Trochoidea). *The Nautilus* 108 (4) pp 83 – 127.
- Miller D.C., Bock M.J., Turner E.J. (1992) Deposit and suspension feeding in oscillatory flows and sediment fluxes. *J. Mar. Res.* 50 pp 489-520.
- Minagawa M., Wada E. (1984). Stepwise enrichment of  $\delta^{15}\text{N}$  along food chains: further evidence and relation between  $\delta^{15}\text{N}$  and animal age. *Geochim. Cosmochim. Acta* 48 pp 1135-1140.
- Monteiro N. M., Berglund A., Vieira M. N., Almada, V. C. (2006). Reproductive migrations of the sex role reversed pipefish *Nerophis lumbriciformis* (Pisces; Syngnathidae). *J. Fish Biol.* 69 pp 66-74. doi:[10.1111/j.0022-1112.2006.01064.x](https://doi.org/10.1111/j.0022-1112.2006.01064.x)
- Muus B.J., Nielsen J.G. (1998). Guía de identificación de peces de mar del Atlántico y del Mediterráneo, biología, pesca e importancia económica. Ediciones Omega, S.A., Barcelona. 337 pp.
- Nelson J., Hanson C. W., Koenig C., Chanton J. (2011). Influence of diet on stable carbon isotope composition in otoliths of juvenile red drum *Sciaenops ocellatus*. *Aquat. Biol.* 13 pp 89-95 doi: 10.3354/ab00354
- Nogueira E., Pérez F. F., Ríos A. F. (1997). Seasonal patterns and long-term trends in an estuarine upwelling ecosystem (ría de Vigo, NW Spain). *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 44 pp 285-300.

- O'Reilly C. M., Hecky R. E., Cohen A. S., Plisnier P.-D. (2002). Interpreting stable isotopes in food webs: Recognizing the role of time averaging at different trophic levels, *Limnol. Oceanogr.* 1 doi: 10.4319/lo.2002.47.1.0306.
- OAPN (2016). Informe anual 2016 Proyecto Hippoparques. 91 pp.
- OAPN (2017). Informe anual 2017 Proyecto Hippoparques. 131 pp.
- Oliveira F., Ercini K., Gonçalves J. M. S. (2007). Feeding habits of the deep - snouted pipefish *Syngnathus typhle* in a temperate coastal lagoon. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 72 pp 337-347.
- Otero P., Ruiz - Villarreal M., Peliz A., Cabanas J. M. (2010). Climatology and reconstruction of runoff time series in northwest Iberia: influence in the shelf buoyancy budget off Ría de Vigo. *Scientia Marina* 74 (2) pp 247-266 doi:10.3989/scimar.2010.74n2247
- Page H. M., Lastra M. (2003). Diet of intertidal bivalves in the Ría de Arousa (NW Spain): evidence from stable C and N isotope analysis. *Mar. Biol.* 143 pp 519-532. doi: 10.1007/s00227-003-1102-z
- Peterson B. J., Fry B. (1987). Stable isotopes in ecosystem studies. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 18 pp 293–320.
- Pinnegar J.K., Polunin N. V.C. (1999). Differential fractionation of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  among fish tissues: implications for the study of trophic interactions. *Funct. Ecol.* 13 pp 225–231.
- Planas M., Burhans R., Simões N. (2017). Seahorses and Pipefish. En Calado R., Olivotto I., Planas M., Holt G. J. Marine Ornamental Species Aquaculture). doi:[10.1002/9781119169147.ch17](https://doi.org/10.1002/9781119169147.ch17)
- Planas M., Chamorro A., Quintas P. (2008) Establishment and maintenance of threatened long-snouted seahorse, *Hippocampus guttulatus*, broodstock in captivity. *Aquaculture*, 283, pp 19–28.
- Planas M., Mora J. (1987). Dinámica poblacional de *Hydrobia ulvae* (Pennant) en la Ría de Pontevedra. *Cah. Biol. Mar.* 28 pp 447-464.
- Pollom, R. (2017). *Hippocampus guttulatus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2017: e.T41006A67617766. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-3.RLTS.T41006A67617766.en>. Downloaded on 1 December 2018.
- Polte P., Buschbaum C. (2008). Native Pipefish *Entelurus aequoreus* are prototed by the introduced seaweed *Sargassum muticum* in the northern Wadden Sea, North Sea. *Aqua. Biol.* 3 pp 11-18.
- Post D. M. (2000). Food-chain length and food web links: testing and expanding food-chain theory. PhD thesis, Cornell University, Ithaca, NY.
- Post D. M. (2002). Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. *Ecology* 83, pp 703–718. doi:10.1890/0012-9658(2002)083[0703:USITET]2.0.CO;2
- Post D. M., Layman C. A., Arrington D. A., Takimoto G., Quattrochi J., Montaña C. G. (2007). Getting to the fat of the matter: models, methods and assumptions for dealing with lipids in stable isotope analyses. *Oecologia* 152 pp 179 - 189.
- Prego R., Barciela M. C., Varela M. (1999). Nutrient dynamics in the Galician coastal area (North-western Ibera Peninsula): Do the Rías Bajas reive more nutrient salts than the Rías Altas? *Cont. Shelf Res.* 19 pp 317-334.
- Reed D. C., Rassweiler A., Carr M. H., Cavanaugh K. C., Malone D. P., Siegel D. A. (2011). Wave disturbance overwhelms top-down and bottom-up control of primary production in California kelp forests. *Ecology* 92 pp 2108–2116.
- Reise K. (1978). Experiments on epibenthic predation in the Wadden Sea. *Helgol. Meeresunters* Pp 55-101.
- Ripley J.L., Foran C.M. (2009). Direct evidence for embryonic uptake of paternally -derived nutrients in two pipefishes (Syngnathidae: Syngnathus spp). *J Comp Physiol B* 179 pp 325. <https://doi.org/10.1007/s00360-008-0316-2>

- Roelke D. J., Sogard S. M. (1993). Gender – Based differences in habitat selection and activity level in the Northern Pipefish (*Syngnathus fucus*). *Copeia* 2 pp 528-532.
- Romanuk T. N., Hayward A., Hutchings J.A. (2011). Trophic level scales positively with body size in fishes. *Global Ecol. Biogeogr.* 20 pp 231 - 240.
- Rosón G., Cabanas J. M., Pérez F. F. (2008). Hidrografía y dinámica de la ría de Vigo. Un sistema de afloramiento. En González-Garcés S., Vilas F., Álvarez - Salgado X. A. (eds) La ría de Vigo. Una aproximación integral al ecosistema marino de la ría de Vigo. Vigo: Instituto de estudios Vigueses, pp 51-84.
- Roura, A., Alvarez-Salgado, X. A., González, A. F., Gregori, M., Rosón, G. and Guerra, A. (2013) Short-term meso-scale variability of mesozooplankton communities in a coastal upwelling system (NW Spain). *Prog. Oceanogr.* 109 pp 18–32.
- Schultz, J. 2014. *Entelurus aequoreus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2014: e.T18258072A44775951. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2014-3.RLTS.T18258072A44775951.en>. Downloaded on 1 December 2018.
- Shokri M. R., Gladstone W., Jelbart J. (2009), The effectiveness of seahorses and pipefish (Pisces: Syngnathidae) as a flagship group to evaluate the conservation value of estuarine seagrass beds. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.*, 19 pp 588-595. doi:[10.1002/aqc.1009](https://doi.org/10.1002/aqc.1009)
- Small C. M., Bassham S., Catchen J., Amores A., Fuiten A. M., Brown R. S., Jones A. G., Cresko W. A. (2016). The genome of the gulf pipefish enables understanding of evolutionary innovations. *Genome Biol.* 17: 258.
- Smith-Vaniz, W.F. 2015. *Syngnathus acus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T198765A44933898. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015-4.RLTS.T198765A44933898.en>. Downloaded on 1 December 2018.
- Sokołowski A., Szczepańska A., Richard P., Kedra M., Wolowicz M., Weslawski J. M. (2014). Trophic structure of the macrobenthic community of Hornsund, Spitsbergen, based on the determination of stable carbon and nitrogen isotopic signatures. *Polar Biol.* 37 pp 1247 -1260. <https://doi.org/10.1007/s00300-014-1517-7>
- Steffe A. S., Westoby M., Bell J. D. (1989). Habitat selection and diet in two species of pipefish from seagrass: sex differences. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 55 pp 23-30.
- Števcíć, Z. (1988). Autecological Investigations of the Porcelain Crab *Porcellana platycheles* (Pennant) (Decapoda, Anomura) in the Rovinj Area (Northern Adriatic). *Crustaceana* 55 (3) pp 242-252. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/20104399>
- Sweeting C. J., Polunin N. V. C., Jennings S. (2006). Effects of chemical lipid extraction and arithmetic lipid correction on stable isotope ratios of fish tissues. *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 20 pp 595-601.
- Teixeira R. L., Musick J. A. (1995). Trophic ecology of two congeneric pipefishes (Syngnathidae) of the lower York River, Virginia. *Environ. Biol. Fish.* 43 pp 295-309.
- Tiselius P., Fransson K. (2016). Daily changes in  $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  isotopes in copepods: equilibrium dynamics and variations of trophic level in the field. *J. Plankton Res.* 38 (3) pp 751-761. doi:10.1093/plankt/fbv048
- Troncoso J.S., Urgorri V., Olabarría C. (1996) Trophic structure of the mollusca of hard subtidal substrata in the Ría de Ares-Betanzos (Galicia, NW Spain). *Iberus*, 14 (2) pp 131-141.
- Valladares S., Bañón R., López A., Bouza C., Chamorro A., García M. E., Planas M. (2014). First record of the seahorse *Hippocampus hippocampus* in Galician waters (NW Spain). *Cybium* 38 (1) pp 74 - 76.
- Valladares S., Planas M. (2012). Non-lethal dorsal fin sampling for stable isotope analysis in seahorses. *Aquat. Ecol.* 46: 363–370.

- Valladares S., Soto D. X., Planas M. (2017). Dietary composition of endangered seahorses determined by stable isotope analysis. *Mar. Freshw. Res.* <http://dx.doi.org/10.1071/MF16013>
- Van Damme C. J. G., Couperus A. S. (2008). Mass occurrence of snake pipefish in the Northeast Atlantic: Result of a change in climate? *J. Sea Res.* 60 pp 117-125.
- Vander Zanden M. J., Rasmussen J. B. (2001). Variation in  $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  trophic fractionation: Implications for aquatic food web studies, *Limnol. Oceanogr.* 8 pp 2061-2066. doi: 10.4319/lo.2001.46.8.2061.
- Vincent A., Ahnesjö I., Berglund A., Rosenqvist G. (1992). Pipefishes and seahorses: Are they all sex role reversed? *Trends Ecol. Evol.* 7 (7) pp 237–241. doi: 10.1016/0169-5347(92)90052-d
- Vincent A. C. J., Berglund A., Ahnesjö I. (1995). Reproductive ecology of five pipefish species in one eelgrass meadow. *Environ. Biol. Fish.* 44 (4) pp 347–361.
- Vizzini S., Costa V., Tramati C., Gianguzza P., Mazzola A. (2013). Trophic transfer of trace elements in an isotopically constructs food chains from a semi-enclosed marine coastal area (Stagnone di Marsala, Sicily, Mediterranean). *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 65 pp 642-653. doi: 10.1007/s00244-013-9933-1
- Vizzini S., Mazzola A. (2004). The trophic structure of the pipefish community (Pisces: Syngnathidae) from a western mediterranean seagrass meadow based on stable isotopes analysis. *Estuaries* 27 n°2 pp 325 - 333.
- Wilson A. B., Orr J. W. (2011). The evolutionary origins of Syngnathidae: pipefishes and seahorses. *J. Fish. Biol.* 78 pp 1603-1623
- Winkler N. S., Pérez-Matus A., Villena Á. A. & Thiel M. (2017). Seasonal variation in epifaunal communities associated with giant kelp (*Macrocystis pyrifera*) at an upwelling-dominated site. *Austral Ecol.* 42 pp. 132-144.
- Yokoyama H., Tamaki A., Harada K., Shimoda K., Koyama K., Ishihi Y. (2005). Variability of diet - tissue isotopic fractionation in estuarine macrobenthos. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 296 pp 115 - 128.

## Anexo I

### *Hippocampus guttulatus* Cuvier 1829

#### Sinónimos

*Hippocampus filamentosus* Duméril, 1870; *Hippocampus hippocampus* ssp. *microcoronatus* Slastenenko, 1938; *Hippocampus hippocampus* ssp. *microstephanus* Slastenenko, 1937; *Hippocampus longirostris* Schinz, 1822; *Hippocampus ramulosus* Leach in Leach & Nodder, 1814

Inicialmente designado como *H. ramulosus* Leach, 1814, su taxonomía ha sido revisada numerosas veces. El nombre común es caballito de mar (**fig. 1**).



**Fig 1.** Macho de *Hippocampus guttulatus* alumbrado a sus crías. Fuente: Proyecto Hippoparques.

El cuerpo de *H. guttulatus* presenta la usual postura erguida característica del género, con un máximo de 15cm de tamaño (en machos). La cabeza se inserta al cuerpo en ángulo recto al tronco; el cual se compone de diez a doce anillos óseos, cubiertos de una dermis mucilaginosa, sin escamas. Poseen aleta dorsal y pectorales, pero no aleta caudal, en su lugar tienen una cola prensil, que utilizan como anclaje al sustrato. La especie se caracteriza por el patrón de color corporal, amarillo con marcas azules o blancas, además de poseer apéndices dermales en la cabeza y el tronco.

La especie presenta dimorfismo sexual además del característico patrón de cría paterna y cuidado parental, el macho porta una bolsa de cría con forma de saco, abierto al exterior por un poro ubicado debajo de la cola (Dawson, 1986). La temporada de cría comienza en abril y termina en octubre, con 3-5 semanas de período de incubación. Los juveniles muestran un cambio ontogénico de hábitat, tras el nacimiento los pasan cerca de 8 semanas en el sistema pelágico, agotado ese tiempo son reclutados a la vegetación de fondo para la vida adulta. (Curtis & Vincent, 2006). La esperanza de vida es de tres a cinco años.

*H. guttulatus* vive en aguas costeras superficiales (0-60m), entre la vegetación marina. Su distribución abarca las Islas británicas y las costas del sur de Europa hasta Marruecos, Madeira, las Azores, también el mar Mediterráneo y mar Negro (Dawson, 1986).

La distribución poblacional de la especie es semejante a otras de la familia, igualdad numérica y tamaño similar entre sexos y un bajo reclutamiento juvenil. Los adultos de *H. guttulatus* presentan distribuciones espaciales reducidas, a lo largo de diferentes estudios, y probablemente presenten tasas de migración bajas (Curtis & Vincent, 2006).

La temprana edad de maduración, una alta tasa de crecimiento y el corto tiempo de regeneración poblacional sugieren que es posible para *H. guttulatus* recobrase rápidamente de alteraciones directas (explotación) o indirectas (pérdida de hábitat), cuando la alteración cesa; si el efecto es prolongado será vulnerable debido al pobre reclutamiento (Curtis and Vincent, 2006).

En cuanto al estado de conservación de la especie en abril de 2018 la IUCN presentaba la ficha de la especie como “datos insuficientes”, en septiembre del mismo año no se contempla a *H. guttulatus* en la lista roja de la IUCN (Pollom, 2017).

### ***Entelurus aequoreus* (Linnaeus, 1758)**

Sinónimos

*Syngnathus aequoreus* Linnaeus, 1758

Originalmente designado como *Syngnathus aequoreus* Linnaeus, 1758. El nombre común es Pez pipa o Fusta (**fig. 2**).



**Fig 2.** Individuo de *Entelurus aequoreus* en el parque Nacional de las Islas Cíes. Fuente: Proyecto Hippoparques.

El cuerpo es fino y alargado, pudiendo alcanzar un tamaño de hasta 40cm en machos y más de 60cm en las hembras. La cabeza continúa en línea recta con el cuerpo, con los ojos en posición lateral y una boca tubular compuesta por las mandíbulas fusionadas que usa para succionar el alimento. Las branquias aparecen reducidas a un poro en la membrana, protegido por un opérculo. El tronco se compone de 28-31 anillos preanales y 60-69 postanales; la abertura anal se encuentra en posición ventral, justo debajo de la aleta dorsal, aletas pectoral y caudal ausentes (Muus & Nielsen, 1998). La aleta dorsal se extiende sobre el tronco, abarcando de 7 a 10 anillos, aleta caudal rudimentaria, aleta pectoral presente en juveniles, pero ausente en adultos, así como la aleta anal (Dawson 1986).

El patrón de coloración corporal se compone de un color de base, que varía del pardo al verde oscuro, salteado con brillantes líneas verticales azul y blanco en cada anillo y en la unión entre los anillos, una franja estrecha y oscura le recorre el costado y generalmente la zona ventral presenta un color base más claro.

Al igual que otros miembros de la familia presenta dimorfismo sexual, las hembras presentan un tamaño superior a los machos y en los machos el área de cría se encuentra ubicada en posición ventral, sin bolsa de cría o pliegues membranosos, los huevos se incuban desprotegidos, embebidos en una matriz esponjosa. La época de cría abarca un periodo de junio a julio, durante la cual las hembras liberan cerca de 1000 huevos de 1,2mm de diámetro, que el macho fertiliza y porta hasta el nacimiento (Muus & Nielsen, 1998). Los jóvenes recién

eclosionados tienen aletas pectorales que sufren una regresión en el desarrollo post larvario. Adquieren la madurez sexual al cabo de dos años.

*E. aequoreus* aparece caracterizado como un pez de aguas costeras y oceánicas en latitudes templadas. En contraste con otros miembros de la familia de los Signátidos, que se caracterizan por habitar aguas poco profundas, esta especie se avista fácilmente en profundidades desde los 5 a los 10m, pero puede ser encontrado hasta 100m de profundidad en aguas pelágicas (Dawson, 1986). Su rango de distribución abarca el norte de Europa (Islandia y Noruega) hasta el Atlántico central (Azores y Portugal). Aparece ausente del Mediterráneo y el Mar Negro.

Se relaciona a *E. aequoreus* con hábitats de pradera, dominados por *Zostera marina* y otras especies de algas de pradera marina, donde se alimenta de Harpaticoides (Polte & Buschbaum, 2008). Podría pensarse que la alteración de los hábitats de *Zostera* podría reducir el rango de distribución de esta especie. Sin embargo, en la década de los 2000 se ha relacionado la dispersión de hábitat de esta especie, en relación a las pérdidas de *Zostera* con un aumento en aquellos hábitats dominados por *Sargassum muticum* (Polte & Buschbaum, 2008), probando la capacidad de la especie para dispersarse y adaptarse a nuevos hábitats en caso de que los suyos se vean perturbados,

Diversos autores (Fleischer *et al.*, 2007; van Damme & Couperus, 2008) relacionan la aparición de estos peces en latitudes altas relacionado con un aumento de la temperatura, más cálida, así mismo como un aumento en la población de copépodos del género *Calanus*, su principal fuente de alimento.

En cuanto al estado de conservación, *E. aequoreus* aparece mencionado en la Red List de la IUCN catalogado como “preocupación menor” (Schultz, 2014).

## *Syngnathus acus* Linnaeus, 1758

### Sinónimos

*Dermatostethus punctipinnis* Gill, 1862; *Syngnathus alternans* Günther, 1870; *Syngnathus brachyrhynchus* Kaup, 1856; *Syngnathus delalandi* Kaup, 1856; *Syngnathus rubescens* Risso, 1810; *Syngnathus temminckii* Kaup, 1856

Comúnmente denominado Gran pez pipa, Aguja de mar o Mula (**fig. 3**) es el grupo que aparece mejor representado en el archipiélago de las islas Cíes.



**Fig. 3.** Fotografía de *S. acus* tomada en el parque nacional de las Islas Cíes. Fuente: Proyecto Hippoparques.

Su cuerpo es fino y alargado, al igual que en *Entelurus*, sin presencia de apéndices dermales. El tamaño corporal puede variar entre 45 a 60cm de longitud máxima. Rostro afilado, el hocico tubular igual al diámetro del ojo o menor, mucho más largo que en otros representantes de la familia (Muus & Nielsen, 1998). El tronco se compone de 17-21 anillos preanales y 38-43 postanales, presenta aletas dorsales, anales, pectorales y caudales, aletas pélvicas ausentes. El patrón de coloración corporal varía del pardo al verdoso, con manchas oscuras desde el tronco y la cola; la zona ventral suele ser de un color más pálido.

No existe un dimorfismo sexual marcado por el tamaño, como ocurre con otras especies, el macho se distingue de la hembra por la presencia del área de cría, situada debajo de la cola, donde los huevos se incuban desprotegidos. El periodo de incubación dura alrededor de 5 semanas. La temporada de incubación comienza en mayo y finaliza en agosto, con hasta 400 o más huevos por bolsa (Gurkan *et al.*, 2009).

*S. acus* se relaciona con hábitats de aguas costeras y ambientes estuáricos, dominados por fondos de lodo, arena y rocas, también entre algas de pradera marina como *Zostera*. Por lo general su rango de distribución se limita a aguas superficiales (1 – 10m). Se ha reportado su presencia en las Islas Feroe, las Islas Británicas, la costa atlántica desde Noruega hacia el sur hasta Marruecos y las Azores, también en el Mediterráneo y el Mar Negro. Asimismo, se ha mencionado su presencia en latitudes más al sur, como Canarias, El Sáhara, Namibia y el sureste de Sudáfrica ((Dawson, 1986).

En cuanto al estado de conservación de *S. acus*, aparece catalogado en la Red List de la IUCN como “preocupación menor” (Smith -Vaniz, 2015).

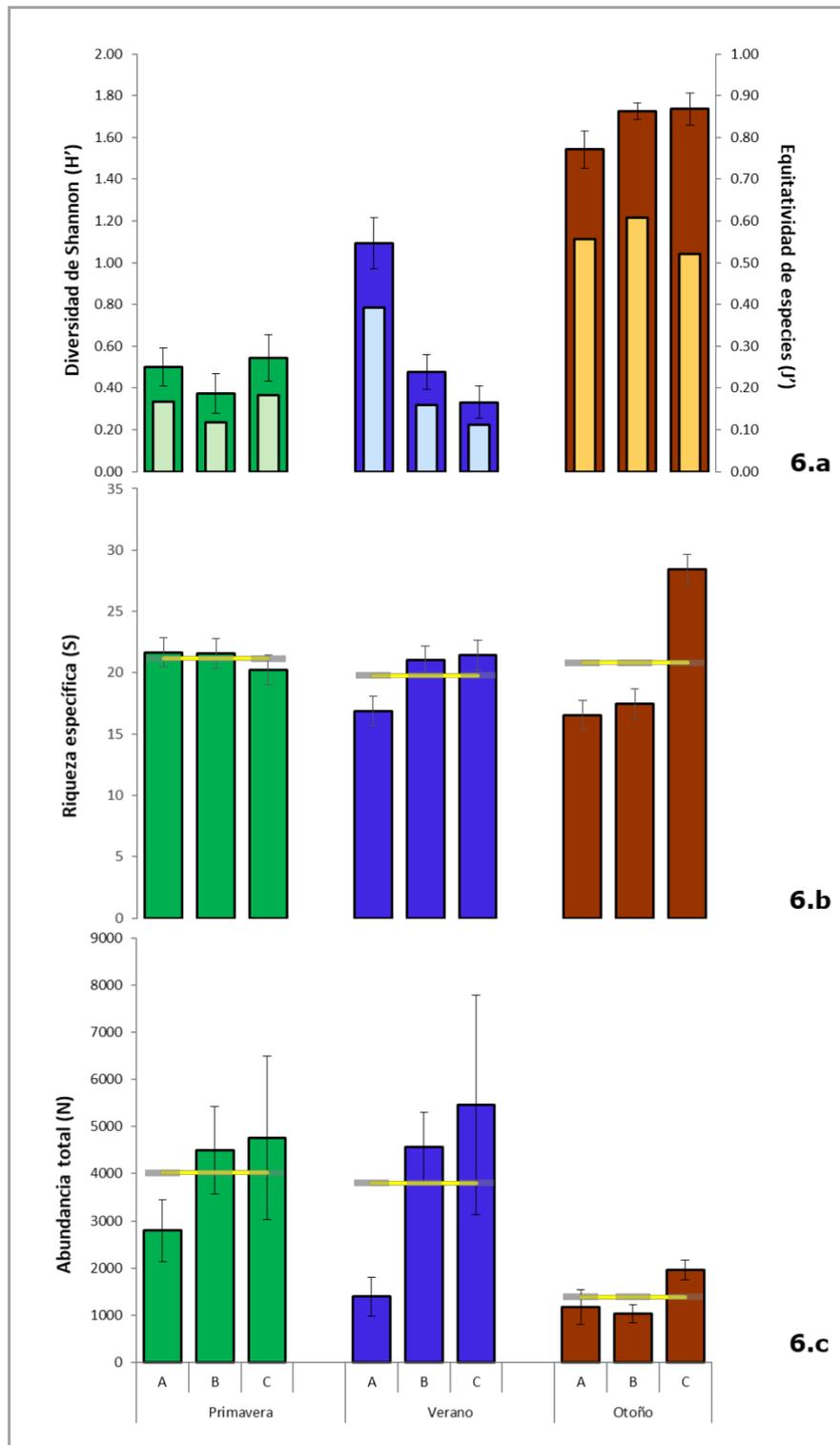
## Anexo II

**Tabla 1.** Relación de OTUS encontrados en los muestreos de 2017 en el parque nacional de las Islas Cíes, clasificados según la taxonomía. Fuente: Proyecto Hippoparques.

ARTRÓPODOS	CRUSTÁCEOS	Malacostráceos	Maxilópodos	Cirrípedos	Balanos	F. Balanidae
					Copépodos	O. Harpacticoida
			Anfípodos	Caprélidos	<i>Caprella acanthifera</i>	
					<i>Caprella equilibra</i>	
					<i>Caprella linearis</i>	
					<i>Phtisica marina</i>	
					<i>Pseudoprotella phasma</i>	
				Gammáridos	<i>Amphilochus manudens</i>	
					<i>Apherusa</i> spp.	
					<i>Corophium</i> spp.	
					Otros	
					Talítridos	<i>Pereionotus testudo</i>
			Decápodos	Carídeos	<i>Hippolyte varians</i>	
					<i>Achaeus cranchii</i>	
				Otros	F. Majidae	
					<i>Galathea</i> spp.	
					<i>Macropodia deflexa</i>	
					<i>Pilumnus hirtellus</i>	
					<i>Porcellana platycheles</i>	
	<i>Xaiva biguttata</i>					
<i>Anthura gracilis</i>						
<i>Astacilla longicornis</i>						
Isópodos	<i>Cymodoce truncata</i>					
	<i>Dynamene bidentata</i>					
	<i>Eurydice pulchra</i>					
	<i>Idotea balthica</i>					
	<i>Stenosoma lancifer</i>					
Misidos	<i>Siriella armata</i>					
QUELICERADOS	Picnogónidos	<i>Achelia echinata</i>				
MOLUSCOS	Gasterópodos	Heterobranquios	<i>Endeis</i> spp.			
			<i>Aplysia punctata</i>			
			<i>Doto fragilis</i>			
			<i>Elysia</i> spp.			
			F. Polyceridae			
			<i>Goniadoris</i> spp.			
			<i>Omalogyra atomus</i>			
			<i>Onchidoris</i> spp.			
			Caenogasterópodos	<i>Ariadnaria borealis</i>		
				<i>Bittium reticulatum</i>		
				<i>Buccinum undatum</i>		
				<i>Cerithiopsis tubercularis</i>		
				F. Littorinidae		
				<i>Marshallora adversa</i>		
				<i>Ocenebrina aciculata</i>		
				<i>Peringia ulvae</i>		
				<i>Skeneopsis planorbis</i>		
				<i>Tritia</i> spp.		
			Vetigasterópodos	<i>Urosalpinx cinerea</i>		
	<i>Calliostoma zizyphinum</i>					
<i>Gibbula</i> spp.						
<i>Jujubinus</i> spp.						
<i>Tricolia pullus</i>						
Patelogasterópodos	<i>Vitreolina philippi</i>					
	F. Patellidae					
Bivalvos	Otros					
	F. Mytilidae					
	<i>Irus irus</i>					
Poliplacóforos	Otros					

<b>ANÉLIDOS</b>	<b>Poliquetos</b>			<i>Eurysyllis tuberculata</i>	
				F. Hesionidae	
				F. Nereididae	
				F. Polynoidae	
				F. Sabellidae	
				F. Serpulidae	
				<i>Notophyllum foliosum</i>	
<b>NEMERTINOS</b>	<b>Anoplos</b>			<i>O. Heteronemertea</i>	
	<b>Enoplos</b>			<i>Oerstedtia dorsalis</i>	
				<i>Tetrastemma herouardi</i>	
	<b>PLATELMINTOS</b>	<b>Rabditóforos</b>	Trepaxonematos	<b>Policládidos</b>	<i>Cycloporus papillosus</i>
					<i>Stylochoplana maculata</i>
<b>CNIDARIOS</b>	<b>Antozoos</b>			<i>O. Actiniaria</i>	
	<b>Hidrozoos</b>				
<b>BRIOZOOS</b>					
<b>EQUINODERMOS</b>	<b>Asteroideos</b>			<i>Asterias rubens</i>	
				<i>Asterina gibbosa</i>	
	<b>Ofiuoideos</b>			<i>Amphipholis squamata</i>	
				<i>Ophiothrix fragilis</i>	
	<b>Equinoideos</b>			<i>Paracentrotus lividus</i>	
<b>CORDADOS</b>	<b>Holoturias</b>			<i>Aslia lefevrei</i>	
	<b>Actinopterigios</b>			<i>Apletodon dentatus</i>	
				<b>Teleósteos</b>	

### Anexo III



**Fig. 1.** Valores promedio (líneas horizontales) y desviaciones estándar de (6.a.) diversidad de Shannon (barras externas) y equitatividad de especies (barras internas), (6.b.) riqueza específica y (6.c.) abundancia total de los 84 OTUS de epifauna, para cada zona de muestreo (A, B y C). Fuente: Iglesias (2018).