



Facultad de Ciencias

Universidad de La Laguna

**Estudio esclerocronológico de una
población de *Pinna nobilis* procedente de
Portlligat, Cabo de Creus (Girona)**

**Sclerochronological study of a population of
Pinna nobilis from Portlligat, Cap de Creus
(Girona)**

Teresa Añón Herbella

**Máster Biología Marina: Biodiversidad y
Conservación**

Julio 2020

La **Dra. María Sabrina Clemente Martín**, Profesora Ayudante Doctora del departamento de Biología Animal, Edafología y Geología de la Universidad de La Laguna, y el **Dr. José Rafael García March**, Secretario Científico y Coordinador del Instituto de Investigación en Medioambiente y Ciencia Marina (IMEDMAR), como Tutora Académica y Tutor Externo, respectivamente,

DECLARAN:

Que la memoria presentada por la Graduada en Biología, **Dña Teresa Añón Herbella**, titulada “**Estudio esclerocronológico de una población de *Pinna nobilis* procedente de Portlligat, Cap de Creus (Girona)**”, ha sido realizada bajo su dirección y consideran que reúne todas las condiciones de calidad y rigor científico requeridas para optar a su presentación como Trabajo de Fin de Máster, en el Máster Oficial de Postgrado de Biología Marina: Biodiversidad y Conservación de la Universidad de La Laguna, curso 2019-2020.

Y para que así conste y surta los efectos oportunos, firman el presente informe favorable en San Cristóbal de La Laguna a 1 de julio de 2020.



Fdo. Dra. María Sabrina Clemente Martín



Fdo. Dr. José Rafael García March

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. MATERIAL Y MÉTODOS.....	13
2.1. Procesamiento de las muestras	13
2.2. Cálculo de los tamaños totales a partir de los registros de crecimiento	17
2.3. Estimación de incrementos anuales perdidos por erosión de la porción anterior de la concha.....	17
2.4. Modelos de crecimiento.....	18
3. RESULTADOS.....	19
4. DISCUSIÓN	35
5. CONCLUSIONES	38
6. AGRADECIMIENTOS	38
7. REFERENCIAS.....	39
8. ANEXO 1 Leyenda de la tabla de dimensiones.....	45

RESUMEN (ESP)

El presente estudio analiza la edad y el crecimiento de una población de nacra (*Pinna nobilis*) procedente de la bahía de Portlligat, Cabo de Creus (Girona). Se procesaron las valvas derechas de 20 ejemplares de la población para obtener los registros de crecimiento interno presentes en las marcas que deja el músculo aductor posterior. Los datos de talla por edad se ajustaron al modelo de crecimiento de Von Bertalanffy. Un estudio reciente comparó 12 poblaciones de *P. nobilis* obteniendo tres modelos de crecimiento según el ambiente al que pertenecían dichas poblaciones: mar abierto abrigado (SO), mar abierto expuesto (EO) y lagunas costeras (LG). Como se había hipotetizado, se comprobó que la población de Portlligat se agrupa con el modelo SO, correspondiente con el ambiente de mar abierto abrigado de la hidrodinámica. El ejemplar más longevo resultó tener 17 años, habiéndose implantado dos años después de la creación del Parque Natural de Cabo de Creus. Esta observación, junto con observaciones similares en otras reservas marinas, sugiere que la protección legal puede ser un factor importante en cuanto a la esperanza de vida de las nacras, cuando los factores ambientales (por ejemplo el hidrodinamismo) no son limitantes. Aun así, el ambiente es el factor clave a la hora de diferenciar poblaciones.

Bivalvo, crecimiento, edad, mortandad masiva, Von Bertalanffy

ABSTRACT (ING)

The present study analyzes the age and growth of *Pinna nobilis* population from Portlligat Bay, Cabo de Creus (Girona). The right valves of 20 specimens from the population were processed to obtain the inner growth records present in the marks left by the posterior adductor muscle. Size-at-age data were fitted to the Von Bertalanffy growth model. A recent study compared 12 populations of *P. nobilis* obtaining three growth models according to the environment to which these populations belonged to: sheltered open sea (SO), exposed open sea (EO) and coastal lagoons (LG). As it was hypothesized, it was found that the population of Portlligat fits with the SO model, corresponding to the sheltered open sea environment. The longest-lived specimen turned out to be 17 years old, having been established two years after the creation of the Cabo de Creus Natural Park. This observation, along with similar observations in other marine reserves, suggests that legal protection may be an important factor in the life expectancy of the pen shell, when environmental factors (for example hydrodynamics) are not limiting. Even so, the environment is the key factor differentiating populations.

Bivalve, growth, age, mass mortality, Von Bertalanffy

1. INTRODUCCIÓN

El molusco bivalvo *Pinna nobilis* (Linnaeus, 1758) es una especie emblemática y endémica del Mar Mediterráneo. La familia Pinnidae incluye especies infaunales de gran tamaño (Vicente et al., 1980; Combelles et al., 1986; Butler et al., 1993; Warwick et al., 1997; Richardson et al., 1999; Katsanevakis, 2005), y en concreto, *P. nobilis* es el segundo bivalvo más grande del mundo, sólo después de *Tridacna gigas*, y el más grande del Mediterráneo (García-March et al., 2007a), pudiendo alcanzar una longitud antero-posterior de hasta 120 cm (Zavodnik et al., 1991). Además, tienen una vida larga, llegándose a reportar individuos de hasta 45-50 años (Rouanet et al., 2015). Aparece a profundidades entre 0.5 y 60 m (Butler et al., 1993), especialmente en praderas de *Posidonia oceánica*, y menos comúnmente en praderas de *Cymodocea nodosa*, *Zostera marina* y *Zostera noltii* (Zavodnik et al. 1991). Es lógico pensar que sea éste su hábitat de preferencia, ya que las praderas de fanerógamas proporcionan refugio contra los depredadores, protección frente al hidrodinamismo, un sustrato idóneo para la fijación de los filamentos del biso y aumenta el suministro de partículas para filtradores asociados a este ambiente (Hendriks et al., 2011). También es posible encontrar ejemplares de esta especie en sustrato arenoso sin vegetación, o medio enterrados en sustratos fangosos en lagunas costeras o en áreas estuarinas (Addis et al., 2009), así como entre rocas y en lechos de maërl (García-March et al., 2002, Katsanevakis, 2006, 2007, Vicente 1990; García-March, 2003). Los ejemplares habitan estos ambientes con casi un tercio de la porción anterior de la concha enterrada en el sedimento y anclada mediante filamentos del biso a estructuras sólidas del sustrato como rizomas y raíces de *P. oceanica*, granos de arena, restos de conchas y multitud de elementos pequeños que hacen la función de pequeñas anclas (García-March, 2005; Katsanevakis & Thessalou-Legaki, 2009). *P. nobilis* es una especie filtradora con la peculiaridad de que el 95% de lo que ingiere son grandes cantidades de detritus (Davenport et al., 2011), alimentándose casi exclusivamente de la materia orgánica (MO) que obtiene de ellos y complementando su dieta con elementos de mayor calidad como fitoplancton, micro y mesozooplancton (Trigos et al., 2014) esenciales para una dieta equilibrada (Prado et al., 2020a). Según estos últimos autores, el hecho de que la mayoría de la MO que obtienen proviene de los detritos podría explicar que *P. nobilis* logre un crecimiento tan rápido en comparación con el resto de bivalvos. Además, cabe destacar el importante papel ecológico de la especie, contribuyendo con esta gran filtración de agua y retención de MO a la claridad del agua. Asimismo, proporciona un sustrato duro en áreas de

sustratos blandos, aumentando la diversidad de ambientes que coloniza (Basso et al., 2015) y la biodiversidad local (Kay & Keough, 1981).

Desde la antigüedad, la especie ha sido ampliamente explotada, utilizándose los filamentos de biso para la producción de una tela fina y valiosa, comúnmente llamada “seda marina” (Maeder, 2008), su carne como alimento y su concha como elemento decorativo. Por otro lado, en el siglo XX debido a actividades antrópicas como la extracción con fines ornamentales, la pesca de arrastre o el anclaje en zonas de praderas de fanerógamas, hicieron que las poblaciones de *P. nobilis* disminuyeran de forma considerable (Prado, 2014). Como consecuencia, se le asignó una protección estricta según el Anexo II del Convenio de Barcelona (Protocolo SPA / BD 1995), el Anexo IV de la Directiva de Hábitats de la UE (Directiva del Consejo Europeo 92/43 / CEE), el Catálogo Español de Especies Amenazadas (Categoría: Vulnerable, Real Decreto 139/2011) y la legislación nacional de la mayoría de países mediterráneos. Además de las alteraciones humanas, la especie está amenazada por otros factores estresantes como la contaminación marina, especies invasoras y el cambio climático (Basso et al., 2015). A finales de 2016 se sumó una nueva amenaza a las descritas anteriormente, los efectos de un protozoo parásito denominado *Haplosporidium pinnae* (Catanese et al., 2018). Este parásito, descrito como una nueva especie para la ciencia, ha producido un evento de mortalidad masiva en las poblaciones de *P. nobilis* del Mediterráneo español, que se ha extendido por todo el Mediterráneo (Cabanellas-Reboredo et al. 2019; García-March et al., 2020a; Prado, P. et al., 2020a), hecho que podría tener implicaciones importantes en la conservación de la especie y en la futura redistribución de especies y biodiversidad (García-March et al., 2020b). Curiosamente, la única otra especie del género *Pinna* del Mediterráneo, *P. rudis*, que comparte con *P. nobilis* muchas de las áreas de distribución afectadas, no se ha visto afectada por el parásito, lo que lleva a la suposición de que éste es específico del huésped (Vázquez-Luis et al., 2017) que lo adquiere mediante la filtración, afectando al tracto digestivo e interfiriendo con la absorción de nutrientes (López-Sanmartín, M., 2019).

H. pinnae afecta a especímenes de *P. nobilis* de todos los tamaños, rangos de profundidad y tipos de hábitat (Catanese et al., 2018), de forma que las poblaciones de la especie en aguas nacionales han sufrido un drástico declive cercano al 100%, quedando únicamente poblaciones aisladas en zonas confinadas como lagunas marinas costeras y deltas como el Mar Menor o el Delta del Ebro (Prado et al., 2020b, García-March et al., 2020a). Es muy

probable que el parásito se haya dispersado a través de corrientes superficiales y que se sobreviva en condiciones de temperaturas superiores a los 13.5°C y salinidades entre 36.5-39.7 psu (Cabanellas-Reboredo et al. 2019; García-March et al., 2020b). Los patrones de salinidad y los de temperatura, tanto en el Delta del Ebro como en el Mar Menor, son más fluctuantes que en mar abierto, lo que podría explicar la ausencia del parásito en estos ambientes (Cerralbo et al., 2019; Cabanellas-Reboredo et al., 2019). Debido a esta progresiva reducción del tamaño poblacional de *P. nobilis*, la especie ha sido declarada en peligro crítico de extinción en España por lo que su extracción sin permiso, incluso de los restos de las conchas, está penado por la ley y los proyectos encaminados a su estudio y recuperación son de interés general (Artículo 60.2 de la Ley 42/2007, Patrimonio Natural y Biodiversidad).

Uno de los métodos fundamentales a la hora de proteger una especie y conocer su resistencia es estudiar su longevidad y tasas de crecimiento (Richardson et al., 2004). Además de factores endógenos como la edad o la reproducción de los especímenes (Lobbia, 2012), el ambiente en el que una especie se desarrolla también afecta a su crecimiento y en caso de organismos que presentan estructuras duras este crecimiento puede verse reflejado en ellas en forma de líneas o bandas (Magaña, 1995). En el medio terrestre esto ocurre con algunos árboles y el estudio de los anillos de crecimiento en sus troncos se conoce como dendrocronología, un área del conocimiento que ha sido muy significativa a la hora de entender los cambios climáticos durante los últimos 10.000 años (Jones, 1983). En el ámbito zoológico, el análogo a la dendrocronología es la esclerocronología, una especialidad que estudia las marcas de crecimiento temporales registradas en estructuras duras de animales como conchas de bivalvos o escamas y otolitos de peces. El estudio de estas marcas es una herramienta útil para conocer la edad de los individuos y las condiciones ambientales en las que se desarrollaron o que puedan haber afectado a su crecimiento (Clark, 1974; García-March et al., 2011b).

En bivalvos, las variaciones de los factores que afectan al crecimiento se reflejan en la concha, debido a alteraciones en su estructura y composición química (carbonato de calcio y materia orgánica) (Gröcke & Gillikin, 2008), por lo que las marcas o líneas conservan en su secuencia de formación un patrón de crecimiento (Lobbia, 2012). Dichas alteraciones se asocian a cambios en la tasa de deposición de material nuevo, lo que genera estos patrones. La formación o aparición de líneas o marcas se debe a que estas estructuras duras se forman por crecimiento acumulativo, es decir, que la acumulación de material nuevo no es un proceso uniforme, sino que se retrasa o interrumpe periódicamente dando lugar a dichas marcas, las

cuales delimitan períodos de crecimiento rápido (Surge & Schöne, 2015). En este sentido, Jones et al. (2007) proponen la esclerocronología como una técnica que examina las variaciones físicas y químicas de la acumulación de tejidos duros en moluscos.

A lo largo del tiempo han surgido numerosos problemas a la hora de identificar las marcas periódicas en la superficie externa de las conchas de bivalvos (Jones, 1983), problemas que recientemente han sido resueltos con la identificación de patrones de crecimiento en el interior de las mismas, unas cicatrices periódicas que deja el músculo aductor posterior (CMAP) de *P. nobilis* en el interior de las valvas (Figura 1), concretamente en el lóbulo dorsal del nácar (LDN). En este sentido, García-March et al. (2011) sugirieron una nueva metodología, aplicable a cualquier población de la especie de la que se pudieran recolectar conchas vacías, para estudiar el crecimiento de poblaciones de *P. nobilis* a partir de dichas cicatrices. Cada ejemplar de *P. nobilis* posee 2 músculos aductores, unidos a la cara interna de cada una de las valvas y controlan la apertura y cierre de las mismas (Mamta, 2016). Las marcas que estos músculos dejan en la cara interna de las valvas se van creando en dirección a la parte posterior de la concha, al igual que el crecimiento de ésta. Siendo las marcas más lejanas a la zona anterior de la valva (Figura 1) las últimas en formarse. El inconveniente a la hora de visualizar estos patrones radica en la presencia de nácar en la parte anterior de las conchas, ya que como demostraron García-March y Márquez-Aliaga (2007), un número variable de las CMAP más antiguos en esta zona pueden estar enmascarados por el nácar, lo que puede a simple vista llevar a conclusiones erróneas en cuanto a su recuento. Además, en ejemplares más viejos, las CMAP más nuevos no se acaban de observar externamente aun habiendo registro interno, ya que se depositan uno encima del otro y se observan como una solo CMAP en los recuentos al observar la cara interna de las valvas. Por ello, García-March et al. (2011) sugirieron utilizar el registro interno para determinar la posición y el número real de CMAP. Estos mismos autores corroboraron que los registros internos en *P. nobilis* se forman anualmente, al igual que las líneas de crecimiento en la mayoría de especies de bivalvos (Hall et al. 1974; Jones 1980; Brey & Mackensen 1997).

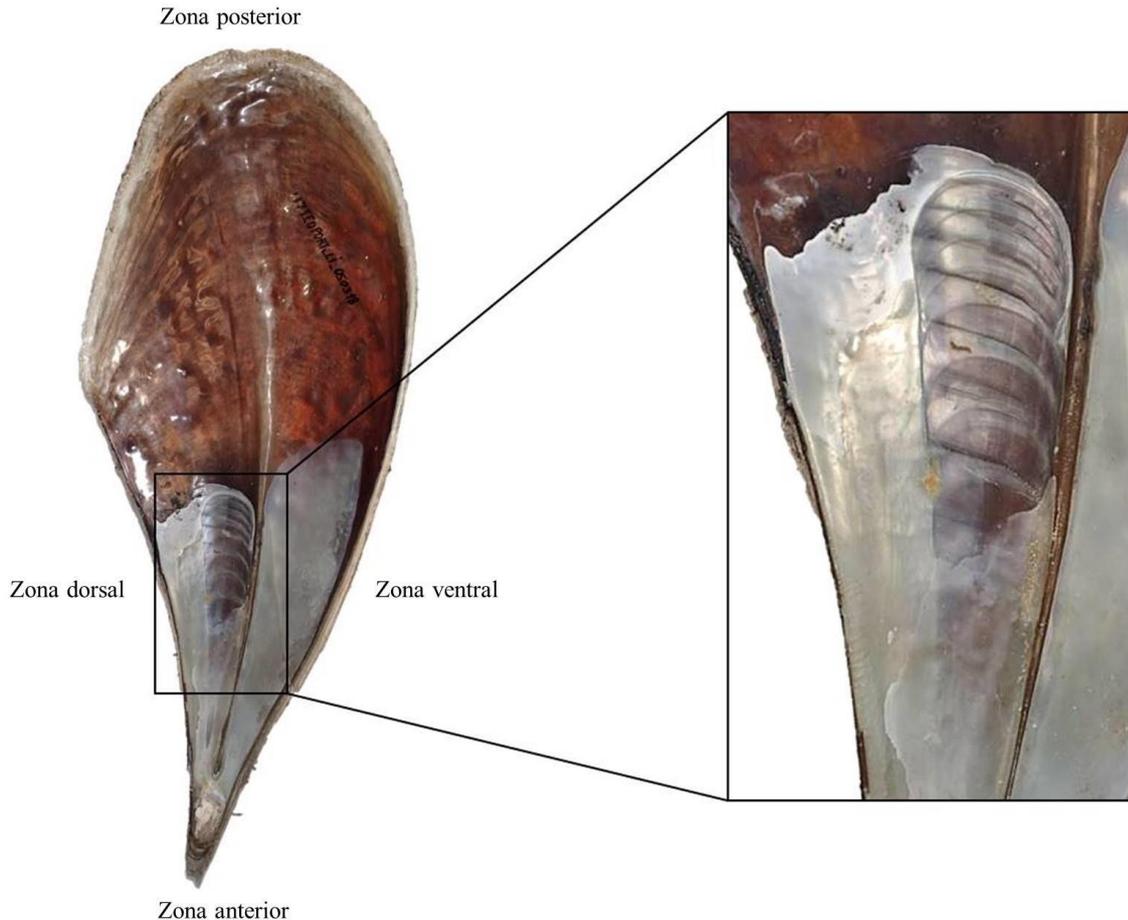


Fig.1. Zonas de la valva derecha de uno de los ejemplares del estudio y en aumento las cicatrices del músculo aductor posterior (CMAP) observables a simple vista en el lóbulo dorsal del nácar (LDN).

La concha de *P. nobilis* la forman una capa interna aragonítica de nácar y una capa externa de prismas de calcita (García-March et al., 2011b), ésta última con altos niveles de Magnesio en comparación con otros bivalvos (Masuda & Hirano, 1980). En cortes finos, la calcita se observa formando capas translúcidas u oscuras y seguidamente aparecen capas opacas o claras (dependiendo del tipo de luz con la que se iluminen). La especie presenta patrones de crecimiento estacional que se traducen en interrupciones y reanudaciones en la deposición de calcita y nácar hacia la parte posterior de la concha, formándose la primera a finales de otoño y la segunda en primavera, después de un parón de crecimiento en los meses de invierno (García-March et al., 2011a). Esto ocurre en ejemplares adultos, ya que durante los primeros años de vida los individuos de la especie no detienen su crecimiento durante estos meses, no dejando de crecer en ningún momento. Conforme pasan los años los individuos comienzan a frenar su crecimiento poco a poco durante los meses más fríos, aumentando la duración de este parón de crecimiento con la edad. Una vez terminado este periodo, se deposita una

pequeña capa de calcita y el nuevo nácar comienza a depositarse un poco más anterior a lo ya depositado con anterioridad, formándose así una lengua de nácar que se incrusta en dirección posterior entre las capas calcíticas opacas y translúcidas (Figura 2). Esto no quiere decir que la temperatura sea el factor que implique la formación anual de los registros, de hecho, García-March et al. (2011b) sugieren que tanto la formación de las lenguas de nácar como de las capas calcíticas está relacionada con un evento que ocurre en primavera, siendo el aumento de la disponibilidad de alimento o el desarrollo de las gónadas las causas más probables de su formación. Además de las capas calcíticas y de las lenguas de nácar, la intrusión de una capa delgada continua aragonítica denominada miostraco en el nácar junto con ensanchamientos de éste último, derivados de la deposición estacional, son de gran ayuda a la hora de identificar los registros internos. Asimismo, la cantidad de calcita y de nácar que se deposita es fundamental para interpretar el registro interno (García-March et al., 2011a). Estos mismos autores exponen también que la forma de cada registro cambia con la ontogenia de los individuos. El crecimiento del individuo se ralentiza con el tiempo por lo que los registros más nuevos (posteriores) estarán más cercanos entre sí y los ensanchamientos del nácar se verán reducidos. Cuanto más posterior esté o, lo que es lo mismo, cuanto más reciente sea un registro interno, con más claridad se podrá observar, llegando incluso en algunos individuos viejos a superponerse dichos registros, pudiendo observar en estos casos lenguas de nácar apiladas una encima de la otra. En las marcas o registros más antiguos, tanto las lenguas de nácar como la distinción en franjas calcíticas pueden no estar presentes. En este tipo de registros, los ensanchamientos de nácar son muy alargados debido al rápido crecimiento, siendo los ensanchamientos de otoño y primavera el único indicativo de la presencia de un registro de crecimiento. En ejemplares maduros y viejos, además, los registros más viejos están enmascarados a simple vista por el nácar (Figura 3). En estos casos, observando el LDN a simple vista, podríamos decir que un ejemplar tiene 6 años cuando en realidad tiene 9, por ejemplo.

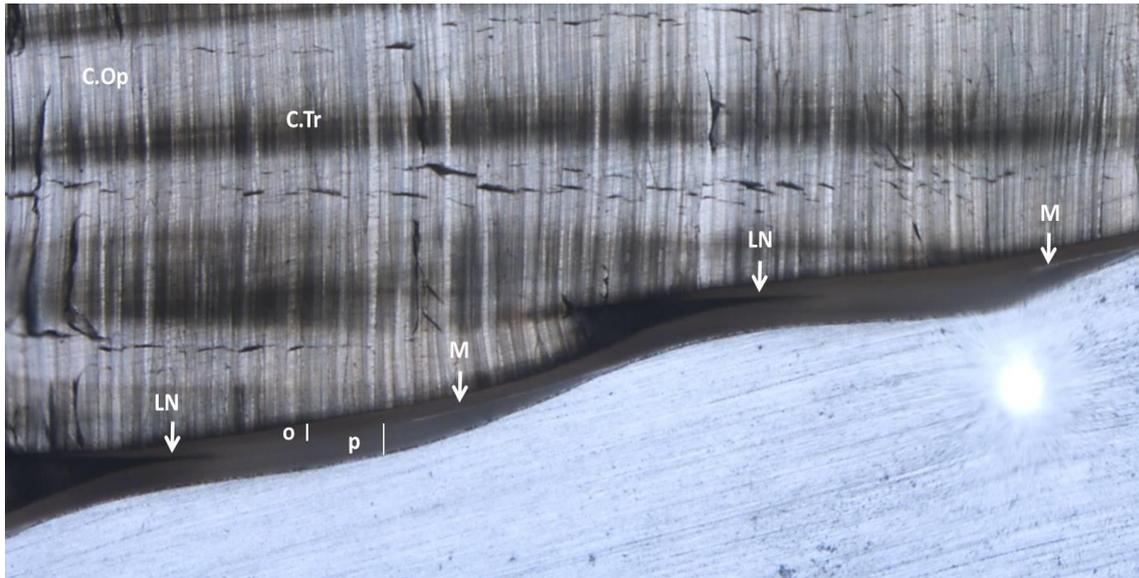


Figura 2. Fotografía tomada, con una cámara integrada en una lupa binocular (LEICA), de una sección transversal del trozo del lóbulo dorsal de nácar (LDN) de uno de los ejemplares. Se observan dos de los registros internos más nuevos de uno de los ejemplares de *Pinna nobilis* estudiados, pudiéndose observar las lenguas de nácar (LN), las intrusiones de miostraco (M), los ensanchamientos de otoño (o) y primavera (p) encima y debajo de LN y M, y la calcita formando bandas opacas (C.Op) y traslúcidas (C.Tr).

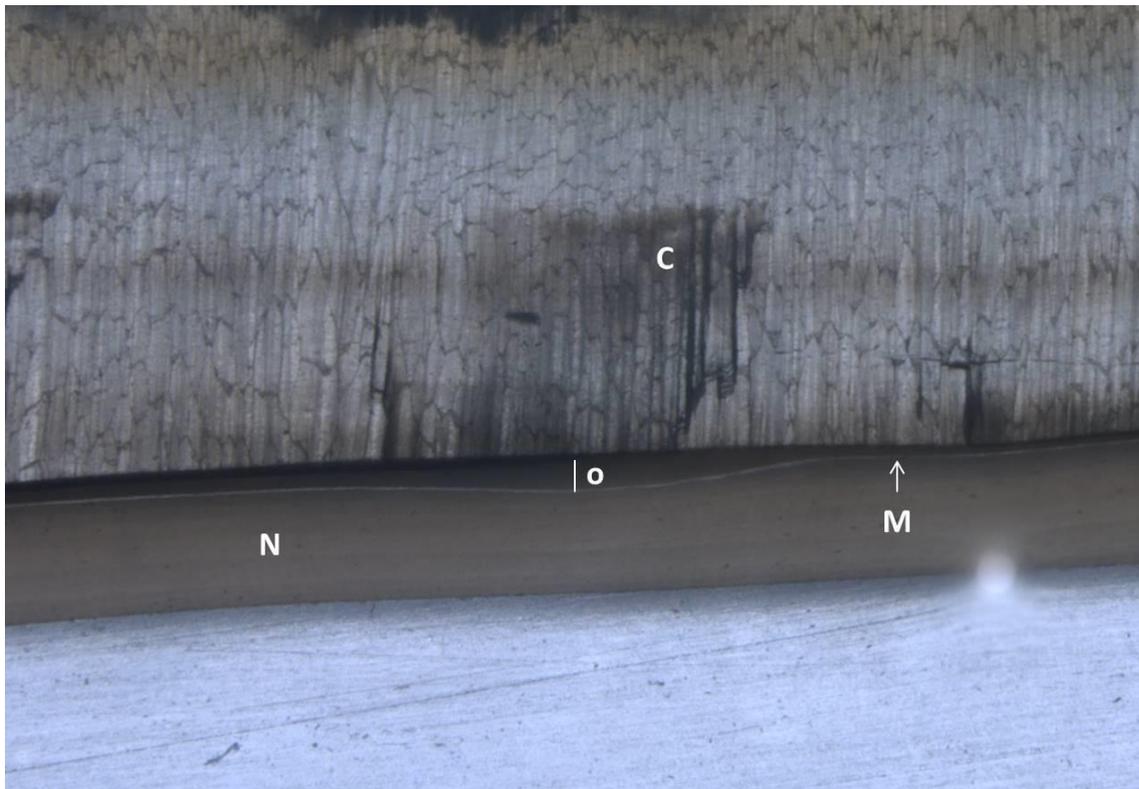


Figura 3. Fotografía tomada, con una cámara integrada en una lupa binocular (LEICA), de una sección transversal del trozo del lóbulo dorsal de nácar (LDN) de uno de los ejemplares. Se observa un registro de

crecimiento antiguo, enmascarado por nácar, de uno de los ejemplares de *Pinna nobilis* estudiados, pudiéndose observar la calcita (C), el miostraco (M) y una gruesa capa de nácar (N) enmascarando en ensanchamiento de otoño (o).

P. nobilis tiene una de las tasas de crecimiento más rápidas de la clase Bivalvia (Richardson et al., 2004), junto con otras especies del mismo género, como *Pinna rugosa* o *Pinna carnea* (Arizpe, 1995; Narvaez et al., 2000). Este crecimiento es especialmente relevante en los primeros meses de vida (Kersting & García-March, 2017) y puede variar dentro de una misma población cuyos individuos viven a distintas profundidades (García-March et al., 2007a) y entre poblaciones (Richardson et al., 1999). Esto se debe a que las condiciones ambientales y oceanográficas como la temperatura, la profundidad o la hidrodinámica influyen en gran medida en la tasa de crecimiento de la especie (García-March et al., 2007a, 2007b; Hendriks et al., 2011). Recientemente, García-March et al., (2020a) realizaron un estudio comparativo de 12 poblaciones de *P. nobilis* procedentes de distintos ambientes de la costa mediterránea española y francesa en función de la hidrodinámica (expuestos o abrigados), de la protección legal (Protegido o Reserva y No Protegido) y de la profundidad a la que se encontraban los ejemplares. Se obtuvieron del estudio comparativo tres modelos generales de crecimiento para las poblaciones estudiadas según el ambiente que habitaban: mar abierto protegido de la hidrodinámica (SO), mar abierto expuesto a hidrodinámica (EO) y lagunas marinas costeras (LG).

El objetivo del presente trabajo fue utilizar la metodología propuesta por García-March et al. (2011a) para la obtención del modelo de crecimiento de una población de *P. nobilis* procedente de la bahía de Portlligat (Cap de Creus, Girona). Con la finalidad de comprobar si el modelo de crecimiento de la población estudiada se asemeja al modelo de crecimiento de otras poblaciones procedentes de un entorno similar, se comparó con los tres modelos de crecimiento obtenidos por García-March et al. (2020a), corroborando así la idoneidad de éstos últimos.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Procesamiento de las muestras

Para el análisis esclerocronológico se procesó la valva derecha de 20 ejemplares de *P. nobilis* pertenecientes a una población procedente de la bahía de Portlligat (Figura 4) dentro del Parque Natural del Cabo de Creus (Girona), el punto más nororiental de la península ibérica. El hecho de procesar únicamente la valva derecha radica en que la valva izquierda de alguno de los ejemplares presentaba roturas y, puesto que para el análisis era suficiente procesar una sola valva de cada ejemplar, se tomó la decisión de utilizar únicamente la derecha en todos los individuos (Figura 5).

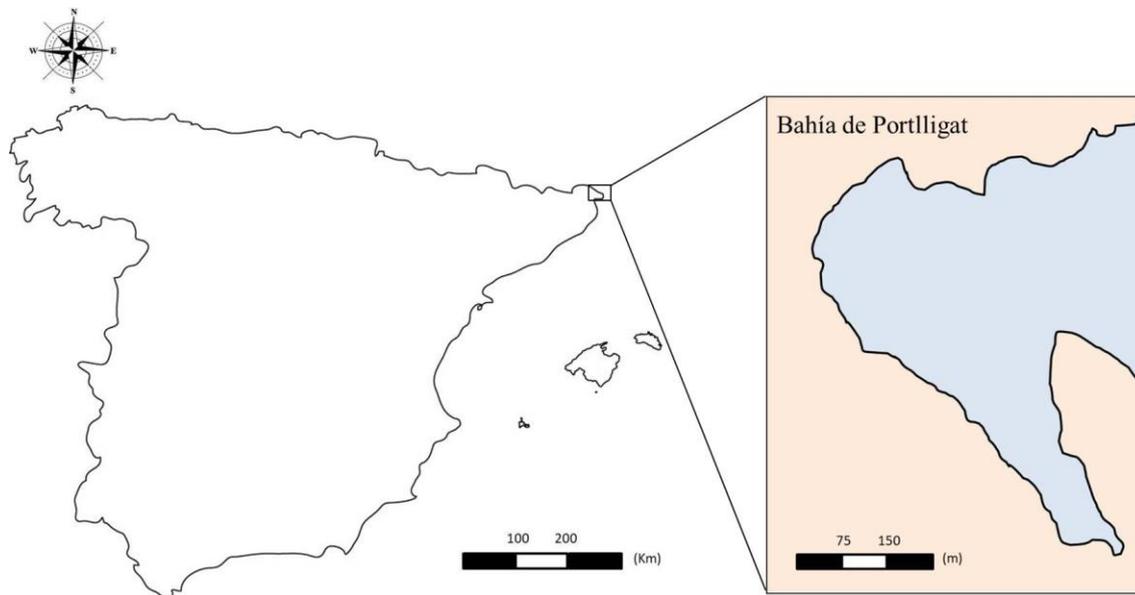


Figura 4. Mapa esquemático de la bahía de Portlligat, de la cual se extrajeron los ejemplares de *Pinna nobilis* para el análisis esclerocronológico.



Figura 5. Valva izquierda (a) y valva derecha (b) de uno de los ejemplares de *Pinna nobilis* utilizados en el estudio

Se seleccionaron los 20 ejemplares que representaban a simple vista una diversidad de tamaños de la población, incluyendo individuos de distintas edades. Las muestras fueron procesadas en el IMEDMAR-UCV (Instituto de Investigación en Medio Ambiente y Ciencia Marina). Antes de manipular las conchas, para tener constancia y registro de las dimensiones de todas las nacras, éstas fueron fotografiadas por ambos lados con una cámara Olympus Tough TG-4 y la ayuda de un soporte KAISER, apareciendo en la imagen la valva, una regla de 30 cm y una cuadrícula de 2x2 cm. Además, se tomaron una serie de medidas precisas de todas ellas siguiendo una guía uniforme (Anexo 1).

Para el análisis, con una sierra de cinta PROXXON separamos el LDN del resto de la concha, para un futuro mejor manejo, siendo ésta la única porción de la concha requerida en el estudio. Fue imprescindible la organización y el etiquetado de los trozos resultantes para un control exhaustivo que evitara confusiones sobre el individuo del que proviene cada muestra. Dicho etiquetado se realizó asignando un código a cada una de las nacras, incluyendo en él un nº asignado de numeración, el lugar de procedencia y la fecha de extracción. A cada trozo se

le añadía el código del ejemplar y la zona de la concha que le correspondía, por ejemplo: N1IMEPORTLLI_190118 Zona Posterior 1 (Figura 6).

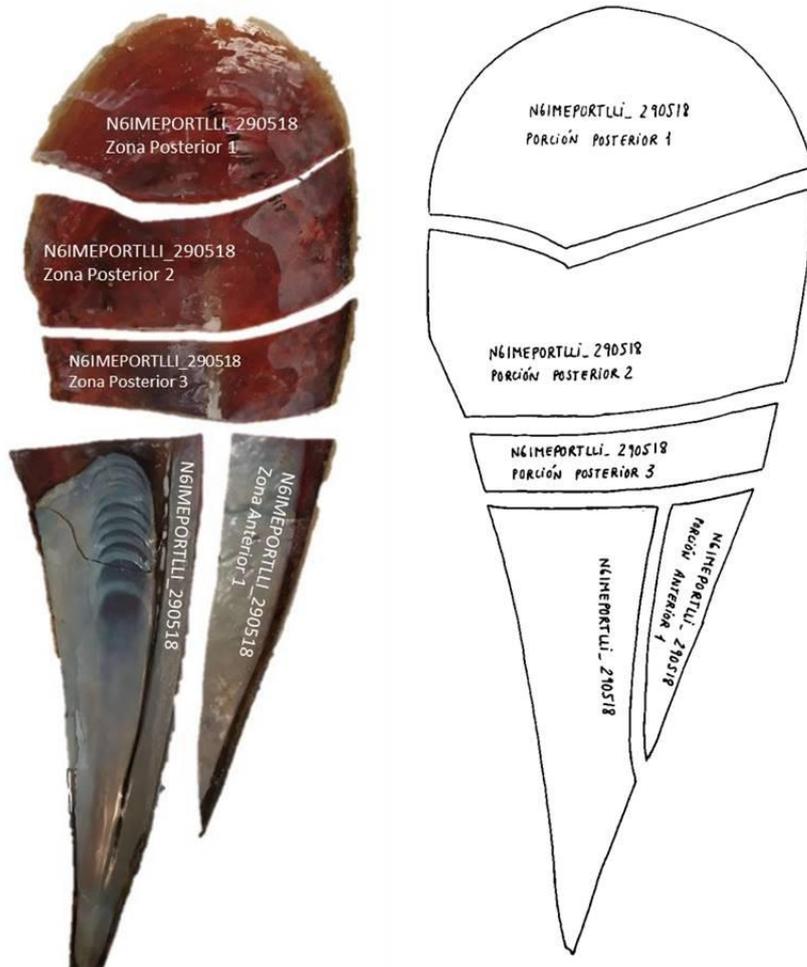


Figura 6. Etiquetado de los fragmentos de la valva derecha procesada de uno de los ejemplares estudiados de *Pinna nobilis* y esquema realizado para cada ejemplar.

El objetivo del análisis de las muestras fue poder observar un corte transversal de las CMAP (Figura 7), pero al ser una zona de gran tamaño fue necesario dividirla en porciones del tamaño aproximado de un porta objetos y juntar las muestras finales. Por ello, para evitar roturas y facilitar el análisis, se procedió a embeber la zona de las CMAP en resina epoxi (Resineco kit WWAS+WWB4). Para concentrar la resina en la zona de interés, se utilizó plastilina para fabricar un molde. Una vez seca la resina, se realizó un corte transversal y varios longitudinales de igual tamaño (Figura 8). De igual manera, todos los trozos resultantes de la zona de las CMAP se etiquetaron con el mismo código de nacra y la numeración correspondiente para su futura organización.

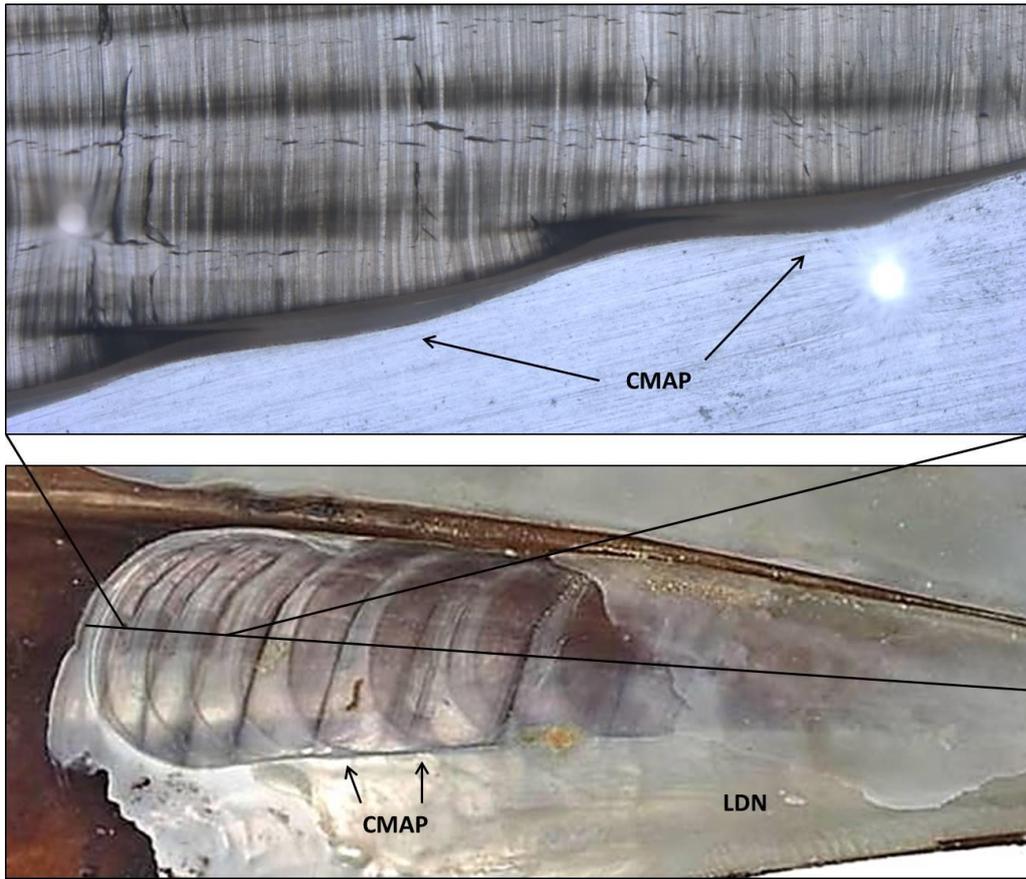


Figura 7. Sección transversal de la zona de las cicatrices del músculo aductor posterior (CMAP) de un ejemplar de *Pinna nobilis* a simple vista (abajo) y en aumento con lupa binocular una vez procesada la concha (arriba).



Figura 8. Lóbulo dorsal del nácar (LDN) embebido en resina epoxi (a) y cortado transversal y longitudinalmente (b).

Un lado de las secciones transversales fue pulido de forma ascendente en tamaño de lija, hasta un grano de 1200 para un alisado completo, y sellados cada uno de dichos fragmentos con resina epoxi en porta objetos de vidrio. Con ayuda de una sierra de precisión de baja velocidad (Buehler Isomet), se realizó un corte fino (200-300 μ) de la parte del fragmento unida al portaobjetos. Finalmente, con un segundo lijado de esta fina lámina se obtuvieron las muestras finales del corte transversal de las CMAP de cada ejemplar donde, usando una lupa binocular y microscopía óptica (García-March & Marquez-Aliaga, 2007), pudo analizarse la microestructura de las marcas de crecimiento anuales de cada ejemplar (Figura 9). Se decidió tomar el punto máximo del ensanchamiento de otoño según García-March et al. (2011a) como base para anotar los registros y se midió la distancia entre cada uno de ellos para cada ejemplar.

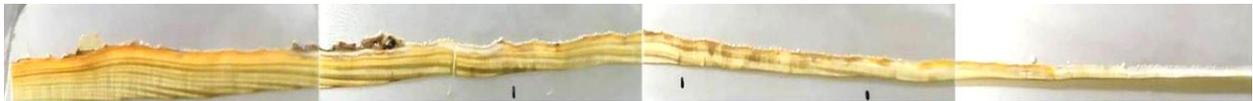


Figura 9. Unión de portaobjetos con los cortes transversales del lóbulo dorsal del nácar (LDN) pertenecientes al ejemplar de *Pinna nobilis* N11EOPORTLLI_200218 del estudio

2.2. Cálculo de los tamaños totales a partir de los registros de crecimiento

Para estimar los parámetros de crecimiento, se relacionaron las posiciones de las CMAP con Htr mediante un análisis de regresión lineal, ajustándose una ecuación a los datos en base a la buena relación lineal existente entre Htr y la longitud del LDN (García-March y Márquez-Aliaga, 2007; García-March et al., 2011a; Richardson et al., 1999; Vicente et al., 1980) y se calcularon los tamaños de los individuos correspondientes al momento en el que se depositó cada registro de crecimiento.

2.3. Estimación de incrementos anuales perdidos por erosión de la porción anterior de la concha

Suele ocurrir con *P. nobilis* que la capa de calcita en la parte anterior de las valvas esté incompleta debido a la abrasión de la concha, especialmente en ejemplares adultos, por lo que alguno de los incrementos anuales más antiguos podría estar ausente (García-March et al., 2011). Para obtener el número de registros ausentes se comparó el ancho de calcita de los 3 registros más antiguos de cada ejemplar, ya que el ancho de calcita en cada incremento anual es directamente proporcional al número de años durante los cuales se depositó (García-March

y Márquez-Aliaga, 2007). Por ejemplo, si un ejemplar adulto ha perdido dos registros, el ancho de calcita en el primer registro que se observe debería ser mayor que el de ejemplares jóvenes dónde estos registros sí estén presentes. Para una mayor precisión, se utilizó una lupa binocular con una cámara integrada de alta definición para capturar y archivar las imágenes tomadas de cada registro de forma sencilla. Posteriormente, se realizaron 3 medidas de cada registro con la ayuda de un programa de procesamiento de imágenes digitales (ImageJ), teniendo como referencia una escala de 2 mm integrada previamente en cada imagen tomada, y se tomó como valor resultante de ancho de calcita la media entre los 3 valores para cada registro. Para observar con claridad las diferencias entre los datos de anchura de calcita de los individuos, situamos dichos datos en el mismo origen. Agregamos años a los ejemplares cuyo primer registro poseía un ancho de calcita demasiado grande como para considerarse el primer año de vida. Hicimos lo mismo con aquellos ejemplares cuya segunda medida de ancho de calcita era demasiado amplia como para considerarse la segunda, y así sucesivamente. Para todos los ejemplares, suele haber una posición en la que añadirle o restarle un año de vida al individuo movería las medidas de anchura de calcita de los registros a valores demasiado altos o demasiado bajos en comparación con los juveniles y el resto de las conchas. Si, en el caso de mover la posición de un registro, la medida sobrepasara los límites máximos o mínimos establecidos por los juveniles, se adoptaría un enfoque conservador aceptando la posición de dicho registro donde se consideraba un menor número de registros de crecimiento desaparecido (García-March et al., 2011a). Además, de acuerdo con la observación de Richardson et al. (1999) de que el primer año de vida no está registrado, se les añadió un año extra a todos los individuos ya que todos ellos presentaban un ancho de calcita demasiado amplio en el primer registro como para ser considerado el primero.

2.4. Modelos de crecimiento

Los datos de talla por edad se ajustaron a la función de crecimiento de Von-Bertalanffy (Ecuación 1), utilizando el modelo de efectos mixtos no lineales propuesto por Vigliola y Meekan (2009) que considera t_0 y k como fijos y L_∞ como aleatorio.

$$L_t = L_\infty * (1 - e^{-k(t-t_0)}) \quad \text{[Ecuación 1]}$$

L_t representa la longitud o el tamaño estimado a una edad o tiempo (t) determinado, L_∞ la longitud máxima que el organismo puede alcanzar; t_0 el tiempo teórico en el cual la longitud

de la concha es cero, y k , la tasa de crecimiento (la velocidad a la que se alcanza la asíntota de la función, es decir, el tamaño máximo L_{∞}).

Para examinar las afinidades existentes entre la población del estudio (Portlligat) y las utilizadas por García-March et al. (2020a) se realizó un escalamiento multidimensional no paramétrico (nMDS), de acuerdo con la edad máxima, el tamaño individual máximo en la población, L_{∞} y k . Para la construcción del gráfico nMDS se utilizó una matriz de similitud calculada utilizando la distancia de Bray-Curtis basada en datos transformados de raíz cuadrada. Para complementar la visualización de las diferencias grupales se realizó un análisis de similitud (ANOSIM) con el fin de evaluar la significancia en las diferencias entre y dentro de los grupos y, por último, un gráfico de residuales para validar el ajuste de los modelos. Realizar un gráfico de residuales estandarizados radica en el hecho de comprobar si el modelo es válido, lo que implicaría obtener un patrón de residuos aleatorio. Por último, para discernir si los distintos tipos de poblaciones son significativamente diferentes o no, se realizó una prueba de diferencia honestamente significativa de Tukey (Test de Tukey). Todos los análisis estadísticos se realizaron con el ambiente de desarrollo integrado (IDE) para R, RStudio.

3. RESULTADOS

La longitud máxima de las conchas de los ejemplares (Tablas 1 y 2) varió entre 41.20 cm para el ejemplar más pequeño (N1IEOPORTLLI_) y 67.10 cm para el ejemplar más grande (N10IEOPORTLLI_200218). Otras medidas que variaron considerablemente entre los ejemplares fueron el peso, tomando valores desde los 155.2 g para el ejemplar más ligero (N2IEOPORTLLI_230318) hasta los 830.4 g el más pesado (N10IEOPORTLLI_200218), y la anchura del músculo aductor posterior (tMAP), con un valor mínimo de 25.23 mm para N2IEOPORTLLI_230318 y un valor máximo de 45.51 mm para N9IMEPORTLLI_Abril18 (Tablas 1 y 2).

Tabla 1. Mediciones de los ejemplares estudiados de *Pinna nobilis*, en base a las medidas detalladas en el Anexo1, tomadas de las valvas derechas antes del procesado de los 10 primeros ejemplares del estudio (parte 1)

		Htr	Htr(m)	A1	A2	Peso	MAA(l) 1	MAA(l) 2	MAA(l) min	MAA(a)	MAPa	MAPp	MAPva	MAPvp	tMAP
Código nacra	Valva	cm	cm	cm	cm	g	mm	mm	mm	mm	cm	cm	cm	cm	mm
N1IMEPORT LLI_190118	Dcha	58.00	55.30	22.20	21.20	640.70	33.78	32.77	27.78	19.95	24.60	31.10	29.70	27.90	43.28
N2IMEPORT LLI_040218	Dcha	55.00	53.40	22.20	21.90	553.80	27.36	26.16	24.09	18.33	22.50	30.50	26.10	27.60	43.57
N3IMEPORT LLI_090218	Dcha	51.40	49.30	21.20	20.30	498.00	26.84	27.93	24.93	17.52	23.20	26.40	25.40	24.40	43.20
N4IMEPORT LLI_121118	Dcha	60.40	58.30	20.30	19.70	587.60	30.87	38.10	27.58	21.15	25.60	32.80	30.90	29.10	38.06
N5IMEPORT LLI_110418	Dcha	62.30	59.60	23.80	22.10	577.40	33.03	31.39	29.98	20.39	26.90	32.70	34.50	27.20	41.09
N6IMEPORT LLI_290518	Dcha	59.40	57.30	21.10	20.20	586.90	34.99	33.78	29.78	17.55	27.50	29.40	31.10	27.20	40.51
N7IMEPORT LLI_140518	Dcha	58.50	55.60	23.00	20.60	616.10	24.95	28.41	23.63	17.86	25.20	30.90	31.40	25.50	40.32
N8IMEPORT LLI_110618	Dcha	56.10	53.10	21.30	19.70	523.20	33.44	33.61	29.36	21.41	26.30	27.10	31.10	23.40	38.94
N9IMEPORT LLI_Abril18	Dcha	60.10	58.30	22.80	20.60	406.60	23.14	24.79	20.68	19.33	25.00	33.30	31.50	27.90	45.51
N10IMEPOR TLLI_290518	Dcha	56.00	53.10	20.40	19.20	480.50	30.77	28.25	25.34	18.58	25.10	27.80	30.70	23.00	38.71

Tabla 2. Mediciones de los ejemplares estudiados de *Pinna nobilis*, en base a las medidas detalladas en el Anexo1, tomadas de las valvas derechas antes del procesado de los 10 últimos ejemplares del estudio (parte 1)

		Htr	Htr(m)	A1	A2	Peso	MAA(l) 1	MAA(l) 2	MAA(l) min	MAA (a)	MAPa	MAPp	MAPva	MAPvp	tMAP
Código nacra	Valva	cm	cm	cm	cm	g	mm	mm	mm	mm	cm	cm	cm	cm	mm
N1IEOPORT LLI_	Dcha	41.20	38.80	19.30	20.00	239.50	21.54	20.93	23.19	18.77	18.70	20.50	22.20	17.60	31.27
N2IEOPORT LLI_230318	Dcha	43.60	42.30	19.00	19.70	155.20	17.12	18.44	14.20	12.70	18.70	23.70	21.40	21.70	25.23
N3IEOPORT LLI_120318	Dcha	44.40	42.60	21.30	22.10	209.70	20.52	17.88	15.01	15.32	18.60	23.90	23.10	21.30	28.82
N4IEOPORT LLI_060218	Dcha	45.10	44.00	19.20	19.80	167.30	20.04	14.04	15.06	14.35	19.70	24.70	23.00	22.50	28.35
N5IEOPORT LLI_120318	Dcha	47.90	46.30	19.40	19.40	297.60	21.89	23.62	20.17	15.85	20.90	25.50	23.70	24.20	30.15
N6IEOPORT LLI_180318	Dcha	56.00	53.10	20.90	20.40	606.40	32.41	32.92	29.29	22.02	26.30	26.80	29.70	24.70	43.18
N7IEOPORT LLI_050318	Dcha	57.40	54.40	22.60	22.20	291.20	31.01	30.48	26.09	19.61	25.10	29.50	30.10	26.50	39.23
N8IEOPORT LLI_030318	Dcha	54.60	52.60	22.20	22.20	422.70	24.28	22.45	18.38	16.12	21.50	31.70	27.50	26.60	34.51
N9IEOPORT LLI_260418	Dcha	65.50	62.70	21.20	21.20	568.70	36.99	41.51	35.21	20.95	28.60	34.20	35.80	28.40	37.65
N10IEOPOR TLLI_200218	Dcha	67.10	64.60	22.30	22.40	830.40	37.20	32.25	29.06	22.86	26.20	38.40	31.50	34.10	41.62

Todas las conchas se encontraban en relativamente buen estado, aunque cabe destacar que casi todas ellas presentaban pequeñas abolladuras en la parte interna de la concha y alguno de los ejemplares, roturas en la zona externa, con más frecuencia en la zona posterior de las valvas. En las tablas 3 y 4 cabe destacar la gran variación en los valores que toma la porción

migrada del músculo aductor anterior (Pm), variando de 30.56 mm (N2IEOPORTLLI_230318) a 66.46 mm (N9IEOPORTLLI_260418). Para el ejemplar N3IEOPORTLLI_120318 no se pudieron realizar las medidas DEM (2) y PUP (ver Anexo 1, Tabla 4), ya que había una sola marca de crecimiento visible en el LDN debido a la gran cantidad de nácar presente en la zona de CMAP.

Tabla 3. Mediciones de los ejemplares estudiados de *Pinna nobilis*, en base a las medidas detalladas en el Anexo1, tomadas de las valvas derechas antes del procesado de los 10 primeros ejemplares del estudio (parte 2)

Código nacra	Valva	DEM (1) cm	DEM (2) cm	PUP cm	H int cm	H anterior cm	Pm mm	Zv mm	Eje mm	Observaciones
N1IMEPORTLLI_190118	Dcha	12.50	14.40	7.75	4.50	32.10	54.48	6.37	43.77	2 golpes y algo de resina en MAP
N2IMEPORTLLI_040218	Dcha	13.70	15.70	8.02	4.30	27.70	53.36	5.84	42.26	Parte anterior de la valva bastante rota, y 1 rotura en zona dorsal del MAP y resina en MAP y MAA
N3IMEPORTLLI_090218	Dcha	15.30	17.20	7.39	4.40	28.10	46.22	5.17	32.32	
N4IMEPORTLLI_121118	Dcha	16.00	18.40	9.04	5.00	32.60	66.42	4.01	51.93	Parte anterior de la valva bastante rota, parte del eje en color verde (mancha) y resina en MAP
N5IMEPORTLLI_110418	Dcha	19.00	21.20	7.49	4.10	32.20	60.42	5.31	68.26	8 golpes en cara interna y valva con 1 rotura en zona ventral
N6IMEPORTLLI_290518	Dcha	19.40	21.10	7.76	4.60	37.00	58.94	3.46	59.61	4 golpes en cara interna y valva con 2 roturas en zona dorsal
N7IMEPORTLLI_140518	Dcha	17.50	19.90	6.68	4.40	31.70	53.75	5.62	41.85	2 golpes, rota en zona posterior (1 rotura larga). Parte blanca del MAP desgastado y algo verde en zona ventral
N8IMEPORTLLI_110618	Dcha	18.50	20.60	7.41	4.10	29.30	63.26	5.30	49.35	1 rotura pequeña en zona ventral
N9IMEPORTLLI_Abril18	Dcha	17.20	19.10	7.78	4.10	28.40	51.38	4.73	42.71	4 golpes y rotura grande en zona dorsal
N10IMEPORTLLI_290518	Dcha	17.40	19.60	7.35	4.40	30.50	61.63	6.48	36.84	1 rotura larga (casi atraviesa la valva) en zona posterior dorsal. Parte blanca desgastada

Tabla 4. Mediciones de los ejemplares estudiados de *Pinna nobilis*, en base a las medidas detalladas en el Anexo1, tomadas de las valvas derechas antes del procesado de los 10 últimos ejemplares del estudio (parte 2)

		DEM (1)	DEM (2)	PUP	H int	H anterior	Pm	Zv	Eje	Observaciones
Código nacra	Valva	cm	cm	cm	cm	cm	mm	mm	mm	
N1IEOPORT LLI_	Dcha	12.40	14.90	2.50	3.80	23.90	46.40	5.98	25.37	Ligera rotura en la zona dorsal del MAP. Marcas de crecimiento apenas visibles
N2IEOPORT LLI_230318	Dcha	13.30	15.60	2.32	3.20	21.20	30.56	4.24	34.66	Marcas de crecimiento difíciles de visualizar. Asimismo el MAA apenas se diferencia tampoco
N3IEOPORT LLI_120318	Dcha	15.90			3.10	24.00	36.24	4.10	34.75	Una sola marca de crecimiento en el LDN visible con claridad. Rotura en la zona ventral del MAP
N4IEOPORT LLI_060218	Dcha	12.50	15.20	3.74	3.40	18.60	30.57	3.62	19.57	Apenas están claras las marcas de crecimiento, la última de ellas no es seguro que esté totalmente formada. La concha es ligeramente transparente
N5IEOPORT LLI_120318	Dcha	14.70	15.80	3.64	4.00	27.60	38.95	6.54	35.72	Numerosos golpes (bultos) en el interior de la valva (parte posterior)
N6IEOPORT LLI_180318	Dcha	16.30	17.70	6.43	4.00	26.70	58.63	6.62	46.65	Ligera grieta en la zona ventral del MAP
N7IEOPORT LLI_050318	Dcha	14.20	15.80	7.52	4.50	32.20	57.03	6.84	44.44	Rotura en parte ventral del MAP
N8IEOPORT LLI_030318	Dcha	12.70	14.80	5.93	4.30	29.30	38.38	5.74	28.89	Marcas de grietas en la parte posterior de la valva
N9IEOPORT LLI_260418	Dcha	16.20	18.10	8.33	4.80	33.70	66.46	4.52	58.95	Parte más posterior de la valva algo rota.
N10IEOPOR TLLI_200218	Dcha	14.80	16.10	7.72	4.80	35.50	60.90	5.86	53.95	Ligera grieta en la zona ventral del MAP

La buena relación lineal positiva existente entre el tamaño total de los ejemplares (Htr) y la longitud del LDN (MAPa) se observa en la Figura 10 (datos recogidos en las tablas 1 y 2).

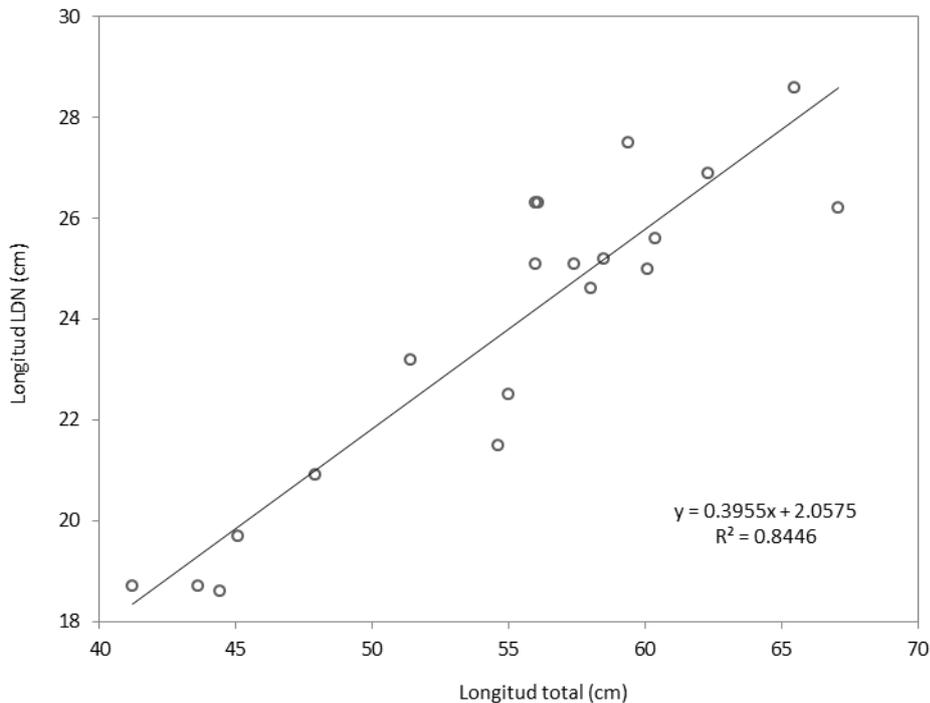


Figura 10. Diagrama de dispersión relacionando la longitud total (Htr) y la longitud del lóbulo dorsal de nácar (LDN) de los ejemplares estudiados de *Pinna nobilis*.

Los valores de ancho de calita para los primeros registros observados (Tabla 5) variaron entre 0.8 mm para el ejemplar N1IMEPORTLLI_190118 y 2.39 mm para N3IMEPORTLLI_090218. Asimismo, para los terceros registros observados los valores variaron entre 2.13 mm para el ejemplar N2IEOPORTLLI_230318 y 3.96 mm para N2IMEPORTLLI_040218. Cabe destacar que a la hora de procesar las imágenes se observó que, para el ejemplar N9IEOPORTLLI_260418, el ancho de calcita del primer registro observado estaba incompleto debido a la erosión, por lo que se le añadió la medida correspondiente a la calcita erosionada que le faltaba (Figura 11), pasando de medir 1.80 mm a 2.33 mm.

Tabla 5. Valores medios del ancho de calcita de los 3 registros más antiguos tomados para cada ejemplar de *Pinna nobilis*.

	Registro 1	Registro 2	Registro 3
	Ancho calcita (mm)	Ancho calcita (mm)	Ancho calcita (mm)
N1IMEPORTLLI_190118	0.80	1.60	2.27
N2IMEPORTLLI_040218	1.29	2.91	3.96
N3IMEPORTLLI_090218	2.39	2.58	2.91
N4IMEPORTLLI_121118	1.62	2.41	3.00
N5IMEPORTLLI_110418	1.23	1.89	2.76
N6IMEPORTLLI_290518	2.17	3.02	3.21
N7IMEPORTLLI_140518	1.05	1.80	2.60
N8IMEPORTLLI_110618	1.88	2.81	3.39
N9IMEPORTLLI_Abril18	1.49	2.09	2.52
N10IMEPORTLLI_290518	1.80	2.37	2.72
N1IEOPORTLLI_	1.69	2.79	3.49
N2IEOPORTLLI_230318	1.08	1.87	2.13
N3IEOPORTLLI_120318	0.90	2.11	2.74
N4IEOPORTLLI_060218	1.36	1.93	2.48
N5IEOPORTLLI_120318	1.44	1.54	2.19
N6IEOPORTLLI_180318	2.14	3.06	3.40
N7IEOPORTLLI_050318	1.87	3.01	3.01
N8IEOPORTLLI_030318	1.83	2.01	3.18
N9IEOPORTLLI_260418	2.33	2.97	3.73
N10IEOPORTLLI_200218	1.49	2.46	3.65

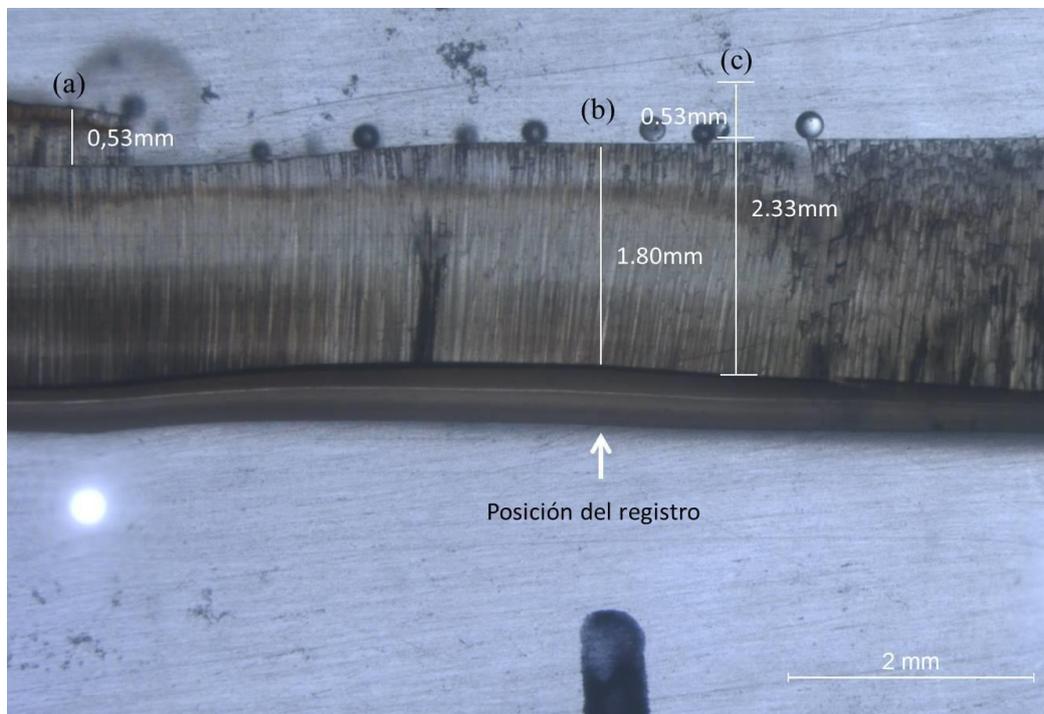


Figura 11. Fotografía tomada, con una cámara integrada en una lupa binocular (LEICA), de una sección transversal del trozo del lóbulo dorsal de nácar (LDN) de uno de los ejemplares. Se observa el primer registro

visible del ejemplar N9IEOPORTLLI_260418, pudiendo diferenciar la anchura de calcita erosionada (a), la medida de anchura de calcita sin tener en cuenta el trozo erosionado (b) y el valor final teniendo en cuenta la erosión (c).

Se obtuvieron tres pasos en el proceso utilizado para cruzar la posición de los registros internos utilizando el ancho de calcita de los tres registros más antiguos de todos los cortes de conchas. En el paso 1 (Figura 12) los datos de todos los individuos se sitúan en el mismo origen, lo que permite ver las diferencias existentes entre todos ellos. Por ejemplo, la primera marca observable del ejemplar N3IMEPORTLLI_090218 posee un ancho de calcita de casi 2,4 mm, deposición imposible en un año de edad. En la Figura 13 se observa la posición de los registros con un ajuste de un año de edad a aquellos ejemplares anómalos como el N3IMEPORTLLI_090218 y en la Figura 14, la posición de los registros ajustada, con un año extra añadido a cada ejemplar, debido a que todos los individuos presentaban un mínimo ancho de calcita demasiado amplio para corresponder con el primer año.

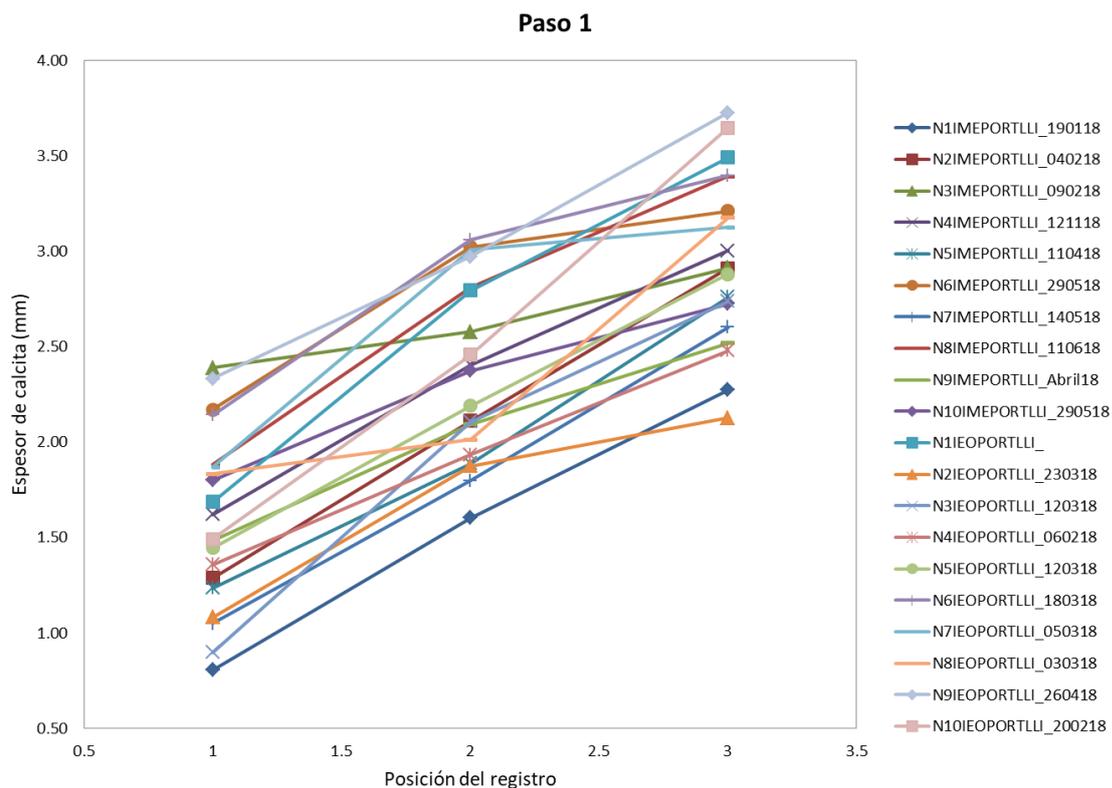


Figura 12. Paso 1 del ajuste de los anchos de calcita en función de la posición de los registros en los ejemplares estudiados de *Pinna nobilis*.

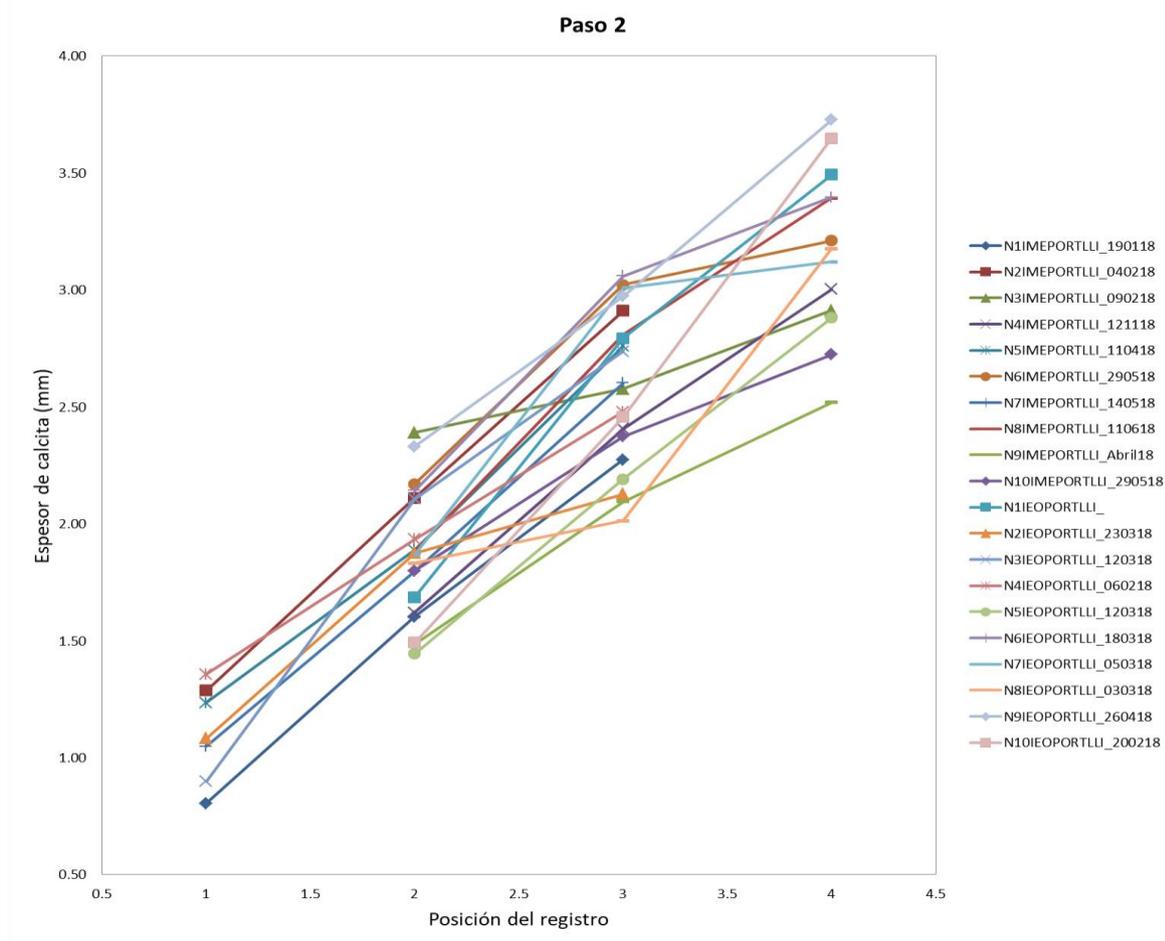


Figura 13. Paso 2 del ajuste de los anchos de calcita en función de la posición de los registros en los ejemplares estudiados de *Pinna nobilis*.

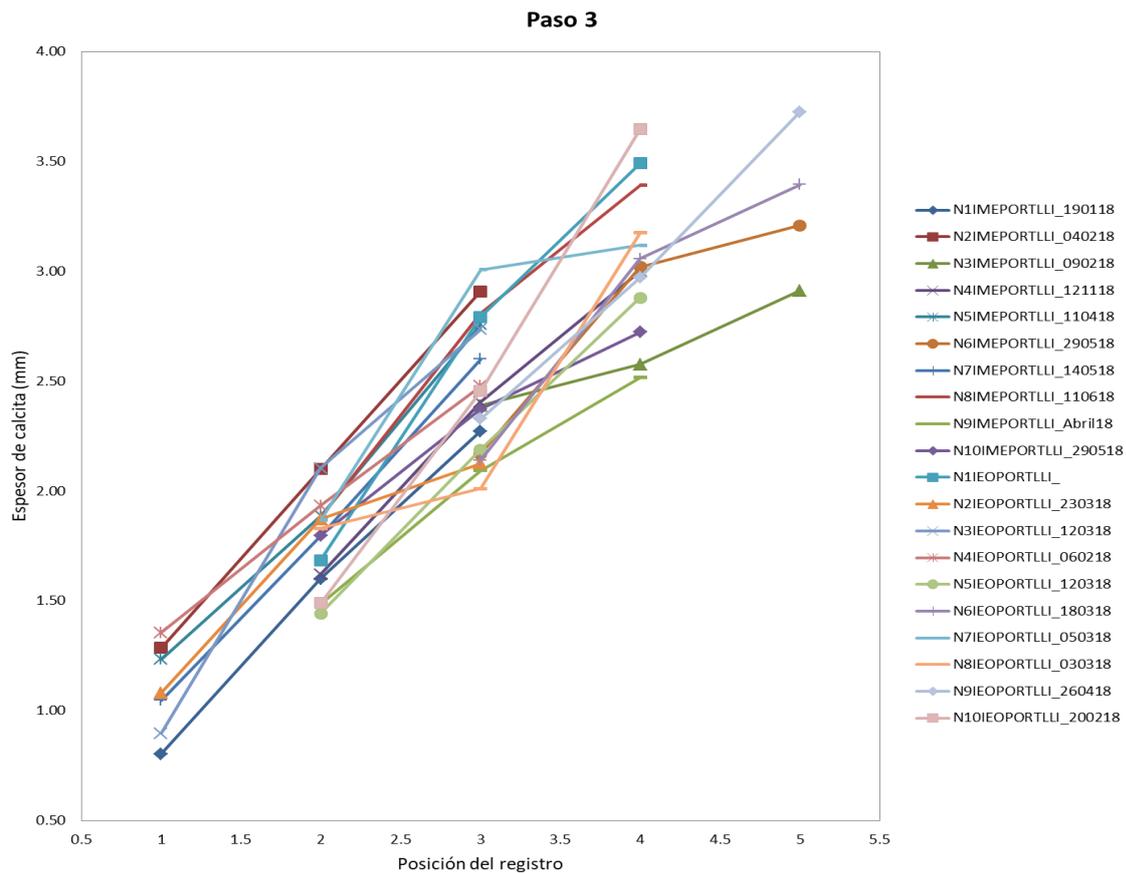


Figura 14. Paso 3 del ajuste de los anchos de calcita en función de la posición de los registros en los ejemplares estudiados de *Pinna nobilis*.

Tanto en la Tabla 6 como en la Tabla 7 se observan los datos de tamaño por edad finales para cada ejemplar, con las correcciones obtenidas anteriormente, utilizando el ancho de calcita y la posición de los registros en 3 pasos, ya aplicadas.

Tabla 6. Tamaños por edad de los diez primeros ejemplares de *Pinna nobilis* estudiados

	N1IMEPORT LLI_190118	N2IMEPORT LLI_040218	N3IMEPORT LLI_090218	N4IMEPORT LLI_121118	N5IMEPORT LLI_110418	N6IMEPORT LLI_290518	N7IMEPORT LLI_140518	N8IMEPORT LLI_110618	N9IMEPORT LLI_Abril18	N10IMEPORT LLI_290518
1										
2	14.5	22.9			23.9		19.5			
3	26.4	30.1		27.0	37.0		31.5	30.8	31.2	28.9
4	33.9	34.6	27.7	35.7	43.9	34.6	39.4	39.6	38.1	35.6
5	38.9	39.1	33.9	39.3	47.4	41.2	43.8	46.3	42.4	39.2
6	42.5	42.9	37.6	44.8	51.9	47.6	47.4	50.4	46.8	43.8
7	44.9	45.7	41.5	47.3	54.9	51.3	49.5	53.9	50.7	48.2
8	47.0	48.0	45.2	51.0	57.3	53.4	52.3	56.3	53.2	50.9
9	49.6	49.2	47.5	53.2	59.2	54.8	54.1	58.0	55.0	54.1
10	51.7	51.5	49.5	55.0	60.7	56.6	55.6	59.4	57.4	56.3
11	53.2		51.8	56.3	62.3	58.3	56.8	61.2		58.1
12	54.6		53.4	57.9		59.6	58.3			
13	56.1					60.7				
14						61.4				
15						62.9				

Tabla 7. Tamaños por edad de los diez ejemplares restantes de *Pinna nobilis* estudiados

	N1IEOPORT LLI_	N2IEOPORT LLI_230318	N3IEOPORT LLI_120318	N4IEOPORT LLI_060218	N5IEOPORT LLI_120318	N6IEOPORT LLI_180318	N7IEOPORT LLI_050318	N8IEOPORT LLI_030318	N9IEOPORT LLI_260418	N10IEOPORT LLI_200218
1										
2		23.5	19.5	26.0						
3	27.4	34.5	34.5	34.1	21.0		30.5	23.4		21.2
4	35.3	40.1	40.9	39.7	35.1	31.2	38.7	29.9	38.6	30.1
5	40.8				39.3	38.4	42.7	35.4	43.8	35.9
6					42.3	43.4	46.3	39.1	48.1	41.1
7					44.2	47.6	48.8	42.6	52.2	44.4
8					46.3	50.3	51.6	44.7	55.3	47.5
9						54.0	53.2	46.7	58.3	49.7
10						55.4	54.7		60.7	51.7
11						57.0	56.3		62.5	53.2
12						58.9	57.8		63.5	55.0
13						60.5			65.6	56.7
14										57.7
15										58.7
16										59.7
17										60.6

La edad máxima de los ejemplares varió de 4 años hasta los 17 años para el ejemplar N10IEOPORTLLI_200218, siendo el más longevo de todos los del estudio. Cabe destacar que este mismo ejemplar no sólo es el más longevo sino también el más grande, según los datos de tamaño total (Htr) observados en la Tabla 3. t_0SE

Los datos de la tasa de crecimiento (k) variaron de 0.17 para el modelo de ambientes de mar abierto abrigados (SO) a 0.30 para el modelo de lagunas (LG) y L_∞ tomó valores entre 43.0 para el modelo de ambientes de mar abierto expuestos (EO) y 64.8 para el modelo de la población de Portlligat (Tabla 8).

Tabla 8. Valores de variables que dan forma a cada modelo de crecimiento correspondiente a las poblaciones de *Pinna nobilis* de ambientes de mar abierto abrigados (SO), de ambientes de mar abierto expuestos (EO) y de lagunas costeras (LG). Aparecen los valores de la tasa de crecimiento (k) y su error estándar (kSE); la longitud máxima que la población puede alcanzar (L_{∞}) y su respectivo error estándar ($L_{\infty}SE$); así como el tiempo teórico en el cual la longitud de la concha es cero (t_0) con su error estándar (t_0SE).

	k	k SE	L_{∞} (cm)	L_{∞} SE	t_0	t_0SE
SO	0.17	0.00	63.1	0.8	-0.67	0.06
EO	0.23	0.01	43.0	0.8	-0.47	0.09
LG	0.30	0.03	56.5	2.3	-0.05	0.11
Portlligat	0.20	0.00	64.8	1.4	0.05	0.10

Aplicando los valores obtenidos a la ecuación de crecimiento de Von-Bertalanffy (Ecuación 1) se obtuvieron 4 ecuaciones o modelos de crecimiento, para el grupo SO (Ecuación 2), LG (Ecuación 3), EO (Ecuación 4) y para la población de Portlligat (Ecuación 5):

$$L_t = 63.1 * (1 - e^{-0.17(t+0.67)}) \quad \text{[Ecuación 2]}$$

$$L_t = 56.5 * (1 - e^{-0.30(t+0.05)}) \quad \text{[Ecuación 3]}$$

$$L_t = 43.0 * (1 - e^{-0.23(t+0.47)}) \quad \text{[Ecuación 4]}$$

$$L_t = 64.83 * (1 - e^{-0.20(t-0.05)}) \quad \text{[Ecuación 5]}$$

En la figura 15 se observa que el modelo de crecimiento de algunos individuos procedentes de la población de Portlligat es más similar al modelo poblacional, como el de N6IMEPORTLLI_290518 y N10IMEPORTLLI_290518, y algunos difieren un poco como el modelo individual de N4IEOPORTLLI_060218 o el de N8IEOPORTLLI_030318.

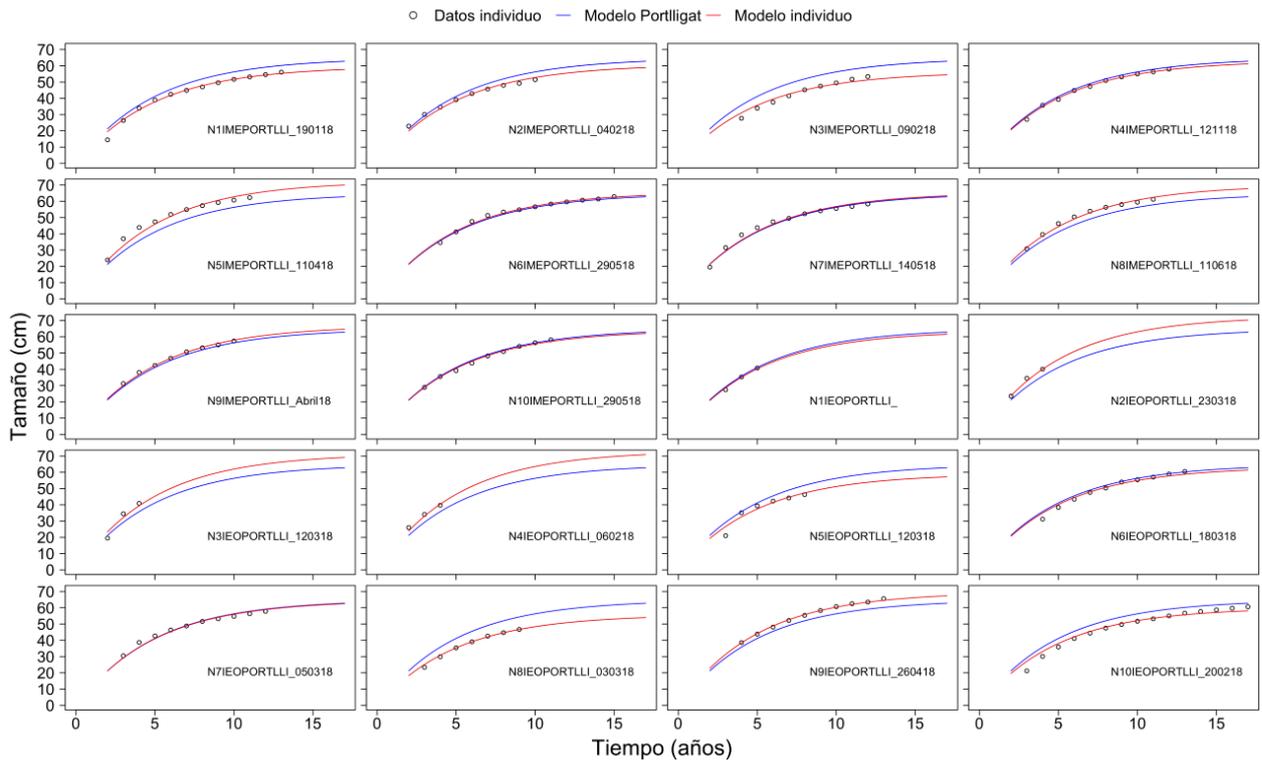


Figura 15. Modelos de crecimiento de Von-Bertalanffy para cada individuo de la población de Portlligat, con t_0 (edad a la que, hipotéticamente, la longitud es cero) y k (tasa de crecimiento) fijos y L_∞ (longitud máxima que el organismo puede alcanzar) aleatorio.

Al comparar los modelos obtenidos previamente por García-March et al., 2020a con el modelo de crecimiento obtenido para los ejemplares procedentes de la bahía de Portlligat (Figura 16), se observa que éste último se asemeja mucho o corresponde a poblaciones procedentes de un ambiente de mar abierto abrigado (SO), aunque el crecimiento durante los primeros años sea más rápido en la población de Portlligat.

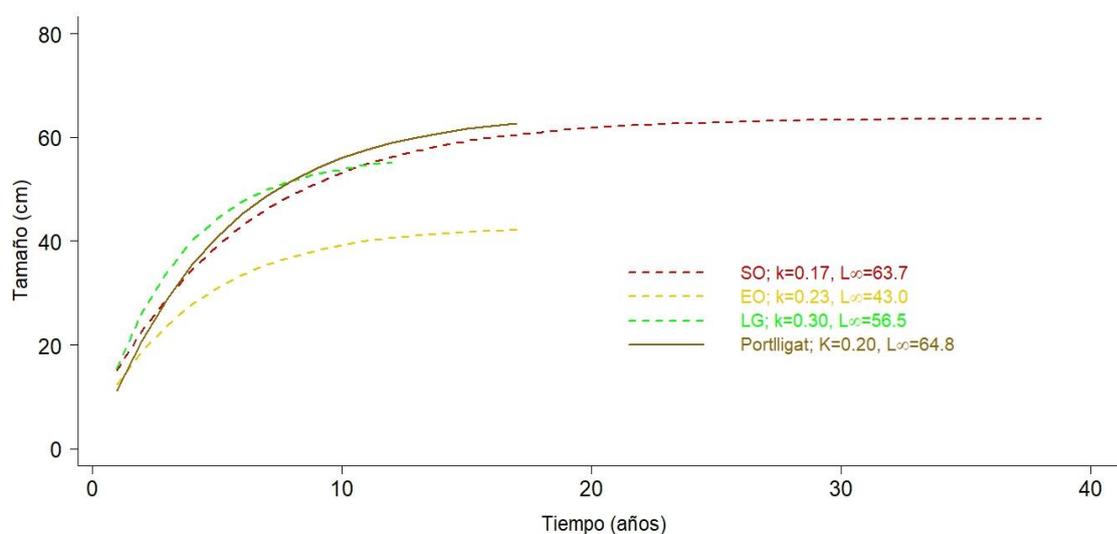


Figura 16. Modelo de crecimiento de Von-Bertalanffy de la población de *Pinna nobilis* estudiada en la bahía de Portlligat y de los 3 grupos obtenidos por García-March et al., (2020) correspondientes a poblaciones procedentes de zonas de mar abierto abrigado (SO), zonas de mar abierto expuesto (EO) y lagunas costeras (LG).

En el gráfico de ordenación nMDS, con un valor de Stress de 0.02, se agrupa a Portlligat en el grupo de poblaciones SO, procedentes de ambientes protegidos de la hidrodinámica (Figura 17). Estos resultados se corroboraron con el análisis de similitudes ANOSIM, que mostró una similitud poblacional dentro de los grupos y diferencias significativas en los parámetros de crecimiento entre los diferentes tipos de poblaciones ($R = 0.98$, $p\text{-valor} < 0.01$).

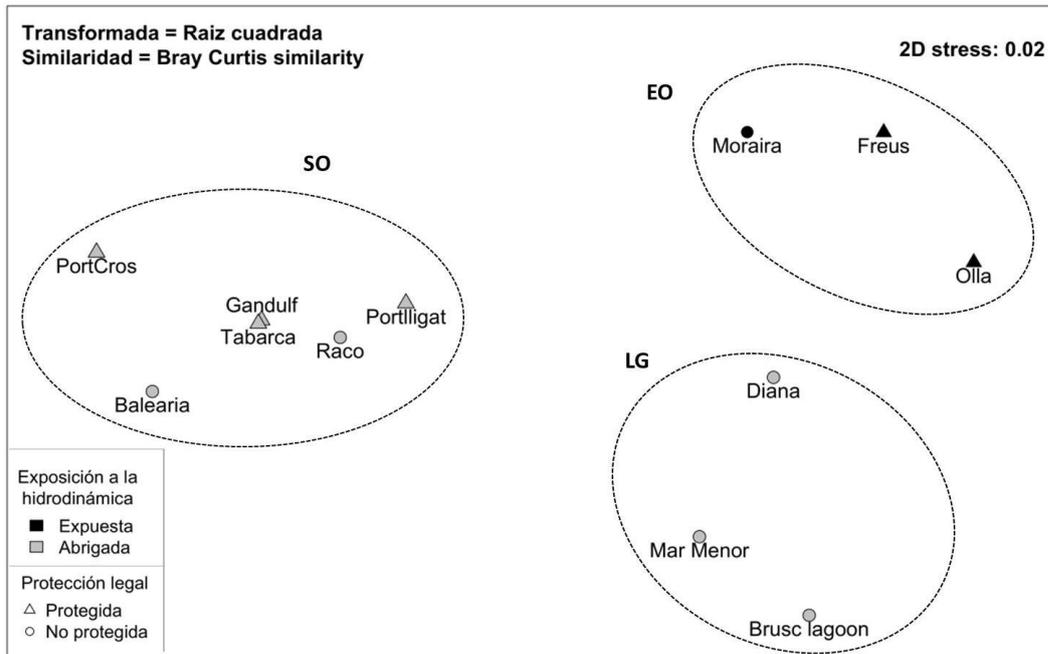


Figura 17. Ordenación multivariada (NMDS) de los parámetros de crecimiento de las muestras de las distintas poblaciones de *Pinna nobilis*, aplicando la transformación de la raíz cuadrada y el índice de similitud de Bray-Curtis. Se agrupan las poblaciones estudiadas en tres grupos según el ambiente de procedencia: ambientes de mar abierto abrigados (SO), ambientes de mar abierto expuestos (EO) y lagunas costeras (LG).

El test de Tukey (tabla 9) encontró diferencias significativas entre los grupos a través de los años. Portlligat no muestra diferencias significativas con ninguno de los tres grupos a los 2 años de edad de los ejemplares. A partir de los tres años, la población de Portlligat muestra diferencias significativas tanto con EO como con LG. En cambio, con el grupo SO no muestra diferencias significativas para ninguna de las edades establecidas.

Tabla 9. Resultados de la prueba de diferencias honestamente significativas de Tukey entre los grupos. A partir de los 7 años, no había datos suficientes de LG para la comparación (solo se podían comparar SO, EO y Portlligat).

	2 years				8 years			
	SO	EO	LG	Portlligat	SO	EO	LG	Portlligat
SO		**	*	0.981		***	—	0.371
EO			***	0.406			—	***
LG				0.224				—
	3 years			9 years				
	SO	EO	LG	SO	EO	LG		
SO		***	***	0.957	***	—	0.177	
EO			***	**		—	***	
LG				**			—	
	4 years			10 years				
	SO	EO	LG	SO	EO	LG		
SO		***	***	0.809	***	—	0.072	
EO			***	***		—	***	
LG				*			—	
	5 years			11 years				
	SO	EO	LG	SO	EO	LG		
SO		***	***	0.998	***	—	0.050	
EO			***	***		—	***	
LG				**			—	
	6 years			12 years				
	SO	EO	LG	SO	EO	LG		
SO		***	***	0.901	***	—	0.346	
EO			***	***		—	***	
LG				*			—	
	7 years			13 years				
	SO	EO	LG	SO	EO	LG		
SO		***	—	0.468	***	—	0.377	
EO			—	***		—	***	
LG				—			—	

***p value < 0.001; **p value < 0.01; *p value < 0.05; — Datos insuficientes para la comparación

Los residuos estandarizados en relación con el tamaño tanto para la población de Portlligat como para el grupo en el que se agrupa (SO) presentaron pocos valores atípicos y no mostraron ninguna tendencia relevante. Además, la mayoría de los datos (SO = 94.05%, Portlligat = 94.08%) se asentaron dentro de 2 desviaciones estándar de la media (Figura 18).

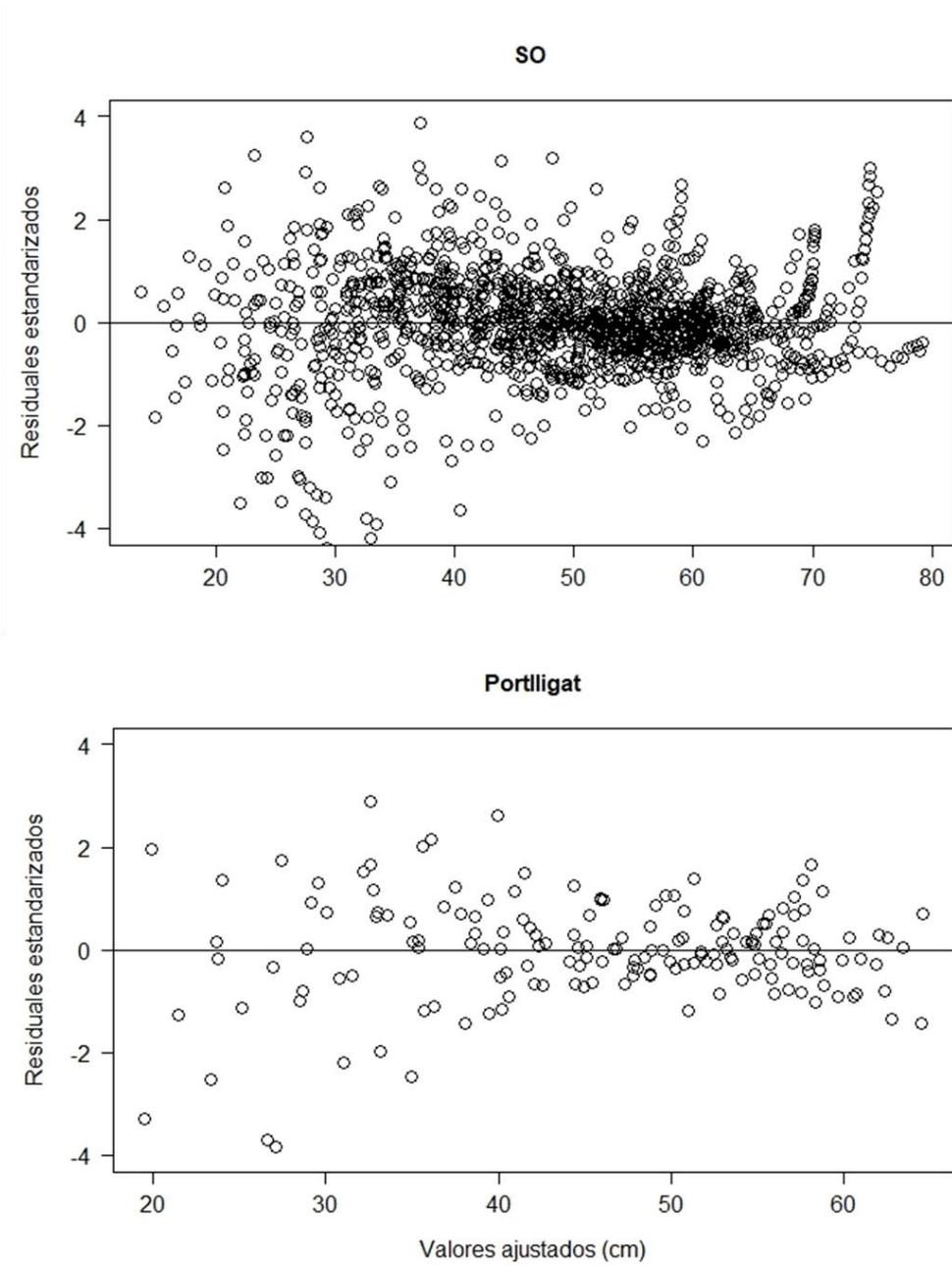


Figura 18. Residuales estandarizados en relación al tamaño de la población estudiada y del grupo al que pertenece según los análisis multivariantes.

4. DISCUSIÓN

El presente estudio ha permitido profundizar en algunos aspectos de los patrones de crecimiento de *Pinna nobilis*, una especie de especial sensibilidad en el Mediterráneo y ha corroborado la importancia de factores ambientales como determinante de las tasas de crecimiento. Además se ha aumentado el registro de estudios esclerocronológicos realizados de la especie lo que, junto con todo lo anterior, es de vital importancia para la gestión y conservación de una especie vulnerable como *P. nobilis*.

Los valores obtenidos de las mediciones realizadas a las conchas íntegras fueron bastante proporcionales. Los mayores volúmenes internos correspondieron, como cabía esperar, a los ejemplares más grandes, así como los mayores valores de medidas como el ancho del músculo aductor posterior (tMAP) o la longitud del músculo aductor anterior (MAA). Asimismo, los ejemplares más grandes también resultaron ser los más pesados y los más longevos, lo que no es de sorprender ya que cuanto más viejo sea un individuo, probablemente más grande y más pesado será debido a la deposición de calcita para aumentar la concha de tamaño durante el crecimiento (García-March et al., 2011a).

El hecho de que algunas conchas presentaran roturas tanto en la zona posterior como en la anterior, podría traducirse en que algunas de las medidas entre los distintos individuos difirieran mucho dependiendo de la porción de esta zona que esté incompleta en cada uno. Es el caso, por ejemplo, de la porción migrada del MAA (Pm), medida que incluye la parte más anterior de la concha. En este sentido, es esencial tomar imágenes y anotaciones de las conchas antes de ser procesadas, para cumplimentar o explicar posibles anomalías que se puedan encontrar en las mediciones. Una de las cuestiones que se pretenden explicar con este tipo de estudios es la gran diferencia en las medidas de peso entre los distintos individuos. El peso es función de la edad aunque estas roturas o abrasiones de la zona anterior de la concha también podrían ser las responsables de anomalías en las medidas de esta variable.

El procesado de un número amplio de muestras es recomendable en este tipo de estudios esclerocronológicos, ya que permiten ver tendencias en los datos que ayudan a su correcta interpretación. Por ejemplo, que el ancho de calcita de los primeros registros varíe tanto entre los ejemplares radica en el hecho de que alguno de los primeros registros ha pasado desapercibido, siendo imposible que un individuo en un año haya depositado 0.8 mm de calcita y otro 2.39 mm. De esta forma, este último valor no correspondería a un primer registro, teniendo el ejemplar más años de los observados, de ahí que se vayan añadiendo

años para homogeneizar los datos. El procesado de 20 individuos en el presente trabajo permitió valorar de forma adecuada estos aspectos y la correcta homogeneización de los datos.

P. nobilis es un bivalvo submareal adaptado para vivir en una variedad de ambientes en el Mediterráneo, pudiendo encontrarse ejemplares tanto en mar abierto como en lagunas costeras (García-March, 2003). Está demostrado que factores como el estrés por hidrodinámica limitan el crecimiento de la especie y que, además, el efecto de estos factores disminuye con la profundidad (García-March et al., 2007b). Por esta razón, cabría esperar encontrar a los individuos más grandes en zonas con bajo estrés por hidrodinámica y a una mayor profundidad.

En el modelo de crecimiento de Von Bertalanffy aplicado a la población de *P. nobilis* la velocidad de crecimiento inicial es muy rápida; los individuos crecen rápido hasta los 5 años de vida aproximadamente, alcanzando una longitud antero-posterior de unos 40 cm. A medida que el ejemplar aumenta de tamaño y madura sexualmente, la tasa de crecimiento decrece poco a poco hasta ser prácticamente nula. Al comparar nuestros resultados con datos previos de García-March et al., (2020a) se observa que la tasa de crecimiento de las poblaciones de *P. nobilis* en ambientes de lagunas costeras (LG) es mayor que para cualquier otro tipo de ambiente (SO, EO, Portlligat). En estos ambientes de laguna, tanto el bajo estrés por hidrodinámica como una mayor disponibilidad de alimentos en comparación con el mar abierto (Kennish and Paerl, 2010), podría explicar estas diferencias, como se ha demostrado para las diferencias de crecimiento y supervivencia de *P. nobilis* que viven en ambientes eutróficos versus oligotróficos (Alomar et al., 2015).

Como cabía esperar, la L_{∞} es mayor tanto para la población de Portlligat como para ambientes de mar abierto abrigados (SO). Que sea en estos ambientes su valor máximo y no en lagunas podría deberse a las oscilaciones tan grandes en los patrones de temperatura y salinidad que existen en éstas últimas, así como la mayor contaminación o el mayor número de amenazas a las que se ven expuestos los individuos en estos ambientes, como el Mar Menor. En general, los individuos más longevos, con un mayor número de registros, se ajustan mejor al modelo de crecimiento genérico para la población. La estructura de la población de *P. nobilis* en la bahía de Portlligat sigue tendencias similares a las observadas anteriormente en otras poblaciones. No es de sorprender que el modelo obtenido para esta población se asemeje más

al de ambientes de mar abierto abrigados (SO) ya que las condiciones ambientales de la bahía de Portlligat corresponden con esta descripción.

El gráfico de residuales estandarizados corroboró el buen ajuste de los modelos obtenidos y, tanto el test de Tukey como el análisis de ordenación nMDS, confirman la similitud de la población de la bahía de Portlligat con el grupo SO correspondiente a poblaciones ubicadas en zonas protegidas de la hidrodinámica. Además, el resultado de éste último evidencia la falta de un efecto claro del nivel de protección sobre las poblaciones; de forma que la existencia de medidas de protección legal de las poblaciones analizadas no parece determinar sus tasas de crecimiento. Por lo tanto, el ambiente en el que viven los individuos se perfila como el factor clave a la hora de diferenciar los patrones de crecimiento de las poblaciones. Aun así, García-March et al. (2020a) resaltan que los ejemplares más viejos se encuentran en espacios protegidos, lo que hace de la protección legal un factor importante en cuanto a la esperanza de vida de los individuos. Teniendo en cuenta lo anterior sería deseable realizar estudios en mayor profundidad que evaluaran el efecto de la protección legal sobre el crecimiento, biología y ecología de *P. nobilis*.

Cabe destacar que los 20 ejemplares analizados en este estudio resultaron ser más jóvenes de lo esperable, con una media de 12 años, siendo la bahía de Portlligat un espacio protegido. El ejemplar más viejo resultó tener unos 17 años y en el estudio llevado a cabo por García-March et al. (2020a) el ejemplar más viejo rondaba los 40 años, encontrado en el Parque Natural de Port-Cros (Francia). El Cabo de Creus fue declarado Parque Natural hace 19 años, en 1998. El hecho de que los ejemplares tengan casi la misma edad que el Parque Natural podría sugerir que, posiblemente, los individuos de *P. nobilis* se encontraran amenazados por extracción u otros factores y comenzaran a recuperarse en la zona desde su protección. Lo mismo ocurrió con dos de las poblaciones de *P. nobilis* estudiadas por García-March et al. (2020a) procedentes de dos espacios protegidos, Tabarca y Port-Cros. En ambos casos las edades de los ejemplares resultaron ser las mismas que la edad del Parque Natural en el que se encontraban. Otra de las posibles causas de la ausencia de ejemplares longevos en el estudio podría ser que la profundidad a la que se recolectaron los ejemplares no fue muy grande o que exista algún tipo de evento cíclico que acabe con las poblaciones.

Para entender mejor la capacidad de *P. nobilis* para adaptarse a situaciones adversas, es indispensable continuar realizando estudios sobre edad y crecimiento de la especie. Basso et

al. (2015) proponen la construcción de un “mapa de edad” en relación con datos ambientales para localizar poblaciones sanas y promover a su vez la creación de reservas marinas para su conservación. Las únicas poblaciones de *P. nobilis* que quedan en la Península ibérica se encuentran aisladas en el Mar Menor y en dos bahías del Delta del Ebro, zonas muy propensas a repentinos cambios ambientales y muy afectadas por factores antropogénicos (Vidovic et al., 2016; Nasi et al., 2018). Esto hace que la supervivencia de la especie peligre pudiendo extinguirse en todo el Mediterráneo español en un corto periodo de tiempo. La protección de otros ambientes similares es de vital importancia para anticiparse y eliminar las amenazas que pudieran poner en peligro a las posibles poblaciones que se encuentren dentro de estos ambientes (García-March et al., 2020b). La búsqueda de ejemplares supervivientes en mar abierto es esencial para la conservación de la especie, ya que, el hecho de encontrar algún ejemplar con vida podría indicar que éste ha desarrollado algún tipo de resistencia al protozoo *H. pinnae*, por lo que a corto plazo debe explorarse esa posibilidad (Vázquez-Luis et al., 2017). Esto sería de vital importancia en un futuro para estudiar esta resistencia y llevar a cabo intentos de trasplante (Katsanevakis, 2016) y repoblación con dichos individuos.

Sería interesante realizar este mismo estudio con un mayor número de poblaciones. Ahora que la posibilidad de encontrar ejemplares supervivientes es remota, podría considerarse el hecho de aumentar el número de análisis esclerocronológicos con conchas pertenecientes a diferentes ambientes. Sería de vital importancia realizar este tipo de estudios con conchas procedentes tanto del Mar Menor como del Delta del Ebro, y ampliar así el conocimiento científico sobre el crecimiento de estas últimas poblaciones que permanecen en el Mediterráneo español.

5. CONCLUSIONES

- El uso del registro interno de las marcas del músculo aductor posterior ha permitido ajustar una ecuación de crecimiento de la población de *Pinna nobilis* de Portlligat, sin la necesidad de largos periodos de medición de ejemplares in situ.
- Existe un buen ajuste de los datos de la población estudiada al modelo de crecimiento de Von Bertalanffy [$k=0.20$, $L_{\infty}=64.8$ $t_0=0.05$], de forma que la velocidad de crecimiento inicial los individuos es muy rápida hasta aproximadamente los 5 años de vida o unos 40 cm de longitud antero-posterior. A medida que el ejemplar aumenta de tamaño, la tasa de crecimiento decrece paulatinamente hasta ser prácticamente nula.

- Los parámetros del modelo descritos coinciden, como se había hipotetizado, con el modelo de crecimiento de poblaciones abrigadas (SO) realizado por García-March et al. (2020a), lo que apoya que el ambiente en el que viven los individuos parece ser un factor determinante en los parámetros de crecimiento de las poblaciones.
- Coincidiendo con observaciones anteriores, se observa una sincronía entre el periodo transcurrido desde la creación de la figura de protección legal del Parque Natural de Cabo de Creus y la longevidad de las nacras, lo que sugiere que la protección es un factor importante en cuanto a la esperanza de vida de los individuos.

6. AGRADECIMIENTOS

A José Rafa por enseñarme una nueva técnica de estudio y por todo su tiempo y ayuda durante mi estancia en la estación marina del IMEDMAR-UCV. Agradecer además a Sebas por la aportación de los datos de estudios previos y por la ayuda con el análisis de éstos. Junto con él, a Clara y a Diana por la enseñanza durante estos meses, los buceos, las comidas y las risas y a Katy por la compañía en el laboratorio durante unas semanas. Por último, agradecer a Sabrina por estar siempre pendiente y por su ayuda en la recta final. El proyecto ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Transición Ecológica (MITECO), proyecto 28-5310 “Rescate de 215 ejemplares de nacra (*Pinna nobilis*) y su mantenimiento en 5 centros especializados en el marco del Proyecto UFE IP-PAF INTEMARES (LIFE15 IPE ES 012)”, “Gestión integrada, innovadora y participativa de la Red Natura 2000 en el medio marino español. El MITECO también proporcionó los permisos para la recolección y transporte de los individuos y las cochas.

7. REFERENCIAS

Addis, P., Secci, M., Brundu, G., Manunza, A., Corrias, S., & Cau, A. (2009). Density, size structure, shell orientation and epibiotic colonization of the fan mussel *Pinna nobilis* L. 1758 (Mollusca: Bivalvia) in three contrasting habitats in an estuarine area of Sardinia (W Mediterranean). *Scientia Marina*, 73(1), 143-152.

Alomar, C., Vazquez-Luis, M., Magraner, K., Lozano, L., & Deudero, S. (2015). Evaluating stable isotopic signals in bivalve *Pinna nobilis* under different human pressures. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 467, 77-86.

Arizpe C, O. (1995). Mortality, growth and somatic secondary production of the bivalve, *Pinna rugosa* (Sowerby), in suspended and bottom culture in Bahía de La Paz, Mexico. *Aquaculture Research*, 26(11), 843-853.

- Basso, L., Vázquez-Luis, M., García-March, J. R., Deudero, S., Alvarez, E., Vicente, N., ... & Hendriks, I. E. (2015). The pen shell, *Pinna nobilis*: A review of population status and recommended research priorities in the Mediterranean Sea. *Advances in marine biology*, *71*, 109-160.
- Brey, T., & Mackensen, A. (1997). Stable isotopes prove shell growth bands in the Antarctic bivalve *Laternula elliptica* to be formed annually. *Polar Biology*, *17*(5), 465-468.
- Butler, A., Vicente, N., & De Gaulejac, B. (1993). Ecology of the pteroid bivalves *Pinna bicolor* Gmelin and *Pinna nobilis* L. *Marine Life*, *3*(1-2), 37-45.
- Cabanellas-Reboredo, M., Vázquez-Luis, M., Mourre, B., Álvarez, E., Deudero, S., Amores, Á., ... & García-March, J. R. (2019). Tracking a mass mortality outbreak of pen shell *Pinna nobilis* populations: A collaborative effort of scientists and citizens. *Scientific reports*, *9*(1), 1-11.
- Catanese, G., Grau, A., Valencia, J. M., García-March, J. R., Vázquez-Luis, M., Alvarez, E., ... & Villalba, A. (2018). Haplosporidium pinnae sp. nov., a haplosporidan parasite associated with mass mortalities of the fan mussel, *Pinna nobilis*, in the Western Mediterranean Sea. *Journal of invertebrate pathology*, *157*, 9-24.
- Cerralbo, P., Espino, M., Grifoll, M., & Valle-Levinson, A. (2019). Subtidal circulation in a microtidal Mediterranean bay. *Scientia Marina*, *82*(4), 231-243.
- Clark, G. R. (1974). Growth lines in invertebrate skeletons. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, *2*(1), 77-99.
- Combelles, S., Moreteau, J. C., & Vicente, N. (1986). Contribution à la connaissance de l'écologie de *Pinna nobilis* L. (Mollusque eulamellibranche). *Sci. Rep. Port--Cros Nat. Park*, *12*, 29-43.
- Davenport, J., Ezgeta-Balić, D., Peharda, M., Skejić, S., Ninčević-Gladan, Ž., & Matijević, S. (2011). Size-differential feeding in *Pinna nobilis* L. (Mollusca: Bivalvia): exploitation of detritus, phytoplankton and zooplankton. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *92*(2), 246-254.
- García-March, J. R. (2003). Contribution to the knowledge of the status of *Pinna nobilis* (L.) 1758 in Spanish coasts. *Mem. Inst. Oc. Paul Ricard*, 29-41.
- García-March, J. R., & Marquez-Aliaga, A. (2007). *Pinna nobilis* L., 1758 age determination by internal shell register. *Marine Biology*, *151*(3), 1077-1085.
- García-March, J. R., García-Carrascosa, A. M., Cantero, A. P., & Wang, Y. G. (2007a). Population structure, mortality and growth of *Pinna nobilis* Linnaeus, 1758 (Mollusca, Bivalvia) at different depths in Moraira bay (Alicante, Western Mediterranean). *Marine Biology*, *150*(5), 861-871.
- García-March, J. R., Hernandis, S., Vázquez-Luis, M., Prado, P., Deudero, S., Vicente, N., & Tena-Medialdea, J. (2020a). Age and growth of the endangered fan mussel *Pinna nobilis* in the western Mediterranean Sea. *Marine environmental research*, *153*, 104795.

- García-March, J. R., Manuel García-Carrascosa, A., & Luis Pena, A. (2002). In situ measurement of *Pinna nobilis* shells for age and growth studies: a new device. *Marine ecology*, 23(3), 207-217.
- García-March, J. R., Marquez-Aliaga, A., Wang, Y. G., Surge, D., & Kersting, D. K. (2011a). Study of *Pinna nobilis* growth from inner record: How biased are posterior adductor muscle scars estimates? *Journal of experimental marine biology and ecology*, 407(2), 337-344.
- García-March, J. R., Pérez-Rojas, L., & García-Carrascosa, A. M. (2007b). Influence of hydrodynamic forces on population structure of *Pinna nobilis* L., 1758 (Mollusca: Bivalvia): The critical combination of drag force, water depth, shell size and orientation. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 342(2), 202-212.
- García-March, J. R., Surge, D., Lees, J. M., & Kersting, D. K. (2011b). Ecological information and water mass properties in the Mediterranean recorded by stable isotope ratios in *Pinna nobilis* shells. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 116(G2).
- García-March, J. R., Tena, J., Henandis, S., Vázquez-Luis, M., López, D., Téllez, C., ... & Grau, A. (2020b). Can we save a marine species affected by a highly infective, highly lethal, waterborne disease from extinction? *Biological Conservation*, 243, 108498.
- García-March, J.R., 2005. *Aportaciones al conocimiento de la Biología de Pinna nobilis Linneo, 1758 (Mollusca: Bivalvia) en el litoral mediterráneo ibérico*. Publication Service of the University of Valencia, Valencia, p. 332
- Gröcke, D. R., & Gillikin, D. P. (2008). Advances in mollusc sclerochronology and sclerochemistry: tools for understanding climate and environment.
- Hall Jr, C. A., Dollase, W. A., & Corbató, C. E. (1974). Shell growth in *Tivela stultorum* (Mawe, 1823) and *Callista chione* (Linnaeus, 1758) (Bivalvia): annual periodicity, latitudinal differences, and diminution with age. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 15(1), 33-61.
- Hendriks, I. E., Cabanellas-Reboredo, M., Bouma, T. J., Deudero, S., & Duarte, C. M. (2011). Seagrass meadows modify drag forces on the shell of the fan mussel *Pinna nobilis*. *Estuaries and Coasts*, 34(1), 60-67.
- Jones, D. S. (1980). Annual cycle of shell growth increment formation in two continental shelf bivalves and its paleoecologic significance. *Paleobiology*, 6(3), 331-340.
- Jones, D. S. (1983). Sclerochronology: reading the record of the molluscan shell: annual growth increments in the shells of bivalve molluscs record marine climatic changes and reveal surprising longevity. *American Scientist*, 71(4), 384-391.
- Katsanevakis S 2002 Population ecology of the endangered fan mussel *Pinna nobilis* in a marina lake. *Endangered species research* 1:1-9
- Katsanevakis, S. (2005). Population ecology of the endangered fan mussel *Pinna nobilis* in a marine lake. *Endangered species research*, 1, 51-59.

- Katsanevakis, S. (2007). Density surface modelling with line transect sampling as a tool for abundance estimation of marine benthic species: The *Pinna nobilis* example in a marine lake. *Marine Biology*, 152(1), 77-85.
- Katsanevakis, S. (2016). Transplantation as a conservation action to protect the Mediterranean fan mussel *Pinna nobilis*. *Marine Ecology Progress Series*, 546, 113-122.
- Katsanevakis, S., & Thessalou-Legaki, M. (2009). Spatial distribution, abundance and habitat use of the protected fan mussel *Pinna nobilis* in Souda Bay, Crete. *Aquatic Biology*, 8(1), 45-54.
- Kay, A. M., & Keough, M. J. (1981). Occupation of patches in the epifaunal communities on pier pilings and the bivalve *Pinna bicolor* at Edithburgh, South Australia. *Oecologia*, 48(1), 123-130.
- Kennish, M. J., & Paerl, H. W. (Eds.). (2010). *Coastal lagoons: critical habitats of environmental change*. CRC Press.
- Kersting, D. K., & García-March, J. R. (2017). Long-term assessment of recruitment, early stages and population dynamics of the endangered Mediterranean fan mussel *Pinna nobilis* in the Columbretes Islands (NW Mediterranean). *Marine environmental research*, 130, 282-292.
- Lobbia, P. A. (2012). Esclerocronología en valvas de *Mytilus* spp: análisis del sitio CCH4 (Parque Nacional Monte León, Santa Cruz, Argentina) e implicaciones para la arqueología de Patagonia. *Magallania (Punta Arenas)*, 40(2), 221-231.
- López-Sanmartín, M., Catanese, G., Grau, A., Valencia, J. M., García-March, J. R., & Navas, J. I. (2019). Real-Time PCR based test for the early diagnosis of *Haplosporidium pinnae* affecting fan mussel *Pinna nobilis*. *PloS one*, 14(2), e0212028.
- Maeder, F. (2008). Sea-silk in aquincum: first production proof in antiquity. *Purpureae Vestes I. Textiles y tintes del Mediterráneo en época romana*, 112-15.
- Magaña, F. G. C. (1995). ¿Qué es la esclerocronología y cuáles sus posibles aplicaciones?. *CIENCIA ergosum*, 2(3), 375-381.
- Mamta, P. (2016). Paleontological studies of macro animal fossil fauna of District Jhabua and Dhar Madhya Pradesh.
- Masuda, F., and M. Hirano (1980), Chemical composition of some modern marine pelecypod shells, *Sci. Rep. Inst. of Geosci. Univ. of Tsukuba, Sect. B*, 1, 163– 177.
- Narvaez, N., Lodeiros, C., Freitas, L., Nunez, M., Pico, D., & Prieto, A. (2000). Abundance and growth of *Pinna carnea* (Mytiloidea: Pinnacea) juveniles in suspended-frame culture. *Revista de Biología Tropical*, 48(4), 785-797.

- Nasi, F., Nordström, M. C., Bonsdorff, E., Auriemma, R., Cibic, T., & Del Negro, P. (2018). Functional biodiversity of marine soft-sediment polychaetes from two Mediterranean coastal areas in relation to environmental stress. *Marine environmental research*, 137, 121-132.
- Prado, P., Cabanes, P., Catanese, G., Carella, F., Carrasco, N., Grau, A., ... & Andree, K. B. (2020a). Growth of juvenile *Pinna nobilis* in captivity conditions: Dietary and pathological constraints. *Aquaculture*, 735167.
- Prado, P., Caiola, N., & Ibáñez, C. (2014). Habitat use by a large population of *Pinna nobilis* in shallow waters. *Scientia Marina*, 78(4), 555-565.
- Prado, P., Carrasco, N., Catanese, G., Grau, A., Cabanes, P., Carella, F., ... & Gras, N. (2020b). Presence of *Vibrio mediterranei* associated to major mortality in stabled individuals of *Pinna nobilis* L. *Aquaculture*, 519, 734899.
- Richardson, C. A., Kennedy, H., Duarte, C. M., Kennedy, D. P., & Proud, S. V. (1999). Age and growth of the fan mussel *Pinna nobilis* from south-east Spanish Mediterranean seagrass (*Posidonia oceanica*) meadows. *Marine Biology*, 133(2), 205-212.
- Richardson, C. A., Peharda, M., Kennedy, H., Kennedy, P., & Onofri, V. (2004). Age, growth rate and season of recruitment of *Pinna nobilis* (L) in the Croatian Adriatic determined from Mg: Ca and Sr: Ca shell profiles. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 299(1), 1-16.
- Rouanet, E., Trigos, S., & Vicente, N. (2015). From youth to death of old age: the 50-year story of a *Pinna nobilis* fan mussel population at Port-Cros Island (Port-Cros National Park, Provence, Mediterranean Sea). *Sci. Reports Port-Cros Natl. Park*, 29, 209-222.
- Surge, D., & Schöne, B. R. (2015). Bivalve sclerochronology. *Encyclopedia of scientific dating methods*. Springer, Dordrecht, 108-115.
- Trigos, S., García-March, J. R., Vicente, N., Tena, J., & Torres, J. (2014). Utilization of muddy detritus as organic matter source by the fan mussel *Pinna nobilis*. *Mediterranean Marine Science*, 15(3), 667-674.
- Vázquez-Luis, M., Álvarez, E., Barrañón, A., García-March, J. R., Grau, A., Hendriks, I. E., ... & Ruiz, J. M. (2017). SOS *Pinna nobilis*: a mass mortality event in western Mediterranean Sea. *Frontiers in Marine Science*, 4, 220.
- Vicente N, Moreteau JC & Ecoubet P 1980 Etude de l'évolution d'une population de *Pinna nobilis* L. (Mollusque Eulamellibranche) au large de l'Anse de la palud (Parc national sous-marin de Port-Cros) *Travaux scientifique du Parc National d Port-Cros* 6: 39-67
- Vicente, N. (1990). Estudio ecológico y protección del molusco lamelibranquio *Pinna nobilis* L. 1758 en la costa mediterránea. *Iberus*, 9(1-2), 269-279.

Vidović, J., Nawrot, R., Gallmetzer, I., Haselmair, A., Tomašových, A., Stachowitsch, M., ... & Zuschin, M. (2016). Anthropogenically induced environmental changes in the northeastern Adriatic Sea in the last 500 years (Panzano Bay, Gulf of Trieste). *Biogeosciences*, 13(21), 5965.

Vigliola, L., & Meehan, M. G. (2009). The back-calculation of fish growth from otoliths. In *Tropical fish otoliths: information for assessment, management and ecology* (pp. 174-211). Springer, Dordrecht.

Warwick RM, McEvoy AJ & Thrush SF 1997 The influence of *Atrina zetlantica* Gray on meiobenthic nematode diversity and community structure. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 214: 231-247

Zavodnik, D., Hrs-Brenko, M., & Legac, M. (1991). Synopsis on the fan shell *Pinna nobilis* L. in the eastern Adriatic Sea. *Les espèces marines à protéger en Méditerranée*, 169-178.

8. ANEXO 1 Leyenda de la tabla de dimensiones

N°: identificador

Htr: tamaño total del ejemplar.

Htr (m): Tamaño total desde la parte más posterior hasta la parte más anterior del músculo aductor anterior.

A: Anchura máxima. Dos puntos: 1= máxima (aunque no sea el punto de inflexión) y 2=en el pto de inflexión.

Peso: peso

MAA(I): altura del músculo aductor anterior (en los puntos 1 dorsal y 2 ventral).

MAA (I) min: altura mínima del músculo aductor anterior (en el centro del registro).

MAA (a): anchura máxima del músculo aductor anterior.

MAPa: distancia del músculo aductor posterior (medida desde el principio del aragonito, parte más posterior) hasta la parte más anterior del MAA

Antes era a la parte anterior de la valva (siempre de la parte dorsal del registro del MAP)

MAPp: Distancia del músculo aductor posterior a la parte posterior de la valva.

MAPva: distancia del músculo aductor posterior (medida desde el principio del aragonito) hasta la parte más anterior del MAA (del registro ventral) En realidad no corresponde con ningún músculo.

MAPvp: Distancia del músculo aductor posterior a la parte post. de la valva. Del registro ventral.

tMAP: anchura del músculo aductor posterior (se trataría como si fuera un diámetro).

DEM (1): distancia de la marca clara más vieja del músculo aductor post. a la más nueva del músculo aductor anterior.

DEM (2): distancia de la 2ª marca más vieja del músculo aductor posterior a la más nueva del músculo aductor anterior.

PUP: distancia de la primera a la última marca clara del músculo aductor posterior.

H int: Altura interna de las valvas o volumen interno (grosor).

H anterior: Distancia desde la zona donde se mide el mayor volumen interno (H int) hasta la parte más anterior de la valva. Se le puede restar la diferencia entre Htr y Htr (m), para homologarla con el resto de medidas a la porción anterior.

Pm: Porción migrada del MAA Desde la marca más nueva del MAA hasta la parte más anterior de la valva (mide la migración y es relacionable con la erosión).

Zv: Observaciones sobre el límite entre el nácar y prisma en la zona ventral de la cara interna de las valvas. Se mide la distancia mínima del final del aragonito al final de la valva.

Eje: Distancia desde la parte más anterior del eje por la cara interna hasta la parte más anterior del MAA