



Universitat
de les Illes Balears

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

ANÁLISIS TEMPORAL DE LA ABUNDANCIA, DISTRIBUCIÓN Y PARÁMETROS BIOLÓGICOS DE *Trachurus mediterraneus* (STEINDACHNER, 1868) EN EL MEDITERRÁNEO ESPAÑOL

José Carlos Rodríguez Castañeda

Máster Universitario en Ecología Marina

(Especialidad/Itinerario: *Biología Pesquera*)

Centro de Estudios de Postgrado

Año Académico 2020-21

ANÁLISIS TEMPORAL DE LA ABUNDANCIA, DISTRIBUCIÓN Y PARÁMETROS BIOLÓGICOS DE *Trachurus mediterraneus* (STEINDACHNER, 1868) EN EL MEDITERRÁNEO ESPAÑOL

José Carlos Rodríguez Castañeda

Trabajo de Fin de Máster

Centro de Estudios de Postgrado

Universidad de las Illes Balears

Año Académico 2020-21

Palabras clave del trabajo:

LFD, L₅₀, factor de condición, relación talla-peso, proporción de sexos, ordenación pesquera.

Nombre Tutor/Tutora del Trabajo: Magdalena Iglesias Marroig

Nombre Tutor/Tutora: Ana Ventero Martín

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	4
ÍNDICE DE TABLAS	5
RESUMEN	6
ABSTRACT.....	7
INTRODUCCIÓN	8
Objetivos específicos	11
MATERIALES Y MÉTODOS	12
Área de estudio y muestreo.....	12
Abundancia, distribución espacial y distribución de frecuencia de tallas	14
Relación talla-peso.....	15
Factor de condición.....	16
Proporción de sexos	17
Talla de primera madurez (L ₅₀)	17
RESULTADOS	19
Abundancia, distribución espacial y distribución de frecuencia de tallas	19
Relación talla-peso.....	24
Factor de condición.....	27
Proporción de sexos	27
Talla de primera madurez (L ₅₀)	28
DISCUSIÓN	30
CONCLUSIONES	36
AGRADECIMIENTOS.....	37
REFERENCIAS.....	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica relativa del área de estudio situada en el mar Mediterráneo español.....	12
Figura 2. Longitud total del jurel <i>Trachurus mediterraneus</i>	13
Figura 3. Variación interanual de la A) abundancia (millones de individuos), biomasa (toneladas métricas), B) densidad de individuos (miles de individuos por milla náutica cuadrada) y densidad de la biomasa (toneladas por millas náuticas cuadradas) de <i>Trachurus mediterraneus</i> en el Mediterráneo español, zonas GSA06 y GSA01, durante el periodo 2016-2020.....	20
Figura 4. Distribución espacial relativa del número de individuos por pesca de <i>Trachurus mediterraneus</i> , en la plataforma del mar Mediterráneo español.....	21
Figura 5. Proporción de los individuos de <i>Trachurus mediterraneus</i> por pesca en los diferentes estratos batimétricos muestreados de la plataforma española del mar Mediterráneo (GSA01 y GSA06).	22
Figura 6. Distribución de frecuencias de tallas anual del jurel <i>Trachurus mediterraneus</i> por GSAs (GSA06 y GSA01). a) Frecuencia de tallas estandarizadas y b) Frecuencia de tallas no estandarizadas	23
Figura 7. Relación potencial general entre la longitud y el peso promedio de <i>Trachurus mediterraneus</i> en función del sexo (A), GSAs (B) y Mediterráneo español (C) durante el periodo de estudio.	25
Figura 8. Variación anual del factor de condición de <i>Trachurus mediterraneus</i> en el Mediterráneo español (A), GSA06 (B) y GSA01 (C).	27
Figura 9. Modelo logístico de la primera talla de madurez sexual (L_{50}) del Mediterráneo español (A), las áreas GSA06 (B) y GSA01 (C), que refleja la probabilidad de individuos maduros de <i>Trachurus mediterraneus</i> en función de la longitud total en cm.	29

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de las fases gonadales y desarrollo de los ovocitos para el jurel mediterráneo, <i>Trachurus mediterraneus</i>	13
Tabla 2. Número de ejemplares de <i>Trachurus mediterraneus</i> analizados durante la serie temporal (2016 al 2020) y GSAs.....	19
Tabla 3. Porcentajes de ejemplares analizados durante la serie temporal (2016 al 2020).....	19
Tabla 4. Constantes α y β de la relación talla-peso de <i>Trachurus mediterraneus</i> para machos, hembras y sexos combinados durante el periodo de estudio.	26
Tabla 5. Variación de la proporción de sexos de <i>Trachurus mediterraneus</i> durante el periodo y GSAs de estudio.	28
Tabla 6. Variación periódica de la primera talla de madurez sexual (L_{50}) de <i>Trachurus mediterraneus</i> en el mediterráneo español y las zonas GSA06 y GSA01.	29

RESUMEN

El jurel *Trachurus mediterraneus* es un recurso pesquero importante en el mar Mediterráneo, pero los datos biológicos sobre la especie son muy limitados en la región española. Para lograr un manejo adecuado de las especies de importancia económica y una explotación sostenible, es fundamental el monitoreo y determinación de sus características biológicas. Por consiguiente, se estimaron los valores de abundancia, distribución y principales parámetros biológicos poblacionales del jurel mediterráneo en dos unidades de ordenación (GSA) establecidas por la Comisión General de Pesca del Mediterráneo en el mar Mediterráneo español (GSA06-Norte de España y 01-Norte del Mar de Alborán). La abundancia, la distribución espacial y de frecuencia de tallas (LFD, del inglés Length Frequency Distribution) fueron estimadas empleando datos de prospecciones acústicas. La relación talla peso, el factor de condición (FC), la proporción de sexos y la talla de primera madurez (L_{50}) se calcularon a partir de 4339 individuos recolectados durante la campaña anual Mediterranean International Acoustic Survey (MEDIAS) 2016-2020. Los valores de abundancia y biomasa mostraron fluctuaciones anuales posiblemente influenciados por la explotación de los stocks y la variabilidad ambiental. Dos áreas, localizadas en las costas de Málaga y Barcelona, fueron halladas como posibles zonas de reclutamiento debido a la mayor presencia de juveniles. La distribución espacial de *T. mediterraneus* se concentró principalmente a menos de 60 m de profundidad en GSA01 y hasta los 105 m en GSA06. Las LFD mostraron diferencias en la talla media, encontrando ejemplares de *T. mediterraneus* de mayor talla en GSA01 que en GSA06, posiblemente favorecidos por una mayor disponibilidad de alimento. Asimismo, *T. mediterraneus* mostró un crecimiento alométrico negativo, con algunas oscilaciones en GSA06 de tipo isométrico. En GSA01, se percibieron ejemplares con un mejor FC, así como un mejor estado de los machos frente a las hembras, las cuales invierten su energía en el desove. Por otra parte, los machos predominaron sobre las hembras, debido a factores fisiológicos durante la reproducción. La L_{50} presentó diferencias significativas entre GSAs, sugiriendo como talla para futura gestión (basada en la talla de primera madurez estimada en este estudio) 16,40 cm en GSA01 y 15,82 cm en GS06.

ABSTRACT

The horse mackerel *Trachurus mediterraneus* is an important fishery resource in the Mediterranean Sea, but biological data on the species are very limited in the Spanish region. To achieve an adequate management of species of economic importance and a sustainable exploitation, it is essential to monitor and determine their biological characteristics. Therefore, the values of abundance, distribution and main population biological parameters of the horse mackerel were estimated in two management units (GSA) designated by the General Mediterranean Fisheries Commission in the Spanish Mediterranean Sea (GSA06-North of Spain and 01-North of the Alboran Sea). The abundance, spatial and length frequency distributions (LFD) were estimated using acoustic surveys. The length-weight relationship, the condition factor (FC), the sex ratio and the size at first maturity (L_{50}) were calculated from 4339 individuals collected during the 2016-2020 Mediterranean International Acoustic campaign. The abundance and biomass values showed annual fluctuations possibly influenced by the exploitation of the stocks and environmental variability. Two areas, specifically on the coasts of Malaga and Barcelona, were found as possible recruitment areas given the greater presence of juveniles evidenced. The spatial distribution of *T. mediterraneus* was mainly concentrated in the first 60 m in GSA01 and up to 105 m in GSA06. The LFDs showed differences in size, suggesting that the horse mackerel was larger in GSA01, possibly favored by greater food availability. Furthermore, *T. mediterraneus* showed negative allometric growth, with some isometric type oscillations in GSA06. In GSA01, specimens were perceived with a better FC, as well as a better state of males compared to females, who invest their energy in spawning. On the other hand, males predominated over females, due to physiological factors during reproduction. The L_{50} exhibited significant differences between zones, suggesting a length for future management (based on the size at first maturity estimated in this study) of 16.40 cm in GSA01 and 15.82 cm in GS06.

INTRODUCCIÓN

El jurel mediterráneo, *Trachurus mediterraneus* (Steindachner 1868), perteneciente a la familia Carangidae (orden Perciformes), constituye uno de los recursos pesqueros más importantes en el mar Mediterráneo (Turan 2004). Esta especie es un pez carnívoro semi-pelágico y oceanódromo, el cual forma grandes bancos entre 40 y 200 m de profundidad, usualmente cerca de fondos fangosos y arenosos (Ragonese et al. 2002). Además, se distribuye a través de los mares Mediterráneo, de Mármara y Negro, y a lo largo de la costa Atlántica noreste desde Marruecos hasta el canal de la Mancha (Smith-Vaniz et al. 1986; Fischer et al. 1987). Cabe resaltar que su distribución geográfica se solapa con la de dos especies muy similares del mismo género: *T. trachurus* y *T. picturatus* (Viette et al. 1997).

T. mediterraneus presenta reproducción gonocórica y carece de dimorfismo sexual, desovando en el Mediterráneo durante primavera y a principios de verano (Karlou-Riga 2000; Raya and Sabatés 2015; Meléndez-Vallejo et al. 2017). De esta forma, los juveniles pueden encontrarse en el ambiente pelágico en verano y a principios de otoño (Mir-Arguimbau et al. 2019). Asimismo, el jurel mediterráneo alcanza una talla máxima de 40 a 60 cm y una edad entre 10 y 12 años (Stergiou et al. 1997; Relini et al. 1999). En general, se alimenta de otros peces, en estado larval o adulto (especialmente sardinas y anchoas), y pequeños crustáceos (Ragonese et al. 2002; Šantić et al. 2004; Fernandez-Jover et al. 2007).

En el norte de España, *T. mediterraneus* se incluye entre las especies objetivo de los barcos cerqueros que inciden sobre peces pelágicos pequeños, como la sardina (*Sardina pilchardus*), la caballa (*Scomberscombrus*), el chicharro (*T. trachurus*), entre otros (Velasco et al. 2013). Sin embargo, la especie pasa a ser accesoria en la plataforma continental española del mar Mediterráneo, por lo cual no existe un monitoreo eficiente de su explotación, aunque su papel en la red trófica es de gran importancia para la presencia de otros medianos y grandes pelágicos de alto valor comercial (Vollenweider et al. 2011). De acuerdo con el Reglamento (CE) N° 1967/2006, el tamaño mínimo de captura de las especies de jurel es de 15 cm, con excepción del 5% de la cuota asignada a España, pudiendo incluir este último porcentaje a tamaños entre 12 y 14,99 cm de

longitud total.

Los primeros estudios relacionados con las características biológicas, morfología y distribución geográfica del jurel mediterráneo fueron reportados por Slastenenko (1956) en la cuenca del mar Negro. Posteriormente, se han llevado a cabo investigaciones sobre diversos aspectos biológicos de esta especie, entre las cuales se pueden mencionar la de Karlou-Riga (2000) referente a la morfología del otolito, junto con los parámetros de edad y crecimiento en el golfo Sarónico, Grecia (Mediterráneo este). Por su parte, Viette et al. (1997) y Demirel y Yuksek (2013), mediante análisis histológicos de las gónadas, estudiaron la biología reproductiva de *T. mediterraneus* en el mar Adriático y de Mármara, respectivamente. Igualmente, cabe destacar el trabajo de Şahin et al. (2009) enfocado en determinar la estructura del stock y los parámetros de crecimiento en el mar Negro oriental; así como el de Šantić et al. (2011), donde se evaluó la relación talla-peso y variación del factor de condición del jurel mediterráneo en el mar Adriático oriental.

Sin embargo, los datos biológicos sobre el jurel mediterráneo son muy limitados para la región del Mediterráneo español, pudiéndose señalar el estudio de Casaponsa (1993), el cual analizó el crecimiento y reproducción de *T. mediterraneus* en el mar catalán, mediante la lectura directa de otolitos y conteo de ovocitos maduros. Por otro lado, Lloris y Moreno (1995) propusieron un modelo del patrón de distribución batimétrica del jurel mediterráneo en el mar Balear y de Alborán, donde parte de los datos empleados fueron recolectados en barcos comerciales pesqueros. También se puede resaltar la investigación de Abad et al. (2001), en la cual se evaluó, a través de métodos acústicos, la biomasa de pequeños pelágicos en la plataforma de la isla de Alborán, incluyendo a *T. mediterraneus*.

En particular, las relaciones talla-peso presentan importantes aplicaciones en la ciencia pesquera y dinámica de poblaciones, como la conversión de ecuaciones de crecimiento en longitud a crecimiento en peso, la construcción de modelos de evaluación de stock, el cálculo de biomasa a partir de observaciones de longitud y las estimaciones del estado de condición de los peces (Erzini 1994; Froese 2006; İşmen et al. 2009). Igualmente, permiten monitorear variaciones estacionales en el crecimiento de los peces y realizar comparaciones morfológicas y de la historia de vida entre especies o entre poblaciones

de diferentes hábitats y regiones (Petrakis y Stergiou 1995; Gonçalves et al. 1997; Richter et al. 2000). Generalmente, las regresiones talla-peso se emplean para estimar el peso a partir de la talla, dado que la medición del peso puede consumir mucho tiempo en el campo (Sinovčić et al. 2004).

Con respecto a los índices o factores de condición, éstos son ampliamente utilizados para estudiar la biología de los peces, puesto que proporcionan información relevante relacionada con su estado fisiológico, basándose en el principio de que los individuos de una longitud determinada que exhiben un mayor peso, se encuentran en mejores condiciones (Lima-Junior et al. 2002; Craig et al. 2005; Tzikas et al. 2007). A partir de este concepto, la variación del índice de condición durante el año ha sido empleado como dato adicional para el estudio de la reproducción y los ciclos estacionales de los procesos de alimentación (Lima-Junior et al. 2002). Además, permite realizar estudios comparativos entre distintas poblaciones para evaluar la calidad de los ambientes donde estos animales viven (Braga 1986; Bolger y Connolly 1989).

Por su parte, la talla de primera madurez (L_{50}) describe la longitud promedio a la cual el 50% de los individuos de una población alcanzan la madurez sexual, constituyendo uno de los parámetros más importantes para el manejo de pesquerías (Fontoura et al. 2009; Hashiguti et al. 2018). Esta medida evalúa la madurez y ciclo reproductivo de una población como una compensación a los patrones de crecimiento de vida variables (Lorenzen 2016), permitiendo estimaciones de la longitud máxima de una especie, tamaño mínimo de captura y, en consecuencia, restricciones de talla capturadas para diferentes artes de pesca, el tamaño de malla de las redes o tamaño del anzuelo para las líneas de pesca (Shephard y Jackson 2005; Schill et al. 2010; Stark 2012). De esta forma, también se emplea para monitorear el número de juveniles en una población explotada que pueden llegar a madurar para su posterior desove (Ault et al. 1998; Jennings et al. 1998).

Otra de las herramientas más comúnmente empleadas para la evaluación de pesquerías es la estructura de tallas de una población, puesto que refleja en un determinado punto del tiempo el aspecto general de las interacciones de las tasas dinámicas de reclutamiento, crecimiento y mortalidad (Neumann y Allen 2007). Asimismo, supone

una respuesta sintética hacia importantes factores ecológicos, poblacionales y comunitarios (Ogle 2016). Por lo tanto, las distribuciones de frecuencias de tallas proveen información valiosa sobre las dinámicas de las poblaciones, contribuyendo a identificar problemas como inconsistencia en la fuerza de clases de edad, crecimiento lento o mortalidad excesiva (Neumann y Allen 2007). Adicionalmente, muchas regulaciones destinadas a la protección de las poblaciones están basadas en la longitud, por lo que una aplicación apropiada de las mismas requiere del entendimiento de la estructura de tallas (Isermann y Paukert 2010; Neumann et al. 2012).

Por consiguiente, la condición de los peces, su relación talla-peso, talla de primera madurez y frecuencia de tallas asociada son parámetros que contribuyen a la comprensión de aspectos como el estado general, crecimiento, supervivencia, madurez y reproducción de las especies (Richter et al. 2000). Para lograr una buena gestión de las poblaciones de especies económicamente importantes y garantizar una explotación sostenible, realizar un seguimiento y determinar las características bio-ecológicas de las mismas es fundamental (Şahin et al. 2009). Considerando la escasez de información referente a los parámetros biológicos y estructura poblacional de *T. mediterraneus* en el Mediterráneo español, la presente investigación tiene como propósito analizar la evolución temporal de la abundancia, distribución y los parámetros biológicos de esta especie, empleando datos recopilados en las campañas MEDIAS (Mediterranean International Acoustic Survey).

Objetivos específicos

- Analizar la abundancia, distribución y frecuencia de tallas de *T. mediterraneus*, en el Mediterráneo español y por unidad de gestión, GSA.
- Determinar la relación talla-peso y el factor de condición del jurel *T. mediterraneus* en el Mediterráneo español y por unidad de gestión, GSA.
- Calcular la proporción de sexos y talla de primera madurez de *T. mediterraneus* en el Mediterráneo español y por unidad de gestión, GSA.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y muestreo

La campaña de prospección MEDIAS cubrió la plataforma continental del mar Mediterráneo español (Figura 1) desde los 30 hasta 200 m de profundidad entre la frontera con Francia y el Estrecho de Gibraltar. Se realizaron transectos con una separación de 8 millas náuticas (mn) en la zona GSA06 de plataforma continental amplia (desde la frontera con Francia hasta Cabo Palos) y de 4 mn en la zona GSA01 de plataforma continental estrecha (desde Cabo Palos a Punta Europa) (Iglesias 2021).

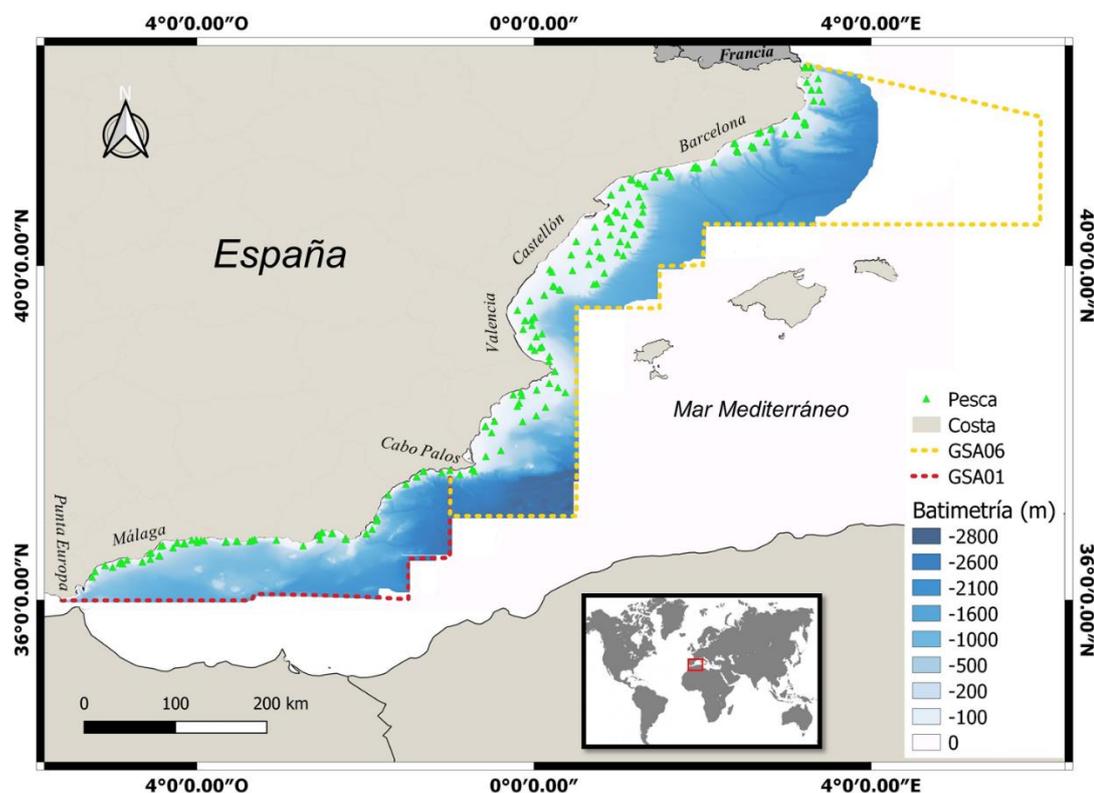


Figura 1. Ubicación geográfica relativa del área de estudio situada en el mar Mediterráneo español. Los lugares de pesca para la serie temporal analizada (2016 al 2020), límites de las GSAs y las profundidades se encuentran señalados en la leyenda. Coordenadas geográficas, WGS 84.

Los muestreos fueron llevados a cabo anualmente en el periodo de 2016-2020, entre los meses de junio y julio, capturándose los ejemplares de *Trachurus mediterraneus* mediante redes de arrastre pelágicas. El equipo acústico estuvo compuesto por una ecosonda científica EK-60 (SIMRAD), equipada con 5 frecuencias de trabajo, 18, 38,

70, 120 y 200 kHz. El protocolo estándar empleado en cada muestreo, luego de la captura total, consistió en la separación de los ejemplares por especies y en el caso de los jureles, éstos se seleccionaron al azar y se midieron cada 0,5 cm (muestreo aleatorio). Posteriormente, se seleccionaron submuestras de cinco individuos por cada grupo de 0,5 cm de longitud (muestreo estratificado por tallas) para el análisis biológico, estimándose la longitud total en mm (Figura 2), el peso húmedo total en gramos, el sexo y el estado de madurez (Tabla 1)

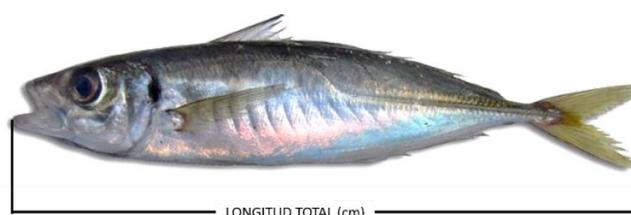


Figura 2. Longitud total del jurel *Trachurus mediterraneus*.

Tabla 1. Descripción de las fases gonadales y desarrollo de los ovocitos para el jurel mediterráneo, *Trachurus mediterraneus* (Carrillo 1978; ICES 2008).

ESTADO	FASES	CARACTERÍSTICAS
Inactivo	I INMADURO REPOSO	H: Ovarios poco visibles o muy pequeños (en forma de cordón), translúcidos o ligeramente coloreados (en reposo). M: Testículos muy pequeños, translúcidos. El sexo es muy difícil de identificar; Testículos pequeños, de color rojo anaranjado (en reposo).
	II EN DESARROLLO	H: Ovarios más anchos que ocupan 1/4 a 1/3 de la cavidad corporal; color rosado o amarillo. No hay ovocitos visibles. M: Los testículos ocupan aproximadamente 1/3 de la cavidad abdominal. Color blanco grisáceo.
Activo	III DESOVE INMINENTE	H: Ovarios que ocupan de 3/4 a casi la cavidad corporal que encaja; opaco con color amarillo o naranja. Se ven ovocitos opacos. M: Testículos blanquecinos a cremosos de aproximadamente 2/3 de la cavidad corporal. Bajo una ligera presión, los espermatozoides no se expulsan.
	IV DESOVE	H: Ovarios grandes que ocupan toda la cavidad del cuerpo; total o parcialmente translúcido con aspecto gelatinoso. Los ovocitos hialinos son visibles. M: Los testículos blandos blanquecinos y cremosos ocupan toda la cavidad del cuerpo. Bajo una ligera presión, los espermatozoides se expulsan libremente.
	V POST-PUESTA	H: Tamaño de 1/2 a 3/4 de la cavidad abdominal; ovarios no

	PARCIAL	turgentes con zonas hemorrágicas. Color sangre. M: Los testículos desinflados ocupan hasta 2/3 de la cavidad corporal, color pardusco / rojizo.
VI	POST-PUESTA TOTAL	H: ovario rojizo encogido; Tamaño inferior a 2/3 de la cavidad abdominal Ovario flácido. Algunos pequeños ovocitos opacos. M: Testículos flácidos y delgados con aspecto hemorrágico.

Abundancia, distribución espacial y distribución de frecuencia de tallas

La estimación de índices de abundancia en número de individuos (millones) y la biomasa en toneladas métricas (tm) para *T. mediterraneus* en la comunidad pelágica se calculó en base a los registros acústicos detectados por la frecuencia de 38 kHz (Iglesias 2021). La distribución espacial del número de individuos de *T. mediterraneus* en las pescas se estableció empleando el software QGIS 3.10, mediante la técnica de ponderación de distancia inversa (IDW) puesto que el muestreo fue suficientemente representativo (Khoukh 2017). El análisis se basó en una matriz de datos en la cual se incluía la presencia, ausencia y la frecuencia en número de ejemplares de las pescas llevadas a cabo durante las campañas. Para determinar la distribución batimétrica de *T. mediterraneus*, se utilizó un modelo lineal generalizado con distribución binomial, dado que la variable respuesta se refería a la proporción de los individuos en las pescas por estratos batimétricos (basada en la ausencia y el número de ejemplares). Por último, se aplicó una prueba de Tukey para la comparación múltiple de medias por GSA, con el propósito de reflejar las diferencias detectadas en relación con los estratos batimétricos.

El método de Bhattacharya fue implementado para separar los componentes normales de la distribución polimodal de frecuencias de tallas (LFD, del inglés Length Frequency Distribution), cada uno de los cuales representó una cohorte de individuos. El proceso fue realizado mediante el ajuste de regresiones a los logaritmos naturales de frecuencias sucesivas, empleando el paquete FiSAT II (referencia FAO) con la rutina *modal progression analysis (análisis de la progresión modal)*. Para detectar posibles diferencias entre las distribuciones de frecuencias de tallas de las zonas y años de estudio, se efectuó una prueba de Kolmogorov-Sminov (K-S test) de dos muestras (Neumann y Allen 2007). Puesto que se consideraron más de dos años en el análisis, los

valores p de cada comparación fueron ajustados para una tasa de error experimental creciente debido a múltiples comparaciones.

Relación talla-peso

Se analizó la relación talla-peso del jurel *T. mediterraneus* en el Mediterráneo español por sexo para la serie temporal (2016 al 2020) y para cada año considerando la GSA de procedencia, mediante una regresión potencial, calculando los valores de α y β a través del siguiente modelo:

$$W_i = \alpha L_i^\beta e^{\epsilon_i} \quad (1)$$

Donde:

W_i : Peso en gramos

L_i : Longitud en cm

α : Intercepto

β : Pendiente

ϵ_i : Error

Luego, se aplicó el logaritmo a la ecuación 1, con el objetivo de permitir que los errores fuesen aditivos y estabilizar las variaciones en el modelo, lo cual facilitó la realización de métodos de regresión lineal.

$$\log(W_i) = \log(\alpha) + \log(L_i) + \beta + \epsilon_i \quad (2)$$

Para determinar las posibles diferencias en la relación talla-peso entre sexos y GSAs, se empleó un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías, para el cual se comprobaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas entre grupos a través de la representación gráfica de los residuales del modelo.

El tipo de crecimiento del jurel *T. mediterraneus* fue establecido aplicando una prueba t -Student, considerando el coeficiente de alometría para verificar si el crecimiento encontrado correspondía al tipo isométrico ($\beta = 3$). Cuando $\beta > 3$, los individuos de

mayor talla incrementan su peso en mayor proporción con respecto a su longitud, presentando un crecimiento alométrico positivo. Por el contrario, cuando $\beta < 3$, los individuos incrementan más su longitud relativa en comparación a su peso (Froese 2006). La ecuación del estadístico se refleja a continuación:

$$t = \frac{b - \beta}{S} \quad (3)$$

Donde:

b: Coeficiente de alometría

β : Valor de la pendiente

S: Error estándar

Factor de condición

Para evaluar el estado o la condición de *T. mediterraneus* y conocer el bienestar de la población respecto a su estado nutricional, se utilizó la metodología propuesta por Fulton, quien plantea que los peces de mayor peso y tamaño presentan una mejor condición (Piedra et al. 2012). Los valores de factor de condición (**K**) superiores a 1 denotan un mejor estado. El parámetro **K** fue calculado mediante la siguiente ecuación:

$$K = \frac{W_i}{L_i^\beta} * 100 \quad (4)$$

Donde:

W_i: Peso en gramos

L_i: Longitud en cm

β : Valor de la pendiente de la relación talla-peso

De igual forma, se aplicó el logaritmo para simplificar el análisis y realizar modelos lineales. Posteriormente, para determinar las posibles diferencias en el factor de condición entre sexos, GSAs y años, se empleó un análisis de covarianza (ANCOVA).

Previo a esto, fueron comprobados los supuestos de normalidad, con la prueba de Kolmogorov-Smirnov ($n > 50$), y homogeneidad de varianzas entre grupos, mediante la prueba de Levene. Por último, se aplicó una prueba de Tukey para la comparación múltiple de medias y reflejar las diferencias interanuales

Proporción de sexos

Se calculó la proporción de sexos del jurel *T. mediterraneus* en el Mediterráneo español para para la serie temporal (2016 al 2020) y para cada año considerando la GSA de procedencia. Además, se aplicó una prueba de Chi-cuadrado (χ^2) para determinar si existían diferencias significativas en dicha proporción (Zar 1996), basada en la hipótesis de Fisher, la cual indica que existe una hembra por cada macho (1H:1M). Se empleó la siguiente fórmula:

$$\chi^2 = \sum \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i} \quad (5)$$

Donde:

o_i : frecuencia del valor observado

e_i : frecuencia del valor esperado

Talla de primera madurez (L_{50})

El estado de madurez de cada ejemplar se utilizó para calcular la talla de primera madurez sexual (L_{50}) para machos y hembras para la serie temporal (2016 al 2020), para cada año y GSA. La estimación se realizó obteniendo el porcentaje de individuos activos (III, IV, V y VI) (Carrillo 1978), por clase de tallas cada 1 cm, y posteriormente estos valores fueron ajustados al siguiente modelo logístico:

$$p = \frac{100}{1 + e^{(\alpha + \beta) * L}} \quad (6)$$

Donde:

p: Porcentaje de ejemplares maduros

L: Longitud total en cm

α y β: Constantes

Con el fin de establecer si las regresiones logísticas ajustadas de GSA01 y GSA06 diferían significativamente entre sí, se construyó un modelo lineal generalizado con distribución binomial. La diferenciación en la pendiente de los modelos se determinó mediante la prueba de contraste de Chi-cuadrado, cuando la variable que representaba la interacción entre los factores GSA y longitud total era detectada como un término significativo en el modelo.

RESULTADOS

Durante los años 2016 al 2020 se analizaron biológicamente 4339 individuos de *T. mediterraneus* recogidos en la campaña MEDIAS, de los cuales, 2603 provenían de la GSA06 y 1736 ejemplares de la GSA01. Se pudo determinar el sexo de 3336 ejemplares, de los cuales 1945 correspondían a machos y 1391 a hembras. Sin embargo, no fue posible identificar sexualmente a un total de 1003 individuos, encontrándose una mayor proporción de éstos en 2016 (Tablas 2 y 3).

Tabla 2. Número de ejemplares de *Trachurus mediterraneus* analizados durante la serie temporal (2016 al 2020) y GSAs. **M:** Machos; **H:** Hembras; **I:** Indeterminado; **Tot:** Total.

Año	GSA06				GSA01				Total			
	M	H	I	Tot	M	H	I	Tot	M	H	I	Tot
2016	60	113	23	196	185	120	231	536	245	233	254	732
2017	206	154	123	483	61	50	74	185	267	204	197	668
2018	228	190	62	480	195	117	37	349	423	307	99	829
2019	284	180	149	613	186	124	117	427	470	304	266	1040
2020	401	256	174	831	139	87	13	239	540	343	187	1070
Total	1179	893	531	2603	766	498	472	1736	1945	1391	1003	4339

Tabla 3. Porcentajes de ejemplares analizados durante la serie temporal (2016 al 2020) y GSAs. **M:** Machos; **H:** Hembras; **I:** Indeterminado; **Tot:** Total.

Año	GSA06 (%)				GSA01 (%)				TOTAL (%)			
	M	H	I	Tot	M	H	I	Tot	M	H	I	Tot
2016	30	58	12	100	35	22	43	100	33	32	35	100
2017	43	32	25	100	33	27	40	100	40	31	29	100
2018	48	40	12	100	56	34	10	100	51	37	12	100
2019	46	29	25	100	44	29	27	100	45	29	26	100
2020	48	31	21	100	58	36	6	100	50	33	17	100

Abundancia, distribución espacial y distribución de frecuencia de tallas

Los valores de abundancia de *T. mediterraneus* en el Mediterráneo español presentaron oscilaciones durante el periodo de estudio (2016-2020), alcanzándose el nivel más alto en el año 2020 (264,23 millones) y uno de los niveles más bajos en 2018 (127,51 millones). Además, este último coincidió con el mayor valor de biomasa (10721,57 tm), lo cual estuvo influenciado por la presencia de individuos de gran tamaño. Las

fluctuaciones anuales de las estimaciones por GSA pueden apreciarse en la Figura 3A. GSA01 mostró valores más altos de biomasa y abundancia durante 2016 y 2017, mientras que GSA06 alcanzó mayores niveles en comparación a GSA01 en 2018-2019. Sin embargo, en la Figura 3B se aprecia una mayor densidad de individuos por milla náutica cuadrada en GSA01 en comparación con GSA06 durante el periodo de estudio. De igual forma, se registró un patrón similar con los valores de la densidad de la biomasa, a excepción del año 2018, en el cual GSA06 fue ligeramente superior a GSA01 debido a la presencia de ejemplares de gran talla.

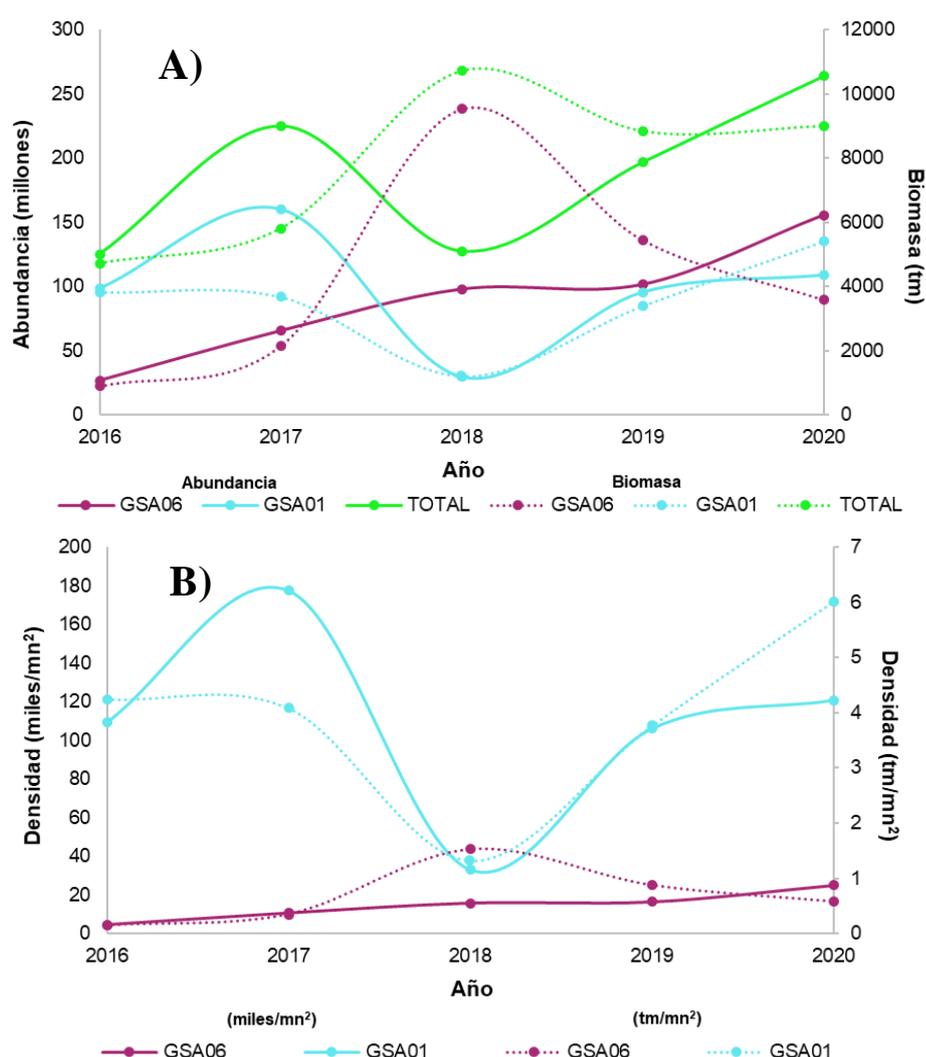


Figura 3. Variación interanual de la A) abundancia (millones de individuos), biomasa (toneladas métricas), B) densidad de individuos (miles de individuos por milla náutica cuadrada) y densidad de la biomasa (toneladas por millas náuticas cuadradas) de *Trachurus mediterraneus* en el Mediterráneo español, zonas GSA06 y GSA01, durante el periodo 2016-2020.

En la plataforma costera del Mediterráneo español, se evidenciaron cuatro zonas con una alta frecuencia de *T. mediterraneus* durante las pescas (Figura 4). En GSA06, el área de mayor frecuencia de individuos se localizó al Oeste de la costa de Barcelona (muy alta) y, en menor medida, al Este de la misma. Por otro lado, la GSA01 presentó las mayores frecuencias de *T. mediterraneus* en las costas de Málaga (muy alta) y Murcia (alta). Además, no se registró la presencia de individuos en ningún estrato batimétrico de las costas de Castellón y Valencia.

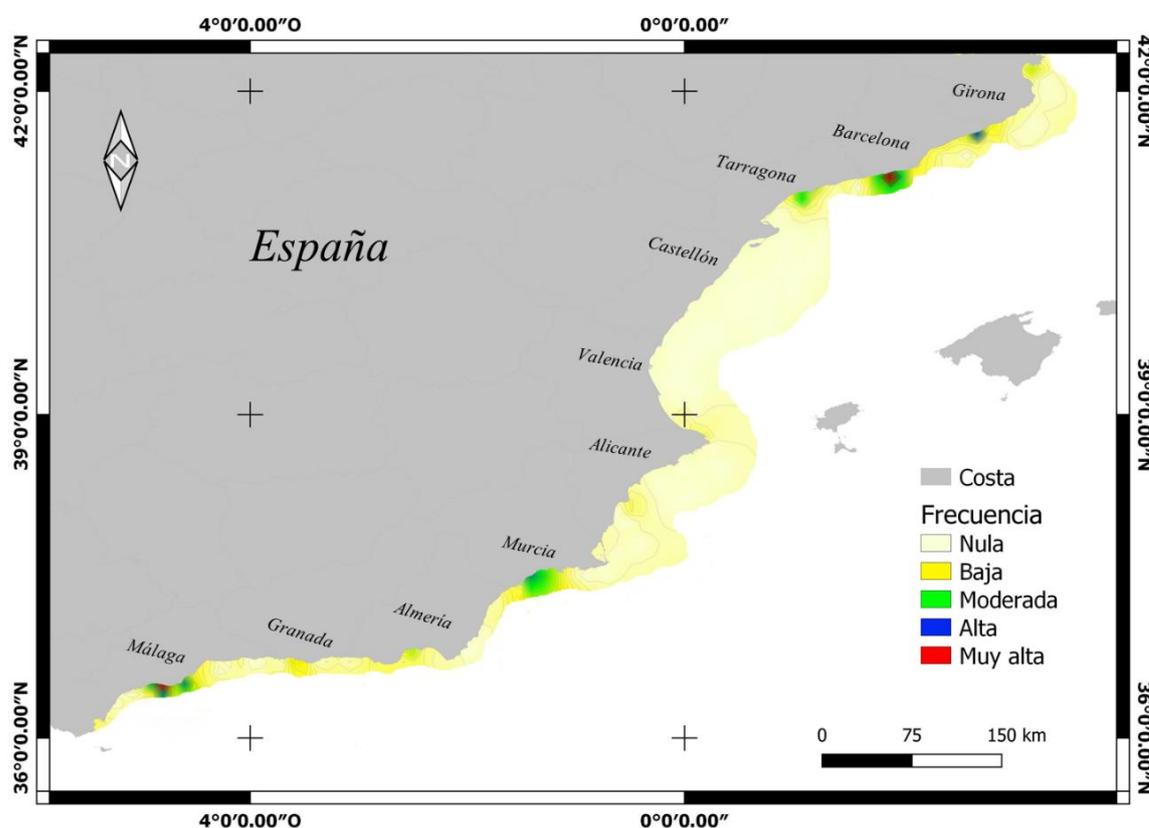


Figura 4. Distribución espacial relativa del número de individuos por pesca de *Trachurus mediterraneus*, en la plataforma del mar Mediterráneo español. La coloración opaca refleja la ausencia del jurel por pesca y el color rojo la máxima frecuencia tal como se encuentran señalados en la leyenda. Coordenadas geográficas WGS 84, EPSG:4326.

En general, *T. mediterraneus* apareció con mayor frecuencia entre los 30 y 60 m de profundidad concentrándose en este estrato batimétrico el 81% de las pescas positivas para esta especie. A partir de 135 m de profundidad no se encontró ningún individuo. Este patrón fue constante en GSA01, donde las franjas entre 30 y 60 m se diferenciaron significativamente ($p < 0,001$) de los estratos superiores a 60 m, en los que se evidenciaron muy pocos organismos ($< 1\%$). En el caso de GSA06, se reportó una mayor

ocurrencia entre los 30 y 45 m ($p < 0,001$) y una distribución relativamente homogénea desde los 45 hasta 90 m ($p > 0,05$). Luego de los 105 m ($p < 0,05$) se encontraron muy pocos ejemplares hasta desaparecer a profundidades mayores de 135 m (Figura 5).

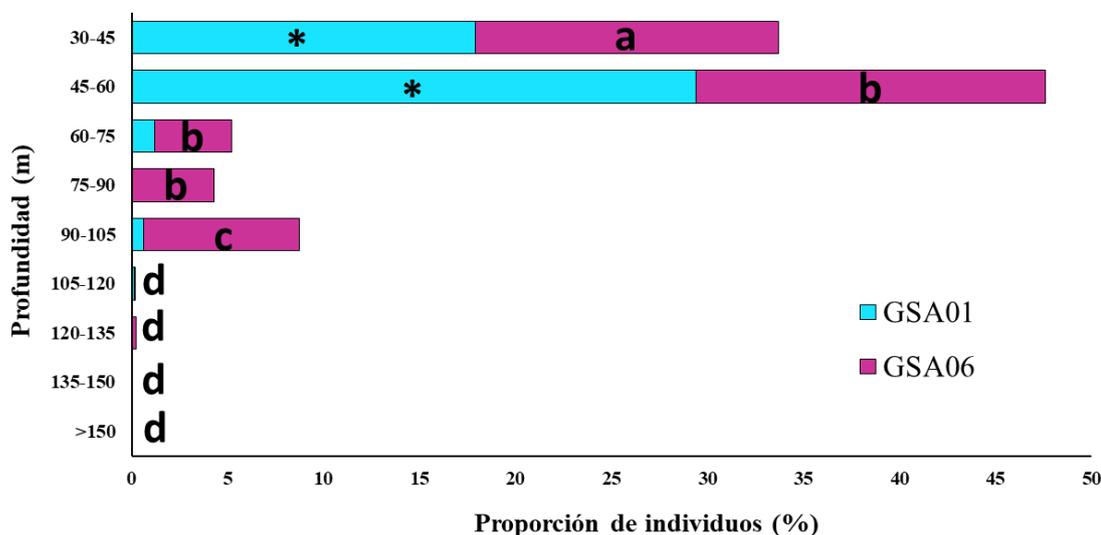


Figura 5. Proporción de los individuos de *Trachurus mediterraneus* por pesca en los diferentes estratos batimétricos muestreados de la plataforma española del mar Mediterráneo (GSA01 y GSA06). Los asteriscos y letras denotan diferencias significativas entre los estratos batimétricos en la GSA01 y GSA06, respectivamente.

Para la serie temporal estudiada (2016-2020), la distribución de frecuencia de tallas de *T. mediterraneus* mostró valores desde 4 hasta 42,5 cm de longitud total. La prueba de Kolmogorov-Smirnov para todas las combinaciones de GSAs y años indicó que las distribuciones de frecuencia diferían significativamente entre sí ($p < 0,05$), apuntando que el jurel fue significativamente más grande en GSA01, puesto que las modas de esta área se encontraron entre 1 y 1,5 cm por encima de las de GSA06. En la Figura 6 se pueden observar las diferencias relativas a la composición de la estructura de tallas anuales y GSAs, encontrándose dos, tres o cuatro clases modales al año. Las modas más frecuentes oscilaron entre 8 ± 1 , 13 ± 1 , 18 ± 2 , 22 ± 1 y 27 cm. La fuerza de reclutamiento, entendido como la abundancia de la primera clase anual (edad 0, moda 8 cm), fue notable para GSA01 durante el año 2017. Igualmente, en GSA06, se observó un reclutamiento un poco más débil en el 2016 mientras que el resto de los años no se evidencio.

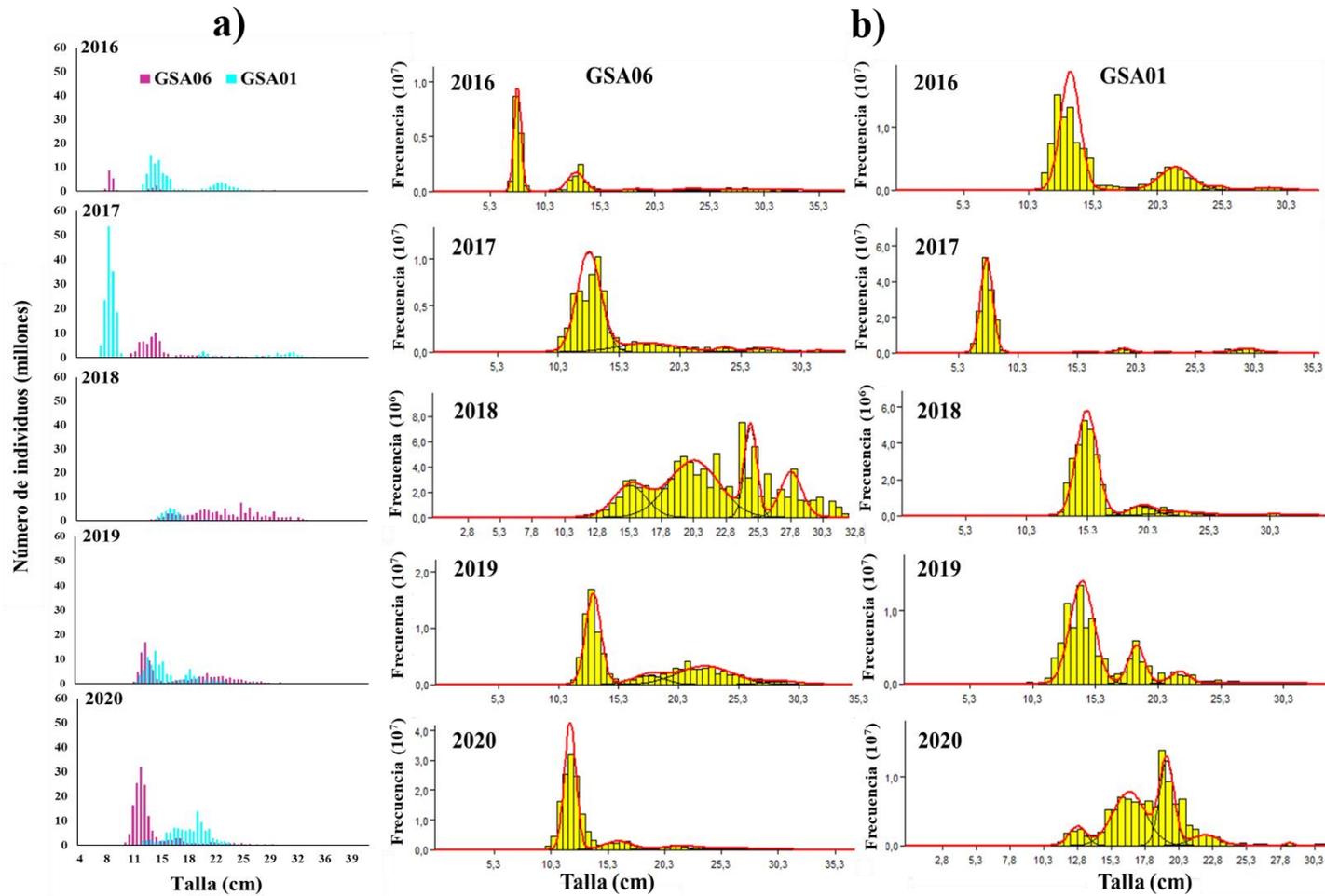


Figura 6. Distribución de frecuencias de tallas anual del jurel *Trachurus mediterraneus* por GSAs (GSA06 y GSA01). **a)** Frecuencia de tallas estandarizadas y **b)** Frecuencia de tallas no estandarizadas. Las líneas rojas reflejan la densidad suavizada mediante el método de Bhattacharya. Cada campana Gaussiana se traduce como una cohorte.

Relación talla-peso

El ajuste de los datos de la relación talla-peso al modelo potencial en el mediterráneo español para la especie *T. mediterraneus* se representa en la Figura 7. Los parámetros totales estimados mostraron un crecimiento alométrico negativo ($p < 0,0001$). Igualmente, se detectaron diferencias significativas entre sexos ($p < 0,05$) y GSAs ($p < 0,0001$). Los parámetros de la relación talla-peso para las hembras fueron: $\alpha = 0,0091$, $\beta = 2,947$, $R^2 = 0,986$, lo cual señala un crecimiento de tipo alométrico negativo ($p < 0,0001$). Por su parte, los parámetros correspondientes a los machos fueron: $\alpha = 0,0010$, $\beta = 2,912$, $R^2 = 0,984$, demostrando un crecimiento alométrico negativo ($p < 0,0001$). Con respecto a las GSAs, los parámetros obtenidos para GSA06 fueron: $\alpha = 0,00845$, $\beta = 2,9681$, $R^2 = 0,991$, registrando un crecimiento alométrico negativo ($p < 0,0001$); y la zona GSA01 ($\alpha = 0,0010$, $\beta = 2,9137$, $R^2 = 0,988$) mostró el mismo tipo de crecimiento que el resto ($p < 0,0001$), como se aprecia en la Figura 7.

En la relación talla-peso, el coeficiente de crecimiento fluctuó entre 2,95 ($\pm 0,06$) en la zona GSA06 y 2,86 ($\pm 0,06$) en la zona GSA01, con un valor total de 2,92 ($\pm 0,09$). La prueba *t*-Student indicó que este parámetro no difería significativamente de 3 ($p > 0,05$) entre sexos en la zona GSA06 durante 2017 y 2018, lo cual sugiere un crecimiento isométrico (Tabla 4). Por otro lado, los individuos muestreados en la GSA01 presentaron un crecimiento alométrico negativo durante el periodo de estudio y por sexos ($p < 0,05$). El coeficiente de crecimiento a nivel del Mediterráneo español también resultó estadísticamente diferente de 3 ($p < 0,05$), es decir, alométrico negativo, con excepción de las hembras en 2017 ($p > 0,05$) y 2018 ($p > 0,05$), que presentaron un crecimiento isométrico. Los parámetros y el tipo de crecimiento para cada año, sexo y zona se encuentran reflejados en la Tabla 4.

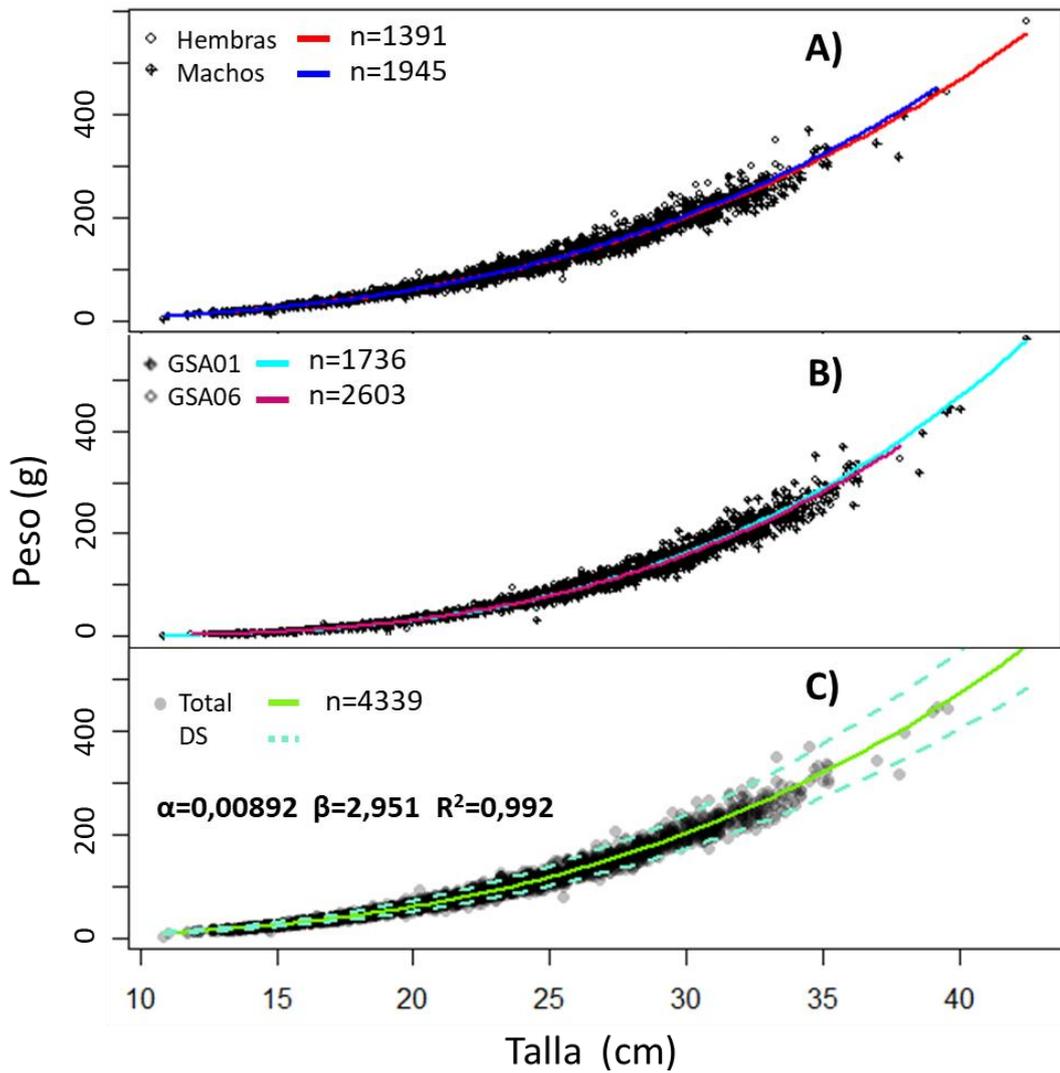


Figura 7. Relación potencial general entre la longitud y el peso promedio de *Trachurus mediterraneus* en función del sexo (A), GSAs (B) y Mediterráneo español (C) durante el periodo de estudio. DS denota la desviación estándar.

Tabla 4. Constantes α y β de la relación talla-peso de *Trachurus mediterraneus* para machos, hembras y sexos combinados durante el periodo de estudio.

Año	Ejemplar	TOTAL					GSA06					GSA01				
		α	β	N	R^2	P-valor	α	β	n	R^2	P-valor	α	β	n	R^2	P-valor
2016	Hembras	1x10 ⁻⁵	2,898	230	0,988	<0,0001	1x10 ⁻⁵	2,9193	113	0,975	<0,0001	2x10 ⁻⁵	2,7880	120	0,972	<0,0001
	Machos	2x10 ⁻⁵	2,819	242	0,992	<0,0001	1x10 ⁻⁵	2,8975	60	0,997	<0,0001	4x10 ⁻⁵	2,7218	185	0,947	<0,0001
	Total	0,0103	2,911	733	0,994	<0,0001	0,0103	2,9129	196	0,996	<0,0001	0,0103	2,9042	536	0,994	<0,0001
2017	Hembras	6x10 ⁻⁶	2,9773	204	0,986	0,364*	8x10 ⁻⁶	2,9867	154	0,989	0,443*	1x10 ⁻⁵	2,9397	50	0,973	<0,0001
	Machos	1x10 ⁻⁵	2,9417	267	0,986	0,033	6x10 ⁻⁶	3,0605	206	0,985	0,521*	2x10 ⁻⁵	2,8404	61	0,984	<0,0001
	Total	0,0084	2,9768	671	0,996	0,007	0,0074	3,0194	483	0,994	0,563*	0,0994	2,9334	185	0,997	<0,0001
2018	Hembras	1x10 ⁻⁵	2,959	305	0,984	0,052*	9x10 ⁻⁶	2,9804	190	0,984	0,093*	1x10 ⁻⁵	2,8970	117	0,983	<0,0001
	Machos	1x10 ⁻⁵	2,9264	423	0,981	0,0002	8x10 ⁻⁶	2,9960	228	0,980	0,213*	2x10 ⁻⁵	2,8207	195	0,982	<0,0001
	Total	0,0087	2,9714	825	0,983	0,035	0,007	3,0399	480	0,980	0,118*	0,0117	2,8760	349	0,989	<0,0001
2019	Hembras	1x10 ⁻⁵	2,938	304	0,989	0,007	1x10 ⁻⁵	2,9670	180	0,992	0,059*	1x10 ⁻⁵	2,9064	124	0,985	<0,0001
	Machos	2x10 ⁻⁵	2,869	469	0,981	<0,0001	2x10 ⁻⁵	2,8670	284	0,981	<0,0001	2x10 ⁻⁵	2,8650	186	0,985	<0,0001
	Total	0,0094	2,9307	1041	0,991	<0,0001	0,0094	2,9367	613	0,993	<0,0001	0,0097	2,9155	427	0,986	<0,0001
2020	Hembras	0,0097	2,9115	344	0,990	<0,0001	0,0091	2,9307	256	0,992	<0,0001	0,0124	2,8370	87	0,986	<0,0001
	Machos	0,0111	2,8687	530	0,990	<0,0001	0,0108	2,8747	401	0,992	<0,0001	0,013	2,8215	139	0,974	<0,0001
	Total	0,0092	2,9274	1071	0,993	<0,0001	0,009	2,9327	831	0,994	<0,0001	0,0122	2,8410	239	0,984	<0,0001

*No presenta diferencias significativas; <0,0001: altamente significativo

Factor de condición

Los valores promedio del factor de condición (K) para el Mediterráneo español oscilaron entre $0,84 \pm 0,06$ (2017) y $1,02 \pm 0,07$ (2016), denotando diferencias significativas ($p < 0,0001$) en su estado de condición anual. Asimismo, los machos presentaron un K de $1,12 \pm 0,17$, el cual fue significativamente mayor con respecto al de las hembras ($p < 0,0001$), equivalente a $0,94 \pm 0,08$. Igualmente, las zonas difirieron entre sí ($p < 0,0001$), señalando una mejor condición en la zona GSA01 ($1,06 \pm 0,13$) frente a la GSA06 ($0,86 \pm 0,13$). Las variaciones anuales según el sexo, para el Mediterráneo español y GSA, se reflejan en la Figura 8.

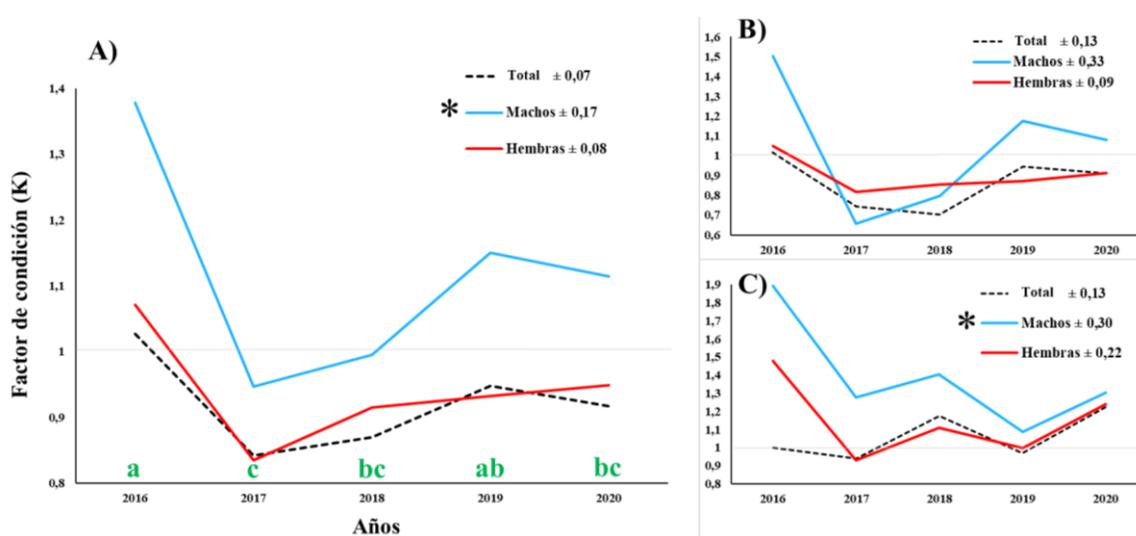


Figura 8. Variación anual del factor de condición de *Trachurus mediterraneus* en el Mediterráneo español (A) y GSA06 (B) y GSA01 (C). Las letras diferentes en color verde y asteriscos denotan diferencias significativas ($p < 0,0001$) de la especie, de acuerdo con la prueba Tukey.

Proporción de sexos

Considerando el conjunto total de especímenes muestreados de *T. mediterraneus*, la proporción entre machos y hembras fue de 1:0,72 ($\chi^2=92,01$; $p < 0,001$). Además, la mayoría de las relaciones fueron similares durante el periodo y zonas de estudio, con la excepción de la proporción encontrada en la zona GSA06 en el año 2016, la cual resultó 1M:1,85H ($\chi^2=16,24$; $p < 0,001$). Por otra parte, se pudo evidenciar que en tres ocasiones los valores presentaron la relación esperada de 1:1, correspondientes a la GSA01 en el 2017 ($\chi^2=1,09$; $p > 0,2965$), la GSA06 en el 2018 ($\chi^2=3,45$; $p > 0,0631$) y en el total de la

especie en el año 2016 ($\chi^2=0,21$; $p>0,646$), como se puede observar en la Tabla 5.

Tabla 5. Variación de la proporción de sexos de *Trachurus mediterraneus* durante el periodo y GSAs de estudio. **M**: Machos; **H**: Hembras.

Año	TOTAL			GSA06			GSA01		
	H:M	χ^2	<i>P</i> -valor	H:M	χ^2	<i>P</i> -valor	H:M	χ^2	<i>P</i> -valor
2016	0,95:1	0,21	0,646*	1,88:1	16,24	<0,0001	0,65:1	13,85	0,0002
2017	0,76:1	8,43	0,0036	0,75:1	7,51	0,0061	0,82:1	1,09	0,2965*
2018	0,72:1	19,13	<0,0001	0,83:1	3,45	0,0631*	0,60:1	19,50	<0,0001
2019	0,65:1	35,22	<0,0001	0,63:1	23,31	<0,0001	0,67:1	31,00	<0,0001
2020	0,65:1	39,58	<0,0001	0,64:1	32,00	<0,0001	0,63:1	11,97	0,0005

*No presenta diferencias significativas; <0,0001: altamente significativo

Talla de primera madurez (L_{50})

Con respecto al estado de madurez, los ejemplares hembra y macho inactivos de mayor talla fueron encontrados en la GSA01 en los años 2017 y 2020, presentando una longitud de 19,6 cm cada uno. El rango de tallas de las hembras maduras osciló entre 14 y 42,5 cm, mientras que el de machos varió entre 12,8 y 37 cm. Por otra parte, la hembra inactiva de mayor talla registrada en la zona GSA06 fue de 19 cm en el año 2018, y el macho no maduro más grande presentó 19,2 cm en 2020. En este caso, el rango de tallas de las hembras maduras estuvo entre 13,2 y 37,5 cm, mientras que el de machos maduros fue desde 12,6 hasta 37,2 cm.

En la Figura 9 se presenta la curva logística ajustada a la proporción de individuos maduros por clases de tallas. Se estimó un valor de L_{50} igual a 14,11 cm ($D^2=58\%$) para *T. mediterraneus* en el Mediterráneo español, mientras que las GSA06 y GSA01 exhibieron valores relativamente superiores correspondientes a 14,4 ($D^2=49\%$) y 15,34 cm ($D^2=61\%$), respectivamente. Por otra parte, los machos presentaron un valor de L_{50} total de 11,37 cm ($D^2=19\%$), el cual fue menor en comparación al estimado para las hembras de 15,33cm ($D^2=66\%$).

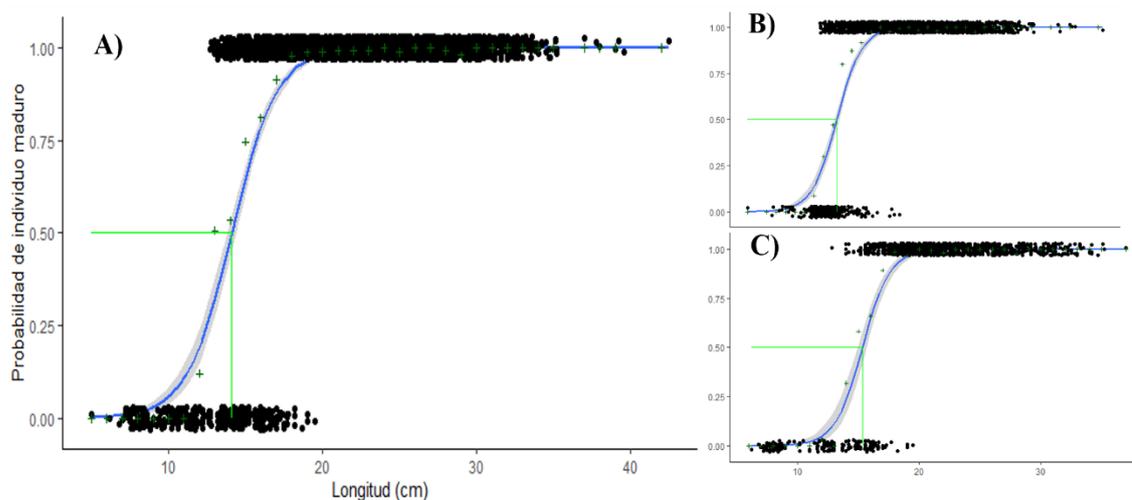


Figura 9. Modelo logístico de la primera talla de madurez sexual (L_{50}) del Mediterráneo español (A), las áreas GSA06 (B) y GSA01 (C), que refleja la probabilidad de individuos maduros de *Trachurus mediterraneus* en función de la longitud total en cm. La línea verde indica la longitud a la cual el 50% de los individuos se encuentran sexualmente maduros y la azul el ajuste del modelo.

La Tabla 6 refleja los resultados de la talla de primera madurez durante el periodo de estudio, en el que se encontraron variaciones desde 12,16 hasta 16,40 cm. El año 2020 exhibió los menores valores de L_{50} , con una devianza explicada muy baja. Por el contrario, el mejor modelo logró explicar el 85,3 % de la devianza para el año 2017 en la zona GSA01, obteniéndose la talla media de madurez más alta (16,4 cm).

Tabla 6. Variación periódica de la primera talla de madurez sexual (L_{50}) de *Trachurus mediterraneus* en el mediterráneo español y las zonas GSA06 y GSA01. D^2 representa el porcentaje de devianza.

	TOTAL	D^2	GSA06	D^2	GSA01	D^2
Año	(cm)	(%)	(cm)	(%)	(cm)	(%)
2016	15,77	69,9	15,09	75,7	16,00	78,7
2017	15,14	77,7	15,82	80,5	16,40	85,3
2018	13,57	30,8	13,81	33,3	15,51	60,2
2019	14,53	61,9	14,70	62,9	15,71	83,5
2020	13,11	28,8	13,17	38,7	12,16	11,9

DISCUSIÓN

Las variaciones interanuales de valores de abundancia y biomasa de *Trachurus mediterraneus* reportados en este estudio pueden estar asociadas con las oscilaciones características de los pelágicos menores e intermedios sometidos a presión pesquera, describiendo subidas y disminuciones interanuales (Fréon et al. 2003). Una de las características de los pequeños y medianos peces pelágicos es la alta variabilidad en el tamaño de sus poblaciones, la cual se atribuye principalmente a las fluctuaciones ambientales en diferentes escalas de espacio y tiempo (Cury et al. 2000). De igual forma, la actual explotación de los stocks y el cambio climático juegan un papel importante en estas variaciones (Bowler et al. 2017).

La abundancia de *T. mediterraneus* en la GSA06 presentó una tendencia interanual ascendente en los años estudiados (2016-2020), sin embargo, es un periodo relativamente corto para sugerir si está ocurriendo algún evento. Por otro lado, el aumento de la abundancia (nº de individuos) no resultó en una mayor biomasa (toneladas), puesto que en algunos años la mayor abundancia de ejemplares estuvo representada por los juveniles (edad 0, moda 8 cm). Con respecto a la mayor frecuencia de ejemplares de *T. mediterraneus* en las costas de Málaga, los individuos en este sitio pudiesen estar beneficiados por los giros de corriente del mar de Alborán, que están influenciados por la entrada de agua del Atlántico y el fenómeno de surgencia en la zona (Gómez 2015) que la convierte en una zona de alta productividad primaria y secundaria. Igualmente, entre los aspectos que promueven la existencia de peces pelágicos frente a las costas de Barcelona, puede mencionarse la presencia de la Reserva Natural de Illes Columbretes, la desembocadura del río Ebro (Delta del Ebro) y un conjunto de cañones submarinos que ofrecen refugio a larvas y juveniles de peces, así como la ocurrencia de procesos de resuspensión y transporte de nutrientes/materia orgánica desde otras zonas, que crean las condiciones necesarias para la diversidad y disponibilidad de alimento (Carrió et al. 2014).

La muy alta frecuencia de individuos de *T. mediterraneus* en las pescas evidenciada en las costas de Málaga y Barcelona fue debida principalmente a la existencia de juveniles de *T. mediterraneus*, por lo tanto, estas zonas pueden considerarse como áreas

potenciales de reclutamiento. Esto concuerda con el estudio de Marina *et al.* (2015), que determinaron que las costas de Málaga son áreas de puesta y alevinaje para multitudes de especies, incluyendo a *T. mediterraneus*.

Los resultados obtenidos en referencia a la presencia del jurel mediterráneo en estratos batimétricos someros fueron similares al trabajo de Lloris y Moreno (1995), quienes describieron la distribución de *T. mediterraneus* por franjas de profundidad en el mar Mediterráneo español, encontrando que la especie presentaba un hábitat nerítico sujeto a fluctuaciones ambientales frecuentes y con menor asociación a otros individuos de su mismo género. Además, estos autores mencionan que el rango de profundidad de esta especie no excede los 250 m. Por otra parte, se ha señalado que la termoclina puede ubicarse entre los 20 y 40 metros durante el verano, lo que beneficia el intercambio de nutrientes y una mayor disponibilidad de alimento (Baro *et al.* 2012). En particular, a estas profundidades también se ha reportado una gran cantidad de larvas de peces frente a la costa de Málaga (Marina *et al.* 2015; Ventero *et al.* 2021), que forman parte de la dieta de *T. mediterraneus* y pueden propiciar su ocurrencia.

Con relación a las LFD, los resultados del presente estudio concuerdan con los de Melnikova (2019) y Kutsyn (2021), quienes obtuvieron valores de 6 a 22 cm de longitud estándar, mencionando que en las zonas de su estudio el *T. mediterraneus* no alcanza grandes tallas. Por el contrario, los valores registrados difieren de los obtenidos por Tzikas *et al.* (2007), los cuales señalaron que el 90% de los peces presentaban entre 16,5 y 24 cm de longitud total en el norte del mar Egeo. Asimismo, Yankova *et al.* (2010a) y Yankova *et al.* (2010b) reportaron tallas diferentes, entre 10 y 17 cm.

De forma similar al presente estudio, Ragonese *et al.* (2002) hallaron hasta tres clases modales de *T. mediterraneus* y una posible cuarta, con una moda de reclutas juveniles de 8 cm. Este comportamiento multimodal se observa en peces pelágicos con estrategias de tipo *r*, con crecimiento rápido. Con relación a esto, Cuscó (2015) señala que la existencia de varias cohortes a lo largo del mismo año podría deberse al reclutamiento de meta-poblaciones provenientes de diferentes localidades ya que estos pelágicos medianos pueden vivir hasta 10-12 años.

Las diferencias encontradas en las LFD apuntan que los ejemplares de *T. mediterraneus* para una misma edad (basado en el análisis de la progresión modal) exhiben mayores tallas en GSA01 que en GS06, coincidiendo con lo mencionado en los resultados con respecto al estado de condición. Estos resultados se asemejan a los documentados para la anchoa *Engraulis encrasicolus* en el estudio de Ventero et al. (2017), donde hallaron poblaciones de edad de 0 y 1 en GSA01 más grandes en comparación con GSA06. Igualmente, Alemany y Álvarez (1993) sugieren la existencia de stocks separados de *Sardina pilchardus* en el Mediterráneo occidental con parámetros de crecimiento diferenciados, señalando que las poblaciones del mar de Alborán y el golfo de Vera (GSA01) presentan mayores tallas que las de las costas de Cataluña y Valencia (GSA06). En ambos estudios, las diferencias fueron atribuidas a la mayor producción primaria y clorofila que se evidencia en GSA01 y, en general, las condiciones ambientales favorables. Se recomienda realizar determinación de edad (p.ej. lectura de otolitos) en *T. mediterraneus* para tener suficiente información relacionada con las diferencias en las tallas.

Comparando las relaciones talla-peso observadas en esta investigación con las de otras regiones, se obtuvo que el coeficiente β difiere del reportado por Ak et al. (2009), Satılmış et al. (2014), Özdemir et al. (2015) y Melnikova (2019), quienes determinaron un crecimiento alométrico positivo para *T. mediterraneus*. Sin embargo, éste fue similar al de Prodanov et al. (1997) y Yankova et al. (2010a), los cuales señalan un crecimiento alométrico negativo para la especie. Por otra parte, Tzikas et al. (2007) reportaron valores de β entre 2,9 y 3, sugiriendo variaciones en el crecimiento durante los meses y años. Las diferencias observadas podrían deberse al procedimiento de muestreo, el tamaño de la muestra, el rango de longitud o los factores ambientales. Además, la falta de información en el Mediterráneo español dificulta su comparación. Sin embargo, se conoce que las variaciones en la relación talla-peso en los peces están influenciadas por la época del año, el hábitat, el grado de plenitud del estómago, la madurez de las gónadas, la salud y el estado general de los peces (Froese 2006; Yankova et al. 2010b).

El factor de condición explica el estado nutricional general de los organismos, en relación con el cambio de corpulencia, crecimiento y madurez sexual, y depende de la

edad, sexo, temporada, tipo de alimento consumido, cantidad de reservas de grasa y grado de desarrollo muscular (Barnham y Baxter 1998). En consecuencia, las variaciones entre zonas pueden estar influenciadas por los efectos de surgencias costeras en la región, condiciones adversas o disponibilidad de alimento (Ambriz-Arreola et al. 2012). Diversos autores emplean el valor 3 como la potencia en la ecuación de cálculo del factor de condición, por lo que se dificulta la comparación en trabajos sobre *T. mediterraneus*. Se ha discutido el uso del valor 3 como coeficiente alométrico, puesto que rara vez ocurre a nivel de stocks o sub-poblaciones (Cuscó 2015). No obstante, Šantić et al. (2011) reportaron un estado de condición inferior a uno para machos y hembras, opuesto a los hallazgos de este estudio, en el que los machos presentaron una mejor condición. Por lo general, se presume que las hembras invierten sustancialmente más energía en el desarrollo reproductivo que los machos (King 1995).

La proporción de sexos estimada en este estudio estuvo dominada por los machos, similar a lo reportado por Melnikova (2019), quien encontró una proporción de éstos generalmente más alta que de hembras en el mar Negro. Por el contrario, Meléndez-Vallejo et al. (2017) y Yankova et al. (2010a) determinaron que las hembras dominaban sobre los machos en el mar Alborán y Mar Negro, mientras que Carrillo (1978), Raykov y Yankova (2005), Yankova et al. (2010b) y Kutsyn (2021) obtuvieron una relación de 1:1. En la mayoría de los peces, la proporción de sexos tiende a ser 1:1 entre machos y hembras, aunque puede variar de año en año dentro de una misma población, con los grupos de tallas y con el periodo de reproducción (Franco 1992).

Cabe resaltar que la época de muestreo coincide con la reproducción de la especie. Por consiguiente, la variación en la proporción de hembras y machos puede deberse a factores fisiológicos durante el desove (Jordán 1976; Yankova et al. 2010b). Además, en algunos casos los machos pueden ser más vulnerable al arte que las hembras (Cuscó 2015). En especies del mismo género, como *T. trachurus*, se produce un agrupamiento antes de la freza, provocando que los estadios sexuales no se distribuyan homogéneamente en las capturas, lo que requiere un mayor número de muestreos (Abaunza et al. 2003).

El valor de L_{50} estimado en este trabajo para el Mediterráneo español concuerda con el obtenido por Samia et al. (2002) en el norte de Túnez, África, con 15,7 cm. Sin embargo, los resultados de este parámetro difieren de los reportados por Demirel y Yuksek (2013) en el mar de Mármara para hembras y machos, equivalentes a 12,2 y 12,5 cm, respectivamente; mientras que Ak et al. (2015) indican valores de 11,52 cm para hembras y 11,97 cm para machos en el mar Negro. Por su parte, Karlou-Riga (1995) registró una longitud media de maduración para *T. mediterraneus* superior en el golfo Sarónico, Grecia, con 20,0 cm.

Diferencias en la talla de primera madurez podrían atribuirse a la diferenciación del stock de *T. mediterraneus* entre el mar Mediterráneo y los mares Negro y de Mármara. Se ha señalado que variaciones en las tallas de primera madurez entre poblaciones constituyen un indicador de presión pesquera u otras causas (Templeman 1987). Además, varios estudios han argumentado la existencia de diferentes estructuras poblacionales de *T. mediterraneus* en el mar Negro, de Mármara y Mediterráneo, basándose en características filogenéticas, morfológicas y genéticas (Turan 2004; Bektas y Belduz 2008).

Aunque la talla de primera madurez para el Mediterráneo español fue de 14,11 cm, no sería recomendable para gestionar las poblaciones debido al bajo porcentaje de devianza que logró explicar el modelo. Adicional a esto, se encontró un patrón con tallas más grandes en GSA01 para la serie temporal estudiada (2016-2020), excepto en el 2020. Por lo tanto, se sugerirían medidas de gestión diferentes en GSA01 y GS06 siguiendo la propuesta de Ventero et al. (2017). Utilizando las tallas de los modelos que lograron explicar la mayor devianza, es decir, 16,40 cm para GSA01 y 15,82 cm para GS06. Cabe destacar, que la precisión del modelo está determinada por el conjunto de individuos maduros e inmaduros analizados durante el estudio, por lo que la falta de ejemplares inactivos que se describen como indeterminados aumentan el sesgo (Leal et al. 2013), y gran parte de la comunidad científica no cita el porcentaje de devianza obtenido, por lo que se dificultan las comparaciones relativas a la precisión del modelo.

Finalmente, se han encontrado un conjunto de evidencias referentes a las diferencias en los aspectos biológicos del jurel en las dos GSA de estudio. En GSA01, la especie

mostró un mejor estado de condición, un crecimiento alométrico negativo, cohortes de mayor talla, un L_{50} superior y una mayor densidad de biomasa e individuos. Se ha señalado que *T. mediterraneus* no es una especie objetivo en la plataforma española del mar Mediterráneo, pero es capturada como pesca accidental y dependiendo de los intereses de la pesquería, es comercializada o descartada. Este hecho posiblemente sea la razón de que se encuentre poco estudiada. Pese a ello, el *T. mediterraneus* juega un papel ecológico importante al constituir un eslabón en las redes tróficas de muchos ecosistemas marinos (Cury et al. 2000; Muñoz Navarro 2014). De igual forma, estos individuos canalizan y transfieren la mayor parte de la energía disponible desde los productores primarios hasta los grandes depredadores, beneficiando a la pesquería de otros medianos y grandes pelágicos (Vollenweider et al. 2011).

CONCLUSIONES

- Los valores de abundancia y biomasa de *Trachurus mediterraneus* en el Mediterráneo español mostraron fluctuaciones anuales, posiblemente influenciadas por la fuerza del reclutamiento, la explotación de los stocks y la variabilidad ambiental. Además, GSA01 mostró mayores valores de densidad.
- Las costas de Málaga y Barcelona resultaron posibles zonas de reclutamiento, puesto que en ellas se evidenció la mayor presencia de juveniles (edad 0, moda 8 cm) de *T. mediterraneus*.
- *T. mediterraneus* exhibió un comportamiento nerítico, abundando a profundidades iguales o inferiores a 60 m en GSA01 y hasta los 105 m de GSA06. La extensión de la plataforma en cada zona y las condiciones favorables probablemente influenciaron de forma importante a estos resultados.
- Las LFD mostraron diferencias significativas, sugiriendo que *T. mediterraneus* presenta una mayor talla en GSA01 comparada con la GSA06, posiblemente favorecidos por una mayor disponibilidad de alimento.
- *T. mediterraneus* mostró un crecimiento alométrico negativo con algunas oscilaciones en GSA06 de tipo isométrico posiblemente debido al procedimiento de muestreo y el rango de longitud de los ejemplares, que pudo influir sobre la representatividad de las muestras.
- *T. mediterraneus* presentó un mejor estado de condición en GSA01 que en GSA06. Además, en esta área los machos presentaron mejor condición que las hembras, las cuales invierten más su energía en el desove.
- La proporción de sexos no respondió a la esperada de 1:1. Los machos predominaron sobre las hembras, probablemente debido a factores fisiológicos durante la reproducción.
- La elección del L_{50} estuvo basada en el modelo más preciso, en el cual se detectaron diferencias significativas entre las GSAs, lo que sugiere el uso de 16,40 cm en GSA01 y 15,82 cm en GS06 como tallas de primera madurez para establecer tallas de primera captura como parte de la futura gestión de este recurso en el Mar Mediterráneo.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, mi padre, madre y hermanos, por el amor que me han brindado, además de haberme guiado y aconsejado durante mi formación profesional. A Manuela y la señora Gertrudis, personas por las que siento gran admiración, gracias por haber formado parte de mi vida y por todo el apoyo que hoy día me siguen prestando. A mi abuela “mamá”, quien formó parte de las mejores etapas de mi vida, a mi abuelo quien me enamoró del mar y sus paraísos.

A las Doctoras Magdalena Iglesias y Ana Ventero por su asesoría y haberme ofrecido la oportunidad de trabajar en mi área favorita. Al Centro Oceanográfico Baleares por patrocinar este trabajo en el congreso internacional ASLO 2021.

Finamente, le agradezco a los profesores del máster, Nona, Guillem, Elena y Pere por su dedicación y excelentes enseñanzas.

REFERENCIAS

- Abad, R., A. Giráldez, and J. Miquel. 2001. Estimaciones de abundancia de pequeños pelágicos en la plataforma de la isla de Alborán (SW mar Mediterráneo) obtenidas con métodos acústicos, p. 163–172. *In* J. González and S. Revenga [eds.], *Actas de las I Jornadas Internacionales sobre Reservas Marinas*. Secretaría General de Pesca Marítima (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación).
- Abaunza, P., L. Gordo, C. Karlou-Riga, and others. 2003. Growth and reproduction of horse mackerel, *Trachurus trachurus* (Carangidae). *Rev. Fish Biol. Fish.* **13**: 27–61.
- Ak, O., S. Kutlu, and İ. AYDIN. 2009. Length-Weight Relationship for 16 Fish Species From the Eastern Black Sea, Turkiye. *Turkish J. Fish. Aquat. Sci.* **9**: 125–126.
- Ak, O., H. Selen, Y. Genç, and others. 2015. Trabzon Kiyilarında Yumurtadan Ergin Bireye Istavrit (*Trachurus mediterraneus*, Steindachner, 1868): Yaş, Büyüme, Ölüm Oranlari Ve Üreme, A. Orhan [ed.]. Central Fisheries Research Institute Trabzon Turkey.
- Aleman, F., and F. Álvarez. 1993. Growth differences among sardine (*Sardina pilchardus* Walb.) populations in Western Mediterranean. *Sci. Mar.* **57**: 229–234.
- Ambriz-Arreola, I., J. Gómez-Gutiérrez, C. Franco-Gordo, L. BE, and E. Godínez-Domínguez. 2012. Influence of coastal upwelling–downwelling variability on tropical euphausiid abundance and community structure in the inshore Mexican central Pacific. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **451**: 119–136.
- Ault, J., J. Bohnsack, and G. Meester. 1998. A retrospective (1979–1996) multispecies assessment of coral reef fish stocks in the Florida Keys. *Fish. Bull.* **96**: 395–414.
- Barnham, C., and A. Baxter. 1998. Condition factor, K, for salmonid fish. *Fish. Notes.* **5**: 1–3.
- Baro, J., V. Díaz-del-Río, J.-T. Vazquez, and others. 2012. *Estrategias Marinas. Demarcación Marina del Estrecho y Alborán. Parte I. Marco General: Características de la demarcación marina.* 1–65.
- Bektas, Y., and A. Belduz. 2008. Molecular phylogeny of Turkish *Trachurus* species

- (Perciformes: Carangidae) inferred from mitochondrial DNA analyses. *J. Fish Biol.* **73**: 1228–1248.
- Bolger, T., and P. Connolly. 1989. The selection of suitable indices for the measurement and analysis of fish condition. *J. Fish. Biol.* **34**: 339–346.
- Bowler, D., C. Hof, P. Haase, and others. 2017. Cross-realm assessment of climate change impacts on species' abundance trends. *Nat. Ecol. Evol.* **1**: 67.
- Braga, F. 1986. Estudo entre fator de condição e relação peso / comprimento para alguns peixes marinhos. *Rev. Bras. Biol.* **46**: 339–346.
- Carrillo, J. 1978. Biología y crecimiento del jurel (*Trachurus trachurus* (L) y *trachurus mediterraneus mediterraneus* Steindachner) en el mar mediterráneo catalán. Universidad de Laguna.
- Carrió, C. D., A. Gori, and J. Gili. 2014. Sistema de Cañones Submarinos Occidentales del Golfo de León, P. LIFE+INDEMARES [ed.]. Fundación Biodiversidad del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Casaponsa, J. 1993. Contribución al estudio del género *Trachurus* (Pisces, Carangidae) en el mar catalán. Facultad de Biología.
- Craig, J., M. Thomas, and S. Nichols. 2005. Length-weight relationships and a relative condition factor equation for lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*) from the St Clair River system (Michigan, USA). *J. Appl. Ichthyol.* **21**: 81–85.
- Cury, P., A. Bakun, R. J. M. Crawford, A. Jarre, R. A. Quiñones, L. J. Shannon, and H. M. Verheye. 2000. Small pelagics in upwelling systems: Patterns of interaction and structural changes in “wasp-waist” ecosystems. *ICES J. Mar. Sci.* **57**: 603–618.
- Cuscó, R. 2015. Aportación al conocimiento de la biología del chicharro (*Trachurus picturatus*, Bowdich (1825); Pisces, Carangidae) en aguas de las Islas Canarias. Universidad de las Palmas de Gran Canaria.
- Demirel, N., and A. Yuksek. 2013. Reproductive biology of *Trachurus mediterraneus* (Carangidae): a detailed study for the Marmara- Black Sea stock. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* **93**: 357–364.

- Erzini, K. 1994. An empirical study of variability in length at age of marine fishes. *J. Appl. Ichthyol.* **10**: 17–41.
- Fernandez-Jover, D., J. Jimenez, P. Sanchez-Jerez, J. Bayle-Sempere, F. Casalduero, F. Lopez, and T. Dempster. 2007. Changes in body condition and fatty acid composition of wild Mediterranean horse mackerel (*Trachurus mediterraneus*, Steindachner, 1868) associated to sea cage fish farms. *Mar. Environ. Res.* **63**: 1–18.
- Fischer, W., M. Schneider, and M. Bauchot. 1987. Fiches FAO d'identification des espèces pour les besoins de la pêche, p. 1529. *In* FAO [ed.], Méditerranée et Mer Noire, Zone de pêche. CEE.
- Fontoura, N., A. Braun, and P. Milani. 2009. Estimating size at first maturity (L_{50}) from Gonadosomatic Index (GSI) data. *Neotrop. Ichthyol.* **7**: 217–222.
- Franco, L. 1992. Maduración sexual y fecundidad del carite (*Scomberomorus maculatus*) de las costas del estado Falcón, Venezuela. *Zootec. Trop.* **10**: 157–169.
- Fréon, P., R. Guzman, and C. Aparicio. 2003. Relaciones entre capturas, esfuerzo pesquero y surgencia costera en la pesquería de sardina del Oriente de Venezuela, p. 452–472. *In* P. Fréon and J. Mendoza [eds.], La sardina (*Sardinella aurita*), su medio ambiente y explotación en el Oriente de Venezuela.
- Froese, R. 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *J. Appl. Ichthyol.* **24**: 241–253.
- Gómez, J. 2015. Evaluación Del Estado De Eutrofización Del Mar Alborán Mediante El Empleo Combinado De Imágenes De Satélite Y De Muestreos In Situ. Universidad De Málaga.
- Gonçalves, J., L. Bentes, P. Lino, J. Ribeiro, A. Canario, and K. Erzini. 1997. Weight-length relationships for selected fish species of the small-scale demersal fisheries of the south and south-west coast of Portugal. *Fish. Res.* **30**: 253–256.
- Hashiguti, D., B. Soares, K. Wilson, R. Oliveira-Raiol, and L. Montag. 2018. Comparing three methods to estimate the average size at first maturity: A case study on a Curimatid exhibiting polyphasic growth. *Ecol. Freshw. Fish.* **28**: 266–273.

- ICES. 2008. Report of the Workshop on Small Pelagics (*Sardina pilchardus*, *Engraulis encrasicolus*) maturity stages (WKSPMAT). 10–14 November 2008, Mazara del Vallo, Italy. **40**: 80.
- Iglesias, M. 2021. Plan de campaña MEDIAS 2021 (MEDiterranean International Acoustic Survey). Instituto Español de Oceanografía. 40.
- Isermann, D., and C. Paukert. 2010. Regulating harvest (chapter 7), p. 185–212. *In* M. Quist [ed.], *Inland Fisheries Management in North America*.
- İşmen, A., Y. Cığdem, U. Altınağac, and A. Ayaz. 2009. Length-weight relationships for ten shark species from Saros Bay (North Aegean Sea). *J. Appl. Ichthyol.* **25**: 109–112.
- Jennings, S., J. Reynolds, and S. Mills. 1998. Life history correlates of response to fisheries exploitation. *Proc. R. Soc. Lond. B.* **265**: 333–339.
- Jordán, R. 1976. Biología de la anchoveta. Parte I: Resumen del conocimiento actual, (Acta - FAO Informe de Pesca).
- Karlou-Riga, C. 1995. Biology and dynamics of the *Trachurus* species (Pisces, Carangidae) in the Saronikos Gulf. Aristotle University of Thessaloniki.
- Karlou-Riga, C. 2000. Otolith morphology and age and growth of *Trachurus mediterraneus* (Steindachner) in the eastern Mediterranean. *Fish. Res.* **46**: 69–82.
- Khoukh, M. 2017. La gestión espacial de la pesquería de merluza en el Mediterráneo catalán: Simulación del efecto de diferentes alternativas de gestión en base del Modelo InVEST. 121.
- King, M. 1995. Fisheries biology, assessment and management. Fishing News Books,.
- Kutsyn, D. 2021. Life History of Mediterranean Horse Mackerel *Trachurus mediterraneus* (Carangidae) from Crimea (Black Sea). *J. Ichthyol.* **61**: 196–205.
- Leal, E., E. Díaz, J. C. Saavedra-Nievas, and G. Claramunt. 2013. Reproductive cycle, length and age at maturity of jack mackerel *Trachurus murphyi*, in the Chilean coast. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.* **48**: 601–611.

- Lima-Junior, S., I. Cardone, R. Goitein, S. Lima-Junior, I. Cardone, and R. Goitein. 2002. Determination of a method for calculation of allometric condition factor of fish. *Acta Sci.* **24**: 397–400.
- Lloris, D., and T. Moreno. 1995. Distribution model and association in three pelagic congeneric species (*Trachurus* spp.) present in the Iberic Mediterranean Sea. *Sci. Mar.* **59**: 399–403.
- Lorenzen, K. 2016. Toward a new paradigm for growth modeling in fisheries stock assessments: Embracing plasticity and its consequences. *Fish. Res.* **180**: 4–22.
- Marina, P., J. M. Rodríguez, R. Laiz-Carrión, A. García, and J. Baro. 2015. Distribución espacial y variabilidad temporal de la comunidad de larvas de peces en la bahía de Málaga. *Simp. MIA15 21th - 23th Sept. 2015. Málaga* 73–76.
- Meléndez-Vallejo, M., P. Torres, F. González-Valderrama, and others. 2017. Primer registro de anomalía intersexual gonadal de *Trachurus mediterraneus* (Steindachner, 1868) desde el mar de Alborán. *An. Biol.* **39**: 89–92.
- Melnikova, E. 2019. Length-weight relationships of mediterranean horse mackerel *trachurus mediterraneus* (steindachner, 1868) (actinopterygii: Carangidae) from south-western shelf of the crimea, black sea. *Acta Zool. Bulg.* **71**: 133–138.
- Mir-Arguimbau, J., A. Sabatés, and U. Tilves. 2019. Trophic ecology of *Trachurus mediterraneus* juveniles associated with the jellyfish *Rhizostoma pulmo* and *Cotylorhiza tuberculata*. *Sea. Res.* **147**: 28–36.
- Muñoz Navarro, A. 2014. Contenido energético de especies de peces pelágicos de pequeño y mediano tamaño: diferencias intra e interespecíficas y consideraciones metodológicas. 32.
- Neumann, R., and M. Allen. 2007. Size structure (chapter 9), p. 375–421. *In* C. Guy and M. Brown [eds.], *Analysis and Interpretation of Freshwater Fisheries Data*.
- Neumann, R., C. Guy, and D. Willis. 2012. Length, weight, and associated indices (chapter 14), p. 637–676. *In* A. Zale, D. Parrish, and T. Sutton [eds.], *Fisheries Techniques, Third Edition*.

- Ogle, D. 2016. *Introductory Fisheries Analyses with R*. Boca Ratón, Estados Unidos: Chapman and Hall/CRC Press. 337.
- Özdemir, S., E. Erdem, Z. Birinci-Ozdemir, and H. Aksu. 2015. Monthly monitoring of length-weight relationships of allis shad (*Alosa immaculata* Bennett, 1835), horse mackerel (*Trachurus mediterraneus* Steindachner, 1868) and sprat (*Sprattus sprattus* Linnaeus, 1758) from the Southern Black Sea. *Cah. Biol. Mar.* **56**: 25–30.
- Petrakis, G., and K. Stergiou. 1995. Weight–length relationships for 33 fish species in Greek waters. *Fish. Res.* **21**: 465–469.
- Piedra, P., E. Habit, A. Oyanedel, and others. 2012. Patrones de desplazamiento de peces nativos en el río San Pedro (cuenca del río Valdivia, Chile). *Gayana Espec.* **76**: 59–70.
- Prodanov, K., K. Mikhailov, G. Daskalov, K. Maxim, A. Chashchin, A. Arkhipov, V. Shlyakhov, and E. Ozdamar. 1997. General fisheries council for Mediterranean, FAO. Studies and reviews. Environmental management of fish resources in the Black Sea and their rational exploitation. Studies and reviews. **68**: 73–81.
- Ragonese, S., F. Fiorentino, G. Garofalo, D. Levi, S. Gancitano, G. Giusto, P. Rizzo, and G. Sincori. 2002. Distribution, abundance and biological features of picarel (*Spicara flexuosa*), Mediterranean (*Trachurus mediterraneus*) and Atlantic (*T. trachurus*) horse mackerel based on experimental bottom-trawl data (MEDITS, 1994–2002) in the Strait o. *MedSudMed Tech. Doc.* **5**: 100–114.
- Raya, V., and A. Sabatés. 2015. Diversity and distribution of early life stages of carangid fishes in the northwestern Mediterranean: responses to environmental drivers. *Fish. Ocean.* **24**: 118–134.
- Raykov, V. S., and M. H. Yankova. 2005. Growth Dynamics And Mortality Estimation Of The Horse Mackerel (*Trachurus Mediterraneus Ponticus* Aleev) Migrating Along The Bulgarian Black Sea Coast. *The 1st Biannual Scientific Conference: The Black Sea Ecosystem 2005 and Beyond.* 770–779.
- Relini, G., J. Bertrand, and A. Zamboni. 1999. Synthesis of knowledge of the bottom fishery resources in the central Mediterranean (Italy and Corsica),.

- Richter, H., C. Lückstädt, U. Focken, and K. Becker. 2000. An improved procedure to assess fish condition on the basis of length-weight relationships. *Arch. Fish. Mar. Res.* **48**: 255–264.
- Şahin, C., N. Kasapoğlu, A. Gözler, F. Kalayci, N. Hacimurtazaoglu, and C. Mutlu. 2009. Age, growth, and gonadosomatic index (GSI) of Mediterranean horse mackerel (*Trachurus mediterraneus* Steindachner, 1868) in the eastern Black Sea. *Turk J. Zool.* **33**: 157–167.
- Samia, F., G. Adel, B. Lotfi, and A. Abed. 2002. Periode de reproduction et taille de premiere maturite sexuelle chez les chinchards (*Trachurus trachurus* et *Trachurus mediterraneus*) de la region nord de la Tunisie. Bulletin de l'INSTM n° spécial (7). Actes des 5èmes Journées de l'ATSMer.Aï. 9–12.
- Šantić, M., I. Jardas, and A. Pallaoro. 2004. Diet composition and feeding intensity of Mediterranean horse mackerel, *Trachurus mediterraneus* (Osteichthyes: Carangidae) in the Central Adriatic Sea. *Acta Adriat.* **45**: 43–50.
- Šantić, M., B. Rađa, and A. Paladin. 2011. Condition and length-weight relationship of the horse mackerel (*Trachurus trachurus* L.) and the Mediterranean horse mackerel (*Trachurus mediterraneus* L.) from the Eastern Adriatic Sea. *Arch. Biol. Sci.* **63**: 421–428.
- Satılmış, H., Ç. Sümer, S. Özdemir, and B. Bayraklı. 2014. Length-weight relationships of the three most abundant pelagic fish species caught by mid-water trawls and purse seine in the Black Sea. *Cah. Biol. Mar.* **55**: 259–265.
- Schill, D., G. LaBar, E. Mamer, and K. Meyer. 2010. Sex ratio, fecundity, and models predicting length at sexual maturity of redband trout in Idaho desert streams. *N. Am. J. Fish. Manag.* **30**: 1352–1363.
- Shephard, S., and D. Jackson. 2005. Channel Catfish Maturation in Mississippi Streams. *N. Am. J. Fish. Manag.* **25**: 1467–1475.
- Sinovčić, G., M. Franičević, B. Zorica, and V. Čikeš-Keč. 2004. Length-weight and length-length relationships for 10 pelagic fish species from the Adriatic Sea (Croatia). *J. Appl. Ichthyol.* **20**: 156–158.

- Slastenenko, E. 1956. The fishes at the Black Sea basin. 711.
- Smith-Vaniz, W., P. Whitehead, M. Bauchot, J. Hureau, J. Nielsen, and E. Tortonese. 1986. Carangidae, Fishes of the North-eastern Atlantic and the Mediterranean, UNESCO [ed.].
- Stark, J. 2012. Contrasting Maturation and Growth of Northern Rock Sole in the Eastern Bering Sea and Gulf of Alaska for the Purpose of Stock Management. *N. Am. J. Fish. Manag.* **32**: 93–99.
- Stergiou, K., E. Christou, D. Georgopoulos, A. Zenetos, and C. Souvermezoglou. 1997. The Hellenic seas: physics, chemistry, biology and fisheries. *Ocean. Mar. Biol. Annu. Rev.* **35**: 415–438.
- Templeman, W. 1987. Differences in sexual maturity and related characteristics between populations of thorny skate (*Raja radiata*) in the Northwest Atlantic. *J. Northw. Atl. Fish. Sci.* **7**: 155–167.
- Turan, C. 2004. Stock identification of Mediterranean horse mackerel (*Trachurus mediterraneus*) using morphometric and meristic characters. *ICES J. Mar. Sci.* **61**: 774–781.
- Tzikas, Z. I., I. O. Ambrosiadis, N. I. Soutos, and S. P. Georgakis. 2007. Seasonal size distribution, condition status and muscle yield of Mediterranean horse mackerel *Trachurus mediterraneus* from the North Aegean Sea, Greece. *Fish. Sci.* **73**: 453–462.
- Velasco, E., M. Amez, and A. Punzón. 2013. Especies de interés pesquero en Galicia, Asturias y Cantabria, I.E. De Oceanografía [ed.].
- Ventero, A., M. Iglesias, and B. Villamor. 2017. Anchovy (*Engraulis encrasicolus*) otoliths reveal growth differences between two areas of the Spanish Mediterranean Sea. *Sci. Mar.* **81**.
- Ventero, A., I. Marcos, and M. Iglesias. 2021. Acoustic evidences of the beginning of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) schooling in the Northern Alboran Sea (Mediterranean Sea). *Fish. Res.* **239**.

- Viette, M., P. Giulianini, and E. Ferrero. 1997. Reproductive biology of scad, *Trachurus mediterraneus* (Teleostei, Carangidae), from the Gulf of Trieste. ICES J. Mar. Sci. **54**: 267–272.
- Vollenweider, J., R. Heintz, L. Schaufler, and R. Bradshaw. 2011. Seasonal cycles in whole-body proximate composition and energy content of forage fish vary with water depth. Mar. Biol. **158**: 413–427.
- Yankova, M. H., V. S. Raykov, D. B. Gerdzhikov, and P. B. Frateva. 2010a. Growth and length-weight relationships of the horse mackerel, *Trachurus mediterraneus ponticus* (Aleev, 1956), off the Bulgarian Black Sea coast. Turkish J. Zool. **34**: 85–92.
- Yankova, M., V. Mihneva, G. Radu, and S. Mehanna. 2010b. General Biology Of Horse Mackerel *Trachurus Mediterraneus* (Aleev, 1956) Off The Bulgarian Black Sea Coast. СЕРИЯ МОРСКИ НАУКИ 1310–5833.
- Zar, J. H. 1996. Biostatistical Analysis. 3rd Edition, Upper Saddle River, Prentice Hall.