



UNIVERSITAT DE  
BARCELONA



Institut  
de Ciències  
del Mar



Facultat de Biologia

Memòria del Treball de Fi de Grau

**Estudi i actualització dels paràmetres biològics i poblacionals del moll de fang  
(*Mullus barbatus*) a la costa catalana**

**Andrea Álvarez Reyes**

Grau en Biologia

Tutora externa: Eve Galimany Sanromà

Tutor extern: Marc Balcells Surroca

Tutor intern: Alejandro Aguilar Vila

Juliol 2024



## **Agraïments**

Primerament, vull agrair als meus tutors, la doctora Eve Galimany i el Marc Balcells, per la seva dedicació, comprensió i temps dedicat durant tot el treball. La seva ajuda ha estat imprescindible i gràcies a ells he pogut assolir conceptes de l'àmbit de la recerca científica que eren nous per a mi. Moltes gràcies per haver-me donat aquesta oportunitat. També vull agrair a tot l'equip que forma part del projecte per tot el coneixement que m'han transmès i per haver-me acollit en el seu grup. Gràcies per estar sempre disposats a donar-me un cop de mà i per tota l'amabilitat que he rebut.

Al meu tutor de la Universitat de Barcelona, el doctor Àlex Aguilar, també vull agrair-li els seus consells en la realització del treball escrit.

Per finalitzar, m'agradaria donar les gràcies a la meva família i en especial als meus companys de pis, per haver estat al meu costat donant-me suport en aquest període de temps.

## Abstract

The red mullet (*Mullus barbatus*) is a species of commercial interest on the Catalan coast. Despite the application of management measures to ensure a sustainable exploitation of the resource, this has been affected locally and its population parameters have varied over time. The study and update of the biological parameters of commercial species is essential for the correct application of fisheries management models that guarantee both, the protection of fishery resources and their sustainable exploitation. For this reason, the objective of this study is to determine the historical and current status of the *Mullus* spp. fishery based on the analysis of the historical catch series (2002-2023) and to characterize the structure, composition, distribution and reproductive biology of *M. barbatus* through biological data collected by ICATMAR since the implementation of the fishery monitoring program in 2019. The study area is the Catalan coast, where fisheries have been carried out on board bottom trawling vessels in four representative depth strata. From 2019 to 2023, the biology of the captured individuals has been studied, which, with the landings data from the historical series, indicate a certain stability of the population over the years. The species is distributed over the continental shelf, with the coastal shelf being the area with a greater abundance of small-sized individuals, below the minimum conservation reference size (TMREC), which is 11 cm. The average size of females and males is 18,5 cm and 15,5 cm, respectively, indicating a differential growth between sexes with a dominance of males in small sizes (<16 cm) and females in large sizes (>16 cm). The *M. barbatus* is a species with a seasonal reproductive cycle, being May the month when the maximum reproductive activity occurs. The size at first sexual maturity ( $L_{50}$ ) has been estimated at 13 cm and 11,9 cm for females and males, respectively. The values presented in this study coincide with others previously published in different areas of the Mediterranean Sea. Therefore, there is no evidence of a decrease in the length at first maturity over time, meaning that there is no evidence of overfishing. However, it is important to update the biological parameters of commercial species and to study the status of the population to ensure the conservation of fish stocks and to allow the application of sustainable fisheries management models.

## **Identificació i reflexió sobre els objectius pel desenvolupament sostenible (ODS)**

L'espècie estudiada és el moll de fang (*Mullus barbatus*), concretament, l'actualització dels seus paràmetres biològics i poblacionals. Es tracta d'una espècie d'elevada importància comercial tant pel volum de captures com pels ingressos econòmics que genera i, en conseqüència, el seu estudi és essencial ja que té implicacions en l'àmbit ecològic i socioeconòmic. Actualment, la sobrepesca és un dels principals impactes en els ecosistemes marins. Al llarg de les últimes dècades, la biomassa que s'extreu a través de l'activitat pesquera i la talla mitjana de les captures han experimentat una disminució progressiva, indicant una sobreexplotació de la major part dels recursos pesquers. El seguiment i recopilació de dades biològiques permet aportar informació actualitzada sobre l'estat dels recursos pesquers i de les comunitats marines on habiten a fi de garantir-ne una gestió adequada que permeti la recuperació de les seves poblacions. Aquest estudi pretén aportar informació actualitzada sobre la biologia de *M. barbatus* a la costa catalana per valorar l'estat de l'estoc pesquer i poder garantir-ne una gestió pesquera sostenible.

Els resultats obtinguts gràcies a les dades biològiques dels individus capturats per la pesca d'arrossegament juntament amb les dades de captures de les sèries històriques indiquen una certa estabilitat de l'espècie des del 2002 fins al 2023. La població de *M. barbatus* sembla ser un recurs pesquer en bon estat que actualment no mostra indicis de sobreexplotació. Tot i així, al llarg de les últimes dècades, l'increment de l'esforç pesquer fruit de l'augment de la demanda dels recursos pesquers ha provocat una situació de sobreexplotació de la major part d'espècies comercials. Davant d'aquesta situació alarmant, la comunitat científica s'ha vist amb la necessitat de desenvolupar un programa de seguiment dels principals recursos pesquers, a través de l'estudi i actualització dels paràmetres biològics de les espècies comercials, que permeti l'aplicació de models de gestió adequats amb l'objectiu de garantir la conservació i evitar la disminució dels mateixos al llarg de la costa catalana.

Per tot l'explicat anteriorment, es considera que els ODS tractats en aquest TFG comprenen principalment l'àmbit del Planeta i les aliances pels objectius. Dins de l'àmbit Planeta, s'enquadra en l'ODS 12 "Garantir modalitats de consum i producció sostenibles", i concretament en la meta 12.2 que pretén assolir la gestió sostenible i l'ús eficient dels recursos naturals d'aquí a 2030. Així mateix, també impacta en l'ODS 14 "Conservar i utilitzar sosteniblement els oceans, els mars i els recursos marins pel desenvolupament sostenible", que s'emmarca en la meta 14.4.1 que té com a finalitat que la proporció de poblacions de peixos presentin nivells biològicament sostenibles. Per últim, un objectiu fonamental és el 17: "Enfortir els mitjans d'implantació i revitalitzar l'Aliança Mundial per al Desenvolupament

Sostenible”, que té com a meta 17.14 millorar la coherència de les polítiques per al desenvolupament sostenible. Aquest treball és el resultat de l’aliança entre la Universitat de Barcelona (UB) i l’Institut de Ciències del Mar (ICM), per tal d’actuar localment per a poder tenir estratègies globals que permetin uns recursos pesquers justos i accessibles.

## Índex

1.	Introducció	.....	1
2.	Objectius	.....	4
3.	Metodologia	.....	4
3.1.	Àrea d'estudi	.....	4
3.2.	Mostreig	.....	5
3.2.1.	Mostreig en embarcació	.....	5
3.2.2.	Mostreig al laboratori	.....	6
3.3.	Anàlisi de dades	.....	7
3.3.1.	Anàlisi pesquer	.....	7
3.3.2.	Anàlisi biològic	.....	8
4.	Resultats	.....	9
4.1.	Anàlisi pesquer	.....	9
4.2.	Anàlisi biològic	.....	11
4.2.1.	Estructura població	.....	11
	• Distribucions de freqüències de talles	.....	11
	• Relació talla-pes	.....	12
4.2.2.	Biologia reproductiva	.....	13
	• Sex-ratio	.....	13
	• Cicle reproductiu	.....	14
	• Talla de primera maduresa sexual ( $L_{50}$ )	.....	15
5.	Discussió	.....	17
6.	Conclusions	.....	20
7.	Bibliografia	.....	21
8.	Annex	.....	25

## 1. Introducció

La Mar Mediterrània ha estat una zona històrica de pesca amb una llarga tradició de consum i comerç pesquer. Des de l'antiguitat, les activitats pesqueres i marítimes han estat descrites i, durant més de 8.000 anys, aquesta mar ha estat explotada i gestionada per l'esser humà. Al llarg de les últimes dècades, els progressos tecnològics i la industrialització del sector han incrementat la pressió pesquera fet que ha alterat l'estat natural dels recursos pesquers fins al punt d'assolir un nivell de sobreexplotació alarmant per la majoria d'espècies comercials. En aquest context, l'aplicació de nous models i mesures de gestió és necessària per garantir una explotació sostenible dels recursos pesquers i evitar una disminució irreversible de les seves poblacions (Faget & Sacchi, 2014). Així doncs, el desenvolupament i el seguiment d'estratègies de gestió continuada són vitals per obtenir dades actualitzades que reflecteixin l'estat actual dels recursos pesquers (Farrugio *et al.*, 1993).

La Common Fisheries Policy (CFP) fixa les normes i orientacions que han de seguir les flotes pesqueres dels estats membres europeus per a una explotació sostenible dels recursos marins (Reglamento (UE), 1380/2013). La CFP es va aplicar per primer cop l'any 1970 i, des d'aleshores, s'han establert quotes de captura per les diferents espècies que tenen un elevat interès comercial (Cardinale *et al.*, 2017). Recentment, l'any 2019 es va establir el pla plurianual per a les pesqueries d'espècies demersals del Mediterrani occidental (MAP) (Reglamento (UE), 2019/1022), amb l'objectiu d'assolir el màxim rendiment sostenible dels recursos pesquers abans de l'any 2025, mitjançant l'aplicació de dues mesures de gestió principals (Sola *et al.*, 2020): la regulació de l'esforç pesquer mitjançant l'assignació de dies de pesca a les embarcacions d'arrossegament i el tancament espai-temporal de zones a la pesca (ICATMAR, 23-03). El moll de fang (*Mullus barbatus*), el lluç (*Merluccius merluccius*), la gamba blanca (*Parapenaeus longirostris*), la gamba rosada (*Aristeus antennatus*) i l'escamarlà (*Nephrops norvegicus*) són les cinc espècies incloses dins del MAP, que es corresponen a les espècies més importants del sector pesquer català, tant pel que fa al volum de captures que generen com als beneficis econòmics que reporten.

El moll de fang, *Mullus barbatus* (Linnaeus, 1758), habita en ambients demersals costaners, principalment fons de fang i sorra des de la plataforma continental fins al talús (FAO). Es distribueix geogràficament per l'oceà Atlàntic oriental, des de Senegal fins les Illes Britàniques, incloent el Mar Mediterrani i el Mar Negre. Generalment presenta talles petites, d'entre 10 i 20 cm, però pot assolir talles màximes al voltant de 30 cm de longitud total. Presenta el cos allargat i comprimit lateralment, i un parell de barbetes en el mentó. A diferència del moll de roca (*Mullus surmuletus*), presenta un perfil frontal del musell fortament inclinat, i no té

pigmentació en la primera aleta dorsal ni presenta franges longitudinals grogues en els laterals (FAO). Els juvenils es troben a menys profunditat, on coexisteixen amb els individus de moll de roca. S'alimenten filtrant els crustacis, bivalves i poliquets que troben en els fons arenosos. La reproducció és estacional i té lloc durant la primavera. Els ous i les larves són pelàgics i assoleixen la vida bentònica quan els juvenils adquireixen talles al voltant dels 5 cm. Els mascles assoleixen la maduresa sexual al primer any de vida mentre que les femelles tenen una maduració més tardana, als dos anys d'edat.

A Catalunya, l'any 2022, es van capturar 732,26 t de *Mullus* spp. que van generar un total de 4.274,24 milers d'euros a un preu mitjà de primera venda de 5,84 €/kg (ICATMAR, 23-03). La major part de captures de moll provenen de l'arrossegament, que és la modalitat de pesca més important del sector pesquer pel que fa als ingressos econòmics que genera. L'any 2022 la modalitat d'arrossegament va capturar 632,88 t de *Mullus* spp. el que equival al 86,4% de les captures d'aquesta espècie a nivell de Catalunya (ICATMAR, 23-0). L'arrossegament és una pesqueria multiespecífica, que explota les comunitats demersals des de la plataforma continental fins al talús inferior, d'on s'extreuen no només les espècies objectiu d'interès comercial sinó també aquelles espècies no comercials que juguen un paper important en l'estructura i el funcionament dels ecosistemes marins (Blanco *et al.*, 2023). La segona modalitat més important en captures de *Mullus* spp. a la costa catalana són els arts menors, en concret el tresmall. Es tracta d'un art de pesca passiu, format per tres panys de xarxa on els individus es queden atrapats al xocar-hi frontalment. L'any 2022 la modalitat d'arts menors va capturar 82,91 t de *Mullus* spp. el que equival al 13,6% de les captures totals de l'espècie a nivell de Catalunya (ICATMAR, 23-0).

L'estimació dels paràmetres biològics i poblacionals és essencial per gestionar de forma adequada els recursos pesquers. L'explotació continuada dels recursos pot implicar canvis en el cicle vital de les espècies, alterant el seu creixement, cicle reproductiu, supervivència i/o mortalitat (Ferrer-Maza *et al.*, 2016). Així doncs, el seguiment i l'actualització d'aquests paràmetres són fonamentals per adoptar mesures de gestió efectives que reflecteixin l'estat del recurs en el moment actual. Altrament, el desconeixement d'aquests paràmetres biològics pot conduir cap a una sobreexplotació dels recursos pesquers (Blanco *et al.*, 2023).

El treball de fi de grau s'emmarca dins d'ICATMAR, un òrgan de cooperació entre la Direcció General de Política Marítima i Pesca Sostenible i l'Institut de Ciències del Mar (ICM-CSIC), que proporciona assessorament científic a través de la recopilació de dades biològiques i el seguiment de les principals espècies comercials de la costa catalana. ICATMAR va iniciar la seva activitat l'any 2019 amb un programa de monitoreig pesquer adreçat a proporcionar



suport tècnic i científic per dur a terme mesures de gestió consensuades amb el sector pesquer i avalades per l'administració competent, que es tradueixin en una millora dels indicadors biològics de les poblacions i els ecosistemes on habiten. Aquest treball de fi de grau té com a objectiu determinar i actualitzar els paràmetres biològics i poblacionals del *Mullus barbatus* (moll de fang) a la costa catalana mitjançant l'anàlisi de les dades històriques de captures i les dades biològiques obtingudes a partir d'embarcacions de pesca que es dediquen a la modalitat d'arrossegament. L'actualització d'aquests paràmetres biològics serà de gran utilitat per a desenvolupar mesures de gestió eficients d'aquesta espècie i permetrà confeccionar estratègies de pesca més sostenibles a la costa catalana.

## 2. Objectius

L'objectiu principal és determinar i actualitzar els paràmetres biològics i poblacionals del moll de fang (*Mullus barbatus*) a la costa catalana a fi de proporcionar dades científiques que permetin l'establiment de mesures de gestió efectives per garantir la sostenibilitat de l'espècie.

Per poder estudiar i resoldre aquest objectiu principal, s'adrecen els següents temes:

- Analitzar l'estat històric i actual de la pesqueria de *Mullus* spp. a la costa catalana;
- Caracteritzar l'estructura, composició i distribució del *M. barbatus*;
- Estudiar la biologia reproductiva del *M. barbatus*.

## 3. Metodologia

### 3.1. Àrea d'estudi

L'àrea d'estudi d'aquest treball és la costa catalana, situada a la conca nord-occidental del Mar Mediterrani (ICATMAR, 23-06), inclosa dins la subàrea geogràfica 6 (GSA 06), que engloba des de Cartagena fins al Cap de Creus (REC.CM-GFCM/33/2009/2). La regulació europea (Reglamento (CE), 1967/2006) defineix que la flota d'arrossegament pot pescar entre 50 m o 3 milles nàutiques de la costa i fins 1000 m de profunditat. Les embarcacions d'arrossegament estan obligades a desembarcar diàriament les captures i poden treballar un màxim de cinc dies a la setmana, de dilluns a divendres, amb un límit de 12 hores diàries. En conseqüència, la flota d'arrossegament té una estructura espacial lligada al seu port base on les embarcacions feinegen prop de cada port i no existeix pràcticament solapament dels caladors de pesca entre les flotes dels diferents ports (ICATMAR, 23-08).

En el programa de seguiment pesquer dissenyat per ICATMAR es realitzen embarcaments a bord de barques de pesca comercial d'arrossegament al llarg dels nou ports pesquers principals del litoral català, tant pel que fa al volum de captures desembarcades com als ingressos econòmics generats. Aquests ports es divideixen en tres zones: la zona nord, que inclou els ports de Roses, Palamós, Blanes i Arenys de Mar; la zona centre, que inclou els ports de Barcelona, Vilanova i la Geltrú i Tarragona; i la zona sud, que inclou els ports de l'Ametlla de Mar i La Ràpita (**Fig 1**) (ICATMAR, 23-0).



**Fig 1.** Distribució espacial de les pesques d'arrossegament (en blau) realitzades al llarg dels nou ports de la costa catalana l'any 2022. Es representa l'esforç pesquer ( $\text{h}/\text{km}^2$ ) i els estrats de fondària mostrejats: plataforma continental (blau), talús superior (verd) i talús inferior (vermell). Imatge extreta d'ICATMAR, 23-0.

### 3.2. Mostreig

#### 3.2.1. Mostreig en embarcació

A cada port es va realitzar un embarcament trimestral a bord de la mateixa embarcació de pesca. Cada embarcament va incloure tres pesques experimentals a diferents estrats de fondària, seleccionant aquells caladors de pesca més representatius on l'esforç pesquer de la flota d'arrossegament era major (**Fig 1**).

A les zones nord i centre, les pesques es van realitzar a la plataforma continental (76-200 m), al talús superior (201-500 m) i al talús inferior (501-800 m). En canvi, a la zona sud, les pesques van variar de profunditat degut a una estructura geomorfològica diferent del fons ocasionada per la influència del Delta de l'Ebre. L'amplitud de la plataforma continental fa que la flota d'arrossegament operi exclusivament en aquest estrat de fondària. Així doncs, les pesques es van realitzar a la plataforma costanera (<40 m), a la plataforma mitjana (40-75 m) i a la plataforma profunda (76-200 m). La llum de malla de la xarxa utilitzada va ser la quadrada de 40 mm per a totes les pesques excepte les realitzades al talús inferior del port Palamós on es va utilitzar una malla de 50 mm degut a que eren caladors inclosos dins del pla de gestió de la gamba rosada de Palamós i adoptaven mesures especials (ICATMAR, 23-0).

A cada embarcament es van realitzar tres pesques experimentals, segons els estrats de fondària descrits anteriorment, a bord de la mateixa embarcació. Cada pesca es va enregistrar mitjançant un dispositiu GPS i es va calcular la durada total de la pesca (h), la velocitat mitjana (kn) i les característiques principals de l'art com l'amplada horitzontal de l'obertura de la boca de l'art (m). A través de la sonda de l'embarcació es va determinar la profunditat mitjana (m) de cada pesca. Aquests paràmetres es van utilitzar per calcular l'àrea escombrada (km<sup>2</sup>) el que va permetre estandarditzar els valors d'abundància (ind/km<sup>2</sup>) de *M. barbatus*.

A bord de l'embarcació, els pescadors van separar els exemplars de *M. barbatus* capturats de cada pesca en dues categories: (i) la categoria comercial, que inclou els individus capturats de talles comercials que es venen a la llotja, i que, a la vegada, es dividien en categories de venda, generalment tres (gran, mitjana i petita), en funció de la seva mida; i (ii) la categoria de rebuig, que inclou els individus de *M. barbatus* per sota de la talla mínima de referència a efectes de conservació (TMREC) i que per tant no es poden comercialitzar. En el cas del *M. barbatus*, la talla mínima legal de comercialització de l'espècie és de 11 cm (ICATMAR, 23-0). De cada categoria, una submostra de 20 individus de *M. barbatus* es va guardar en caixes amb gel i es va transportar a la nevera del laboratori de dissecció de l'Institut de Ciències del Mar (ICM) on es va conservar a 4°C pel seu posterior anàlisi biològic. Si el número d'individus capturat per categoria era superior a 20, la resta d'exemplars es mesuraven a bord (longitud total, al mm) mitjançant un ictiòmetre.

### 3.2.2. Mostreig al laboratori

Al laboratori de dissecció de l'Institut de Ciències del Mar (ICM) es van realitzar les disseccions biològiques dels exemplars de *M. barbatus* el dia posterior a l'embarcament. En primer lloc, es van anotar les característiques bàsiques de la pesca i el número i pes total dels individus de cada categoria comercial de *M. barbatus*. De cada individu, es van prendre diverses mesures a fi de poder obtenir els paràmetres biològics principals: la talla, el pes total i eviscerat, el sexe, l'estat sexual, el pes de la gònada i el pes del fetge. La talla es va determinar mesurant la longitud total (mm) dels individus mitjançant un ictiòmetre i el pes total es va obtenir pesant cada individu en una balança amb una precisió de 0,1 g.

Al tractar-se d'una espècie que no presenta dimorfisme sexual, va ser necessari disseccionar els individus per poder determinar el sexe. Es va realitzar un tall transversal des de l'orifici anal fins a l'opercle (**Fig 2A**) i es van extreure les gònades per classificar-les segons mascles (M), femelles (F) o immadurs (I). L'estat de maduresa sexual de les gònades es va determinar macroscòpicament per ambdós sexes a través d'una escala numèrica de maduresa

(Recasens *et al.*, 2008), que presenta sis estadis: immadur (1), repòs (2), madurant (3), maduració avançada (4), posta (5) i post-posta (6). Les gònades i el fetge de cada individu es van pesar en balances amb una precisió de 0,01 g (**Fig 2B**). Per últim, es van extreure la resta d'òrgans de la cavitat abdominal i es va obtenir el pes eviscerat pesant cada individu en una balança amb una precisió de 0,1 g.



**Fig 2. A)** Individus de *M. barbatus* preparats per la determinació del seu pes eviscerat amb una balança de precisió. **B)** Gònades i fetges de 20 individus de *M. barbatus* disposades sobre l'ictiòmetre per la determinació del seu pes.

### 3.3. Anàlisi de dades

#### 3.3.1. Anàlisi pesquer

L'anàlisi de la pesqueria de *Mullus* spp. a la costa catalana es va tractar mitjançant l'estudi de l'evolució històrica de les captures en tones (t), els ingressos en milers d'euros (k€) i el preu mitjà de primera venda (€/kg) de moll a Catalunya des del 2002 fins al 2023. Les dades es van obtenir a través de la base de dades *Microstrategy*, que proporciona la Generalitat de Catalunya. Es tracta d'una eina per explorar i analitzar la informació recollida en les notes de venda (Direcció General de Pesca i Afers Marítims, 2020), que permet obtenir dades sobre les captures diàries per espècie de cada embarcació, l'import total dels ingressos que generen aquestes captures, el tipus d'unitat productiva i el cens de l'embarcació segons la modalitat de pesca. En aquest cas, les dades de *M. barbatus* no es van poder treballar de manera independent donat que a les llotges sovint comercialitzen aquesta espècie juntament amb el *M. surmuletus* i per tant, davant la dificultat de diferenciar les captures que provenen de cada espècie, les dades es van treballar agregades com a gènere *Mullus* spp. L'elaboració del gràfics es va dur a terme mitjançant el programa de càlcul de Microsoft Excel 365.

A partir de les dades de captures que reporten les llotges, a través de les notes de venda, i la geolocalització de les embarcacions, que proporciona el sistema VMS (Vessel Monitoring System), es va obtenir l'esforç pesquer. La combinació d'aquestes dues informacions va permetre georeferenciar les captures de *Mullus* spp. i obtenir la distribució espacial de l'esforç pesquer (kg/km<sup>2</sup>).

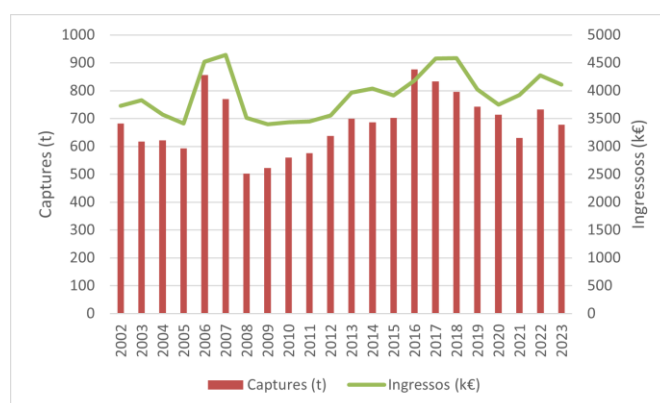
### 3.3.2. Anàlisi biològic

L'anàlisi biològic del *M. barbatus* es va dur a terme utilitzant la base de dades pròpia d'ICATMAR, a partir dels embarcaments d'arrossegament realitzats entre el 2019 i el 2023. Les distribucions de freqüències de talles de les captures de *M. barbatus* es van obtenir a partir de la mitjana de l'abundància (ind/km<sup>2</sup>) de totes les pesques i es van representar anualment i pels quatre estrats de fondària, diferenciant entre la fracció comercial i de rebuig. La relació talla-pes de *M. barbatus* es va calcular utilitzant el pes eviscerat, per cada sexe i combinat, a través de l'equació  $W=a \cdot L^b$ , on a i b corresponen als paràmetres de creixement de l'espècie. Es va aplicar un test estadístic Anova per determinar si existien diferències significatives en les relacions talla-pes entre sexes. La sex-ratio, és a dir la proporció de sexes, es va calcular per cada classe de talla, globalment i pels quatre estrats de fondària, aplicant un test estadístic de proporcions (Z) per detectar diferències significatives. El cicle reproductiu de *M. barbatus* es va calcular a partir de la proporció mensual d'individus en fases actives de reproducció, estats de maduresa de 2 a 6, i per tant, excloent l'estat 1 corresponent a individus immadurs. El pes de la gònada es va utilitzar per calcular l'índex gonadosomàtic (IGS), un indicador que reflexa els canvis en el pes de la gònada fruit de l'activitat reproductiva. L'índex es va calcular a través de la fórmula  $IGS = Wg/We \times 100$ , on Wg correspon al pes de la gònada i We al pes eviscerat de l'individu. L'IGS es va calcular pels dos sexes i es va representar conjuntament amb els estats de maduresa sexual ja que és un índex que permet identificar amb detall el període reproductiu. Finalment, la talla de primera maduresa sexual (L<sub>50</sub>) es va estimar per cada sexe a partir de la proporció d'individus madurs i immadurs per cada classe de talla. L'elaboració dels gràfics de distribució de freqüències de talles, relació talla-pes i talla de primera maduresa sexual es van dur a terme mitjançant el programa R Studio versió 4.3.3. D'altra banda, els gràfics de sex-ratio i cicle reproductiu es van obtenir mitjançant el programa de càlcul Microsoft Excel 365.

## 4. Resultats

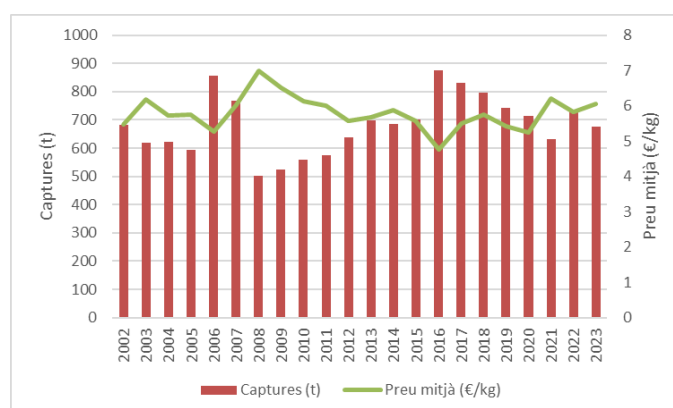
### 4.1. Anàlisi pesquer

L'evolució històrica de les captures i ingressos econòmics de *Mullus* spp. a la costa catalana des del 2002 fins al 2023 mostra una tendència estable amb petites variacions anuals (**Fig 3**). Es pot observar un augment de la captura durant els anys 2006 i 2007, seguit d'una forta disminució l'any 2008, mostrant un increment progressiu els següents anys fins assolir la captura més alta, prop de les 900 t, l'any 2016. Els ingressos econòmics segueixen la mateixa tendència que les captures.



**Fig 3.** Evolució històrica anual de captures (t) i ingressos econòmics (k€) de *Mullus* spp. des del 2002 fins al 2023.

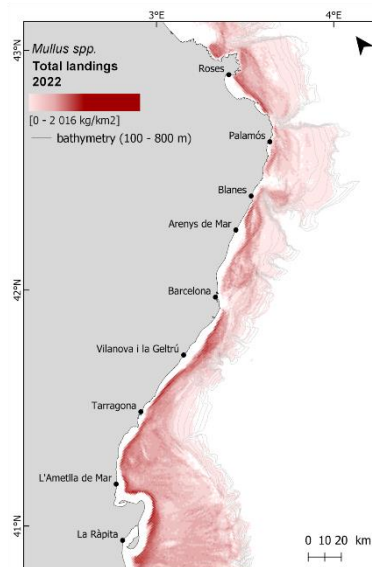
El preu mitjà de primera venda de *Mullus* spp. es manté força estable al llarg de tota la sèrie, oscil·lant entre 5 i 7 €/kg, mostrant una relació inversa amb les captures (**Fig 4**). L'any 2008, coincidint amb el mínim de captures, el preu mitjà de primera venda presenta el valor més alt. Així doncs, aquestes dues variables indiquen l'existència d'una correlació negativa entre elles degut a que la disminució de l'oferta comporta un increment de la demanda.



**Fig 4.** Evolució històrica anual de captures (t) i preu mitjà de primera venda (€/kg) de *Mullus* spp. des del 2002 fins al 2023.

L'evolució de les captures i el preu mitjà de primera venda des del 2002 fins al 2023 per a les dues modalitats de pesca que capturen *Mullus* spp. mostra tendències similars. En línies generals, les captures de *Mullus* spp. incrementen progressivament al llarg de l'última dècada mentre que el preu mitjà es manté constant. S'observa com la modalitat de pesca que més *Mullus* spp. captura és l'arrossegament (**Annex Fig A1**), amb valors que oscil·len entre 400 i 800 t anuals, mentre que només una petita part de la captura prové de la pesca de tresmall (arts menors), amb valors situats entre 50 i 80 t anuals. Per contra, el tresmall mostra un preu mitjà de primera venda de *Mullus* spp. més elevat que l'arrossegament, amb valors situats al voltant de 10 €/kg, mentre que el preu mitjà en l'arrossegament es manté per sota dels 6 €/kg (**Annex Fig A2**).

La distribució espacial dels desembarcaments de *Mullus* spp. per unitat d'esforç (kg/km<sup>2</sup>) a la costa catalana mostra com l'espècie es distribueix àmpliament per la plataforma continental, presentant els màxims valors per sota dels 100 m de profunditat, en zones properes a la costa i especialment al sud de Catalunya, on els desembarcaments de l'espècie són més elevats (**Fig 5**). S'observa també com la presència de l'espècie als talussos és testimonial donat que aquests estrats de fondària queden fora del rang de distribució de l'espècie.



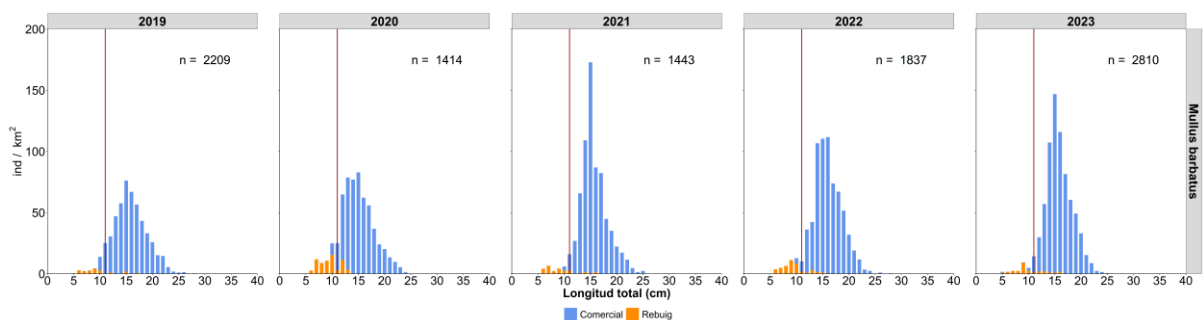


## 4.2. Anàlisi biològic

### 4.2.1. Estructura població

- **Distribucions de freqüències de talles**

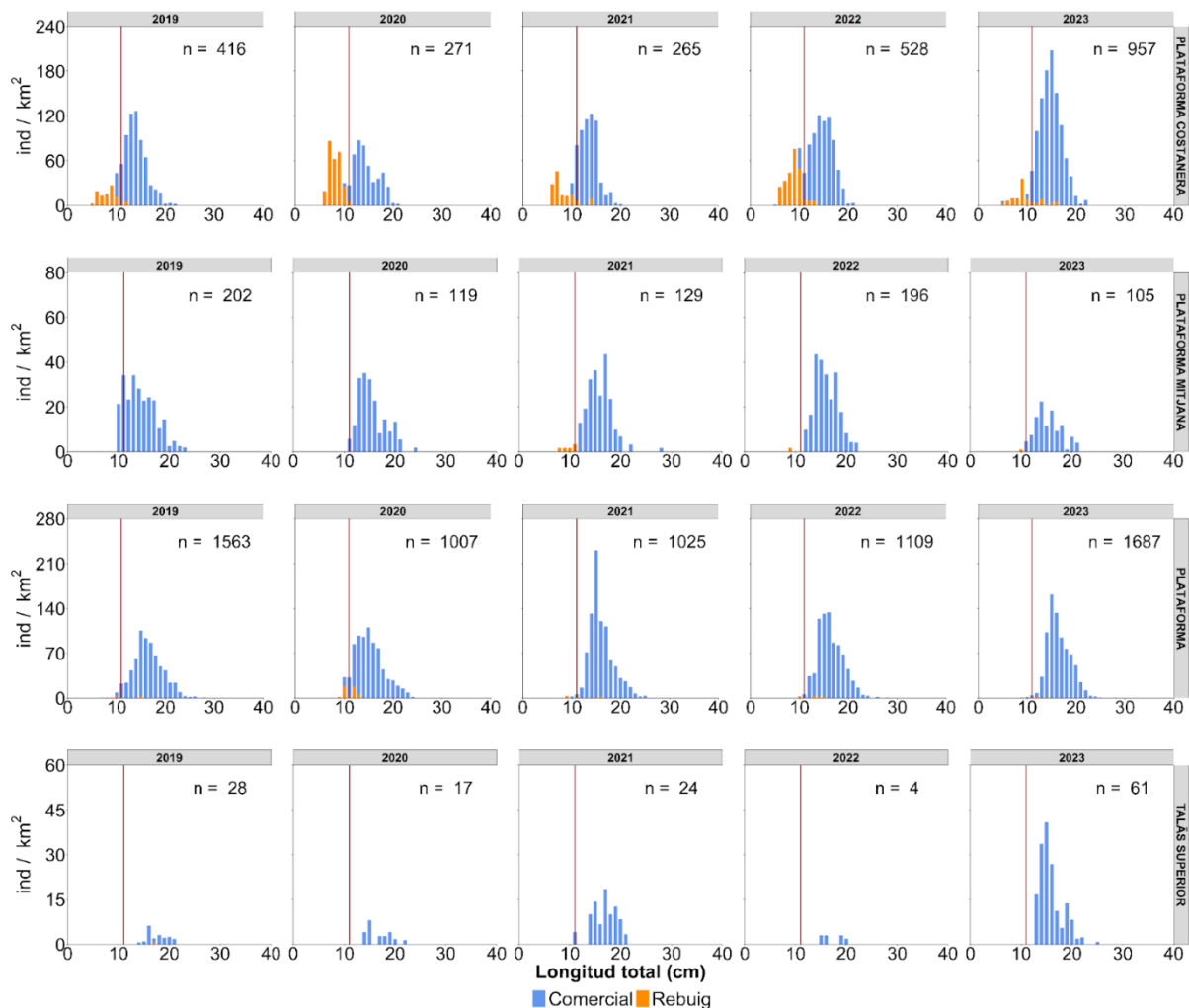
Les distribucions de freqüències de talles del *M. barbatus* des del 2019 al 2023, en la modalitat d'arrossegament, mostren que el rang de talles capturat està situat entre 5 i 26 cm, amb una moda al voltant dels 15 cm al llarg de tots els anys estudiats (**Fig 6**). La major part de la captura correspon a la fracció comercial, el que implica que els individus capturats superen la talla mínima de referència a efectes de conservació (TMREC), que en el *M. barbatus* està situada als 11 cm (ICATMAR, 23-0). La TMREC indica la separació de la captura, on els individus de més de 11 cm corresponen a la fracció comercial, i, en canvi, els individus de menys de 11 cm corresponen a la fracció de rebuig. Tot i així, la presència d'individus per sota de la TMREC dins de la fracció comercial i viceversa, indica certa variabilitat, especialment per aquelles talles pròximes a la TMREC, degut a que el triatge per part dels pescadors inclou cert marge d'error. L'any 2021 i 2023 s'observen les abundàncies més altes dins la fracció comercial mentre que la fracció de rebuig és menor respecte els altres anys. En canvi, els anys 2019, 2020 i 2022 mostren abundàncies més baixes d'individus comercials però la fracció d'individus capturats per sota la TMREC s'incrementa, essent l'any 2020 el que presenta els valors més alts.



**Fig 6.** Distribució anual de freqüències de talla de *M. barbatus* a partir de les captures obtingudes de la modalitat d'arrossegament, separant entre la fracció comercial (blau) i la fracció de rebuig (taronja). La n indica el número total d'individus mesurats i la línia contínua vermella correspon a la talla mínima de referència a efectes de conservació (TMREC).

Les distribucions de freqüències de talles de *M. barbatus*, des del 2019 al 2023, per estrat de fondària mostren que l'espècie es distribueix principalment al llarg de tota la plataforma continental, des de 20 fins a 200 m de profunditat (**Fig 7**). A la plataforma costanera (<40 m) s'observa les abundàncies més elevades d'individus de talles petites, per sota de la TMREC i corresponents a la fracció de rebuig, fet que indica que el reclutament de l'espècie es dona a les zones més litorals de la plataforma. La fracció de rebuig disminueix dràsticament amb

l'increment de profunditat, on apareixen els individus de talles més grans, corresponents a la fracció comercial. En el talús superior (200-500 m), l'abundància de *M. barbatus* disminueix significativament donat que aquest estrat de fondària queda fora del rang de distribució òptim de l'espècie.



**Fig 7.** Distribució anual de freqüències de talla de *M. barbatus* per estrat de fondària a partir de les captures obtingudes de les pesques d'arrossegament, separant entre la fracció comercial (blau) i la fracció de rebuig (taronja). La n indica el número total d'individus mesurats i la línia continua vermella correspon a la talla mínima de referència a efectes de conservació (TMREC).

- **Relació talla-pes**

S'ha analitzat la relació talla-pes del *M. barbatus* per un total de 1275 individus dels quals 847 eren femelles i 428 eren mascles. La relació talla-pes observada (**Annex Fig A3**) per el combinat de sexes es defineix per l'equació  $y=0,0105x^{2,9935}$  amb un coeficient de determinació de  $R^2=0,9627$ . Donat que existeixen diferències estadísticament significatives entre sexes pel

pes eviscerat (ANOVA;  $F=190,6$ ;  $p<0,001$ ), les relacions talla-pes s'han tractat separatament per sexes. En el cas de les femelles, l'equació segueix que  $y=0,0122x^{2,9444}$  amb un coeficient de determinació de  $R^2=0,9559$ . I per últim, l'equació de creixement dels mascles mostra que  $y=0,0143x^{2,8735}$  amb un coeficient de determinació de  $R^2=0,9333$  (**Taula 1**). El valor de b indica el tipus de creixement que presenta l'espècie, en aquest cas, valors de b lleugerament inferiors a 3 indiquen que el creixement és al·lomètric negatiu, és a dir, que es dona un major guany proporcional en la talla respecte l'increment de pes. Les femelles presenten un rang de talles més ampli, entre 11 i 26 cm amb una talla mitjana de 18,5 cm mentre que el rang de talles dels mascles és més estret, entre 10 i 19 cm, amb una talla mitjana de 15,5 cm.

**Taula 1.** Relació talla-pes del *M. barbatus* a partir del pes eviscerat per sexes i combinats. La n és el número d'individus, a i b són els paràmetres de creixement i la  $R^2$  és el coeficient de determinació.

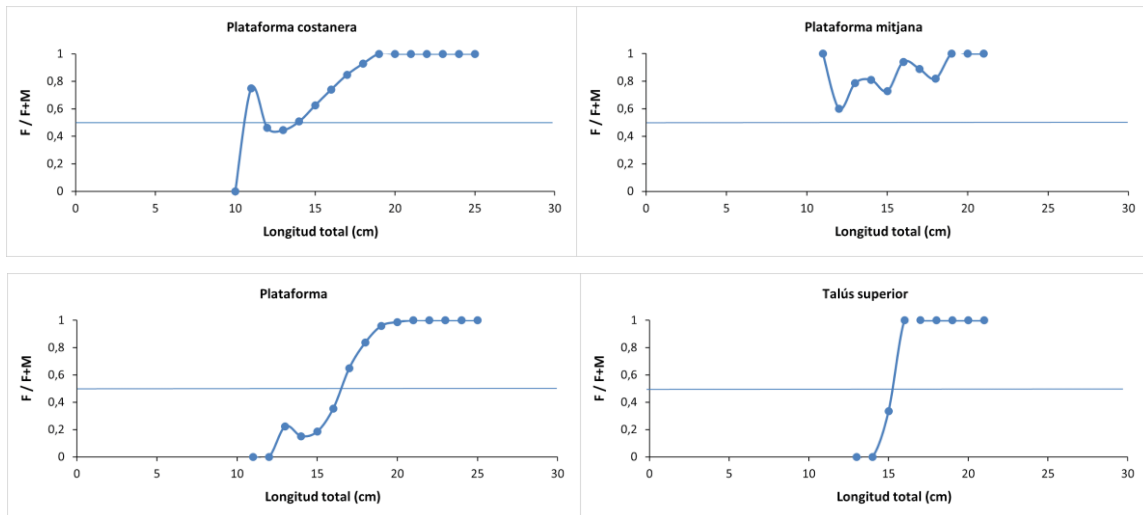
		n	a	b	$R^2$
	Combinat	1275	0,0105	2,9935	0,9627
Pes eviscerat	F	847	0,0122	2,9444	0,9559
	M	428	0,0143	2,8735	0,9333

#### 4.2.2. Biologia reproductiva

- Sex-ratio

D'un total de 1283 individus capturats l'any 2023, un total de 847 eren femelles (66,02%), 428 eren mascles (33,36%) i finalment 8 individus van ser indeterminats (0,62%). La sex-ratio de la població, pels quatre estrats de fondària, expressada com el número de mascles respecte el número de femelles (M:F) correspon a 1:1,98, que difereix de la proporció esperada 1:1 ( $X^2=131,02$ ;  $p<0,05$ ). Si analitzem la sex-ratio per estrat de fondària, la proporció de sexes difereix de l'esperada 1:1 en tots els estrats de fondària on predominen les femelles. A la plataforma costanera és 1:2,28 ( $X^2=58,46$ ;  $p<0,05$ ), a la plataforma mitjana és 1:5,44 ( $X^2=47,57$ ;  $p<0,05$ ), a la plataforma és 1:1,63 ( $X^2=42,80$ ;  $p<0,05$ ), i per últim, al talús superior és 1:4 ( $X^2=7,84$ ;  $p<0,05$ ).

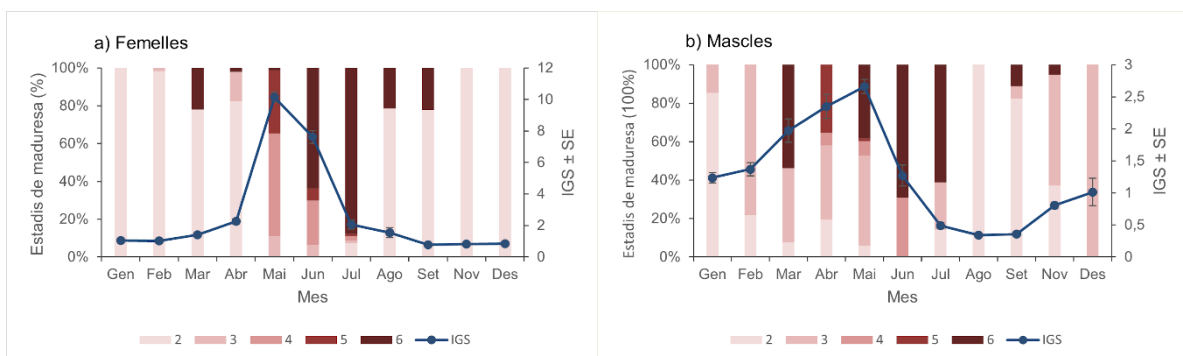
La proporció de sexes per classe de talla es visualitza a l'estrat de plataforma donat que és l'estrat que presenta una major intensitat de mostreig, amb un nombre d'individus analitzat més elevat i una representació més completa de l'estructura de talles de la població (**Fig 8**). S'observa com, la proporció de sexes és favorable als mascles en les talles petites i, a partir dels 16-17cm, s'esbiaixa cap a les femelles, dominant aquestes les talles més grans. A partir dels 20 cm, la totalitat dels individus capturats són femelles.



**Fig 8.** Proporció de sexes de *M. barbatus* (sex-ratio) per classe de talla en cada estrat de fondària. La línia contínua marca el punt on la proporció és 1:1, 50% dels individus per cada sexe.

### ● **Cicle reproductiu**

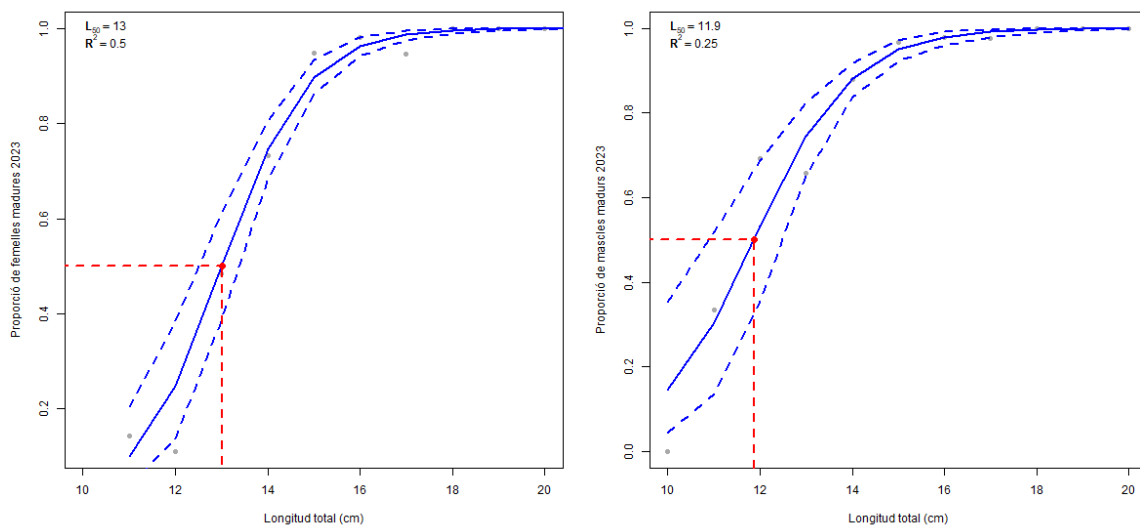
El cicle reproductiu de *M. barbatus* s'ha determinat mensualment pels dos sexes al llarg de l'any 2023 (**Fig 9**). L'espècie presenta una posta estacional pels dos sexes, a la primavera i principis d'estiu, essent el mes de maig quan es dona el pic reproductiu. Les femelles presenten un cicle reproductiu més curt, concentrat durant els mesos de maig i juny mentre que els mascles presenten un cicle reproductiu més ampli ja que comencen a madurar al hivern, un parell de mesos abans de que ho facin les femelles. Aquests resultats coincideixen amb els valors de l'índex gonadosomàtic (IGS) i per tant, els valors més elevats d'IGS es donen als mesos d'activitat reproductiva, coincidint amb la major proporció d'estadis 4-6. La resta de l'any els individus es troben en repòs (estadi 2), coincidint amb els valors més baixos d'IGS ja que els individus d'ambdós sexes es troben fora del període reproductor.



**Fig 9.** Cicle reproductiu mensual del *M. barbatus* on les barres representen els estadis de maduresa sexual (%) i la línia blava l'índex gonadosomàtic (IGS ± SE). Els colors de les barres indiquen els estats sexuals: 2 (repòs); 3 (madurant); 4 (maduració avançada); 5 (posta) i 6 (post-posta).

- **Talla de primera maduresa sexual (L<sub>50</sub>)**

La talla de primera maduresa sexual (L<sub>50</sub>) correspon a la talla en la qual el 50% dels individus han assolit la maduresa sexual. En aquest estudi, la L<sub>50</sub> per a les femelles s'ha determinat en els 13 cm amb un coeficient de correlació de  $R^2=0,5$  (**Fig 10A**) mentre que en mascles es situa en els 11,9 cm amb un coeficient de correlació de  $R^2=0,25$  (**Fig 10B**). Així doncs, la variació de la talla de primera maduresa entre sexes indica que els mascles presenten una maduració més primerenca. Els coeficients de correlació ( $R^2$ ) donen valors relativament baixos degut a la poca captura d'individus juvenils dins la fracció comercial durant el període reproductiu. Aquest fet provoca que la corba de maduresa no s'ajusti bé a la base, fet que es tradueix en una major desviació estàndard de la corba i una reducció dels valors del coeficient de correlació.



**Fig 10. A)** Representació de la corba de maduresa i la talla de primera maduresa sexual (L<sub>50</sub>) de femelles de *M. barbatus* durant el 2023. **B)** Representació de la corba de maduresa i la talla de primera maduresa sexual (L<sub>50</sub>) de mascles de *M. barbatus* durant el 2023.

Els valors de talla de primera maduresa sexual de *M. barbatus* per sexes obtinguts en aquest estudi s'ha comparat amb els d'altres treballs publicats en diferents àrees del mar Mediterrani occidental des de 1952 fins a l'actualitat (**Taula 2**). En línies generals, s'observa com els diferents valors de L<sub>50</sub> publicats mostren una maduració més primerenca dels mascles respecte les femelles i com la talla de primera maduresa del *M. barbatus* s'ha mantingut constant en el temps, sense experimentar cap reducció en els últims 70 anys.

**Taula 2.** Valors de talla de primera maduresa sexual ( $L_{50}$ ) del *M. barbatus* per sexe en diferents àrees del mar Mediterrani, des del 1952 fins a l'actualitat. S'especifica la subàrea geogràfica (GFCM-GSAs-table) i la referència bibliogràfica.

Àrea	GSA	Sexe	$L_{50}$ (cm)	Bibliografia
Costa sud francesa	7	F	13,5	Bougis, 1952
		M	11,5	(Carbonara et al., 2015)
Golf de Tunísia	12	F	14,4	Gharbi & Ktari, 1981
		M	12,9	
Costa toscana	9	F	12,5	Voliani et al., 1998
Mar Lìgur	9	F	13,4	Fiorentino et al., 1998
		M	11,9	
Nord del mar d'Alboran	1	F	11,5	Del Arbol et al., 2003
		M	10,8	
Marroc	3	F / M	11	Slimani and Hamdi, 2003
Costa del Marroc-Mediterrani	3	F	13,8	Layachi et al., 2007
		M	10,3	
Golf de Tunísia	12	F	13,94	Cherif et al., 2007
		M	13,87	
Golf de Castellamare, Nord-oest de Sicília	10	F	12-14	Micale et al., 2007
		M	11-11,3	(Carbonara et al., 2015)
Mar Català	6	F	<b>13</b>	Estudi actual
		M	<b>11,9</b>	

## 5. Discussió

Gran part dels recursos del mar Mediterrani estan sotmesos a una explotació pesquera (Tsikliras *et al.*, 2015), entre ells l'espècie d'aquest estudi, *M. barbatus*. De les espècies regulades per la Unió Europea (MAP; Reglamento (UE), 2019/1022), les poblacions de lluç (*Merluccius merluccius*), gamba rosada (*Aristeus antennatus*) i escamarlà (*Nephrops norvegicus*) es troben per sota del líndar recomanat i, per tant, es qualifiquen com a sobreexplotades (ICATMAR, 23-08). Al contrari d'aquestes espècies, el present estudi indica que *M. barbatus* no sembla estar sobreexplotada, amb uns desembarcaments de l'espècie relativament constants al llarg de les últimes dècades, i una captura majoritària per sobre de la TMREC i la talla de primera maduresa sexual. Els estudis de revisió i actualització dels paràmetres poblacionals i biològics de les espècies comercials són essencials per seguir la seva evolució i realitzar una gestió adient que permeti una explotació pesquera sostenible (Follesa *et al.*, 2019). Els canvis dels paràmetres biològics i poblacionals de les espècies comercials poden variar segons l'estat d'explotació però també en base a canvis ambientals, com el canvi climàtic (Galimany *et al.*, 2015; Mingote *et al.*, 2024). Malgrat que l'hàbitat de *M. barbatus* es troba en aigües més superficials (<200 m), i es podria veure més exposat als efectes del canvi global, com l'escalfament o la hipòxia (García-Rodríguez *et al.*, 2011; Albouy *et al.*, 2013), el present estudi mostra una evolució històrica constant de l'estat del recurs i, per tant, no sembla que el canvi climàtic sigui un factor determinant que afecti la seva abundància i distribució.

Històricament, al mar Mediterrani occidental, l'estoc pesquer de *Mullus* spp. ha estat sotmès a una intensa explotació, sobretot dels individus juvenils que comprenen les talles més petites de la població (Demestre *et al.*, 1997). Les mesures de gestió aplicades per la EU Common Fisheries Policy (CFP) pretenen que la pesca d'arrossegament sigui més sostenible i, per tant, que disminueixi la proporció d'individus pescats per sota de la talla mínima de referència a efectes de conservació (TMREC). El compliment d'aquestes mesures té com a objectiu reduir la mortalitat dels individus juvenils, que, al seu torn, permetrà incrementar la biomassa reproductora d'individus adults fet que pot comportar conseqüències positives no només a nivell ecològic garantint l'explotació sostenible de l'espècie sinó també a nivell socioeconòmic degut a l'increment de les captures (Sola *et al.*, 2020). De fet, a la costa catalana, el percentatge de rebuig capturat per la pesca d'arrossegament ha disminuït en els últims anys, des d'un 43,3%, observat en estudis anteriors (Sánchez *et al.*, 2004), als 25,5% registrats a l'actualitat. (Blanco *et al.*, 2023). Els resultats mostren com la captura majoritària de *M. barbatus* es situa per sobre la TMREC, que és d'11 cm en els caladors mediterranis, i la proporció de rebuig de l'espècie és baixa. L'anàlisi per estrat de fondària mostra com l'espècie

es distribueix majoritàriament a la plataforma continental (<200m), on presenta les abundàncies més elevades, mentre que la seva presència al talús superior (200-500m) és baixa donat que aquest estrat queda al límit del seu rang de distribució (Cardinale *et al.*, 2017). La major proporció d'individus juvenils, per sota la TMREC, es captura a la plataforma costanera (<40 m), que és on té lloc el reclutament de l'espècie (Fiorentino *et al.*, 2008) i, en conseqüència, s'observa una proporció de rebuig de l'espècie més elevada. Aquest estrat es mostreja exclusivament al Delta de l'Ebre (ICATMAR, 23-0), degut a l'amplitud de la plataforma continental, mentre que a la resta de la costa catalana la flota d'arrossegament no pot pescar per sota dels 50 m de profunditat (Reglamento (CE), 1967/2006). Així doncs, part del reclutament de l'espècie es manté protegit de la pressió pesquera que exerceix la pesca d'arrossegament i no seran capturats per aquest art. Tot i així, els arts menors queden exclosos d'aquesta normativa pel que operen en aquestes fondàries i capturen, especialment el tresmall, els individus immadurs de l'espècie (García-Rodríguez *et al.*, 2006; Dimitriadis *et al.*, 2015).

La proporció de sexes o sex-ratio és diferent a l'esperada 1:1 essent del 66% en femelles i del 33% en mascles, amb una major proporció de mascles a talles petites i de femelles a talles grans. Altres estudis han documentat valors semblants de sex-ratio amb una predominança de femelles a mesura que s'incrementa la talla degut a un creixement diferencial entre sexes (Aydın & Karadurmuş, 2012; Cherif *et al.*, 2021). La disminució de la taxa de creixement en el moment que l'individu assoleix la maduresa sexual lligat al fet que els mascles maduren sexualment abans que les femelles implica una taxa de creixement més alta en femelles, especialment a partir del segon any de vida (Aydın & Karadurmuş, 2012). Els resultats del cicle reproductiu, amb una posta estacional i un pic de reproducció que té lloc al mes de maig tant per mascles com per femelles, coincideixen amb els publicats a diferents regions del mar Mediterrani, tant de la conca occidental (Cherif *et al.*, 2007; Ferrer-Maza *et al.*, 2015) com de la conca oriental (Arslan & İşmen, 2014). L'avaluació de la maduresa sexual de forma macroscòpica pot induir errors relacionats amb descripcions incoherents del estadis de maduresa (Carbonara *et al.*, 2015). Per aquest motiu, s'acompanya de l'índex gonadosomàtic (IGS), que en el nostre estudi coincideix amb l'assignació macroscòpica, indicant una classificació acurada dels estadis de maduresa sexual. La maduració sexual més primerenca en els mascles observada en aquest estudi també s'ha documentat en altres regions del mar Mediterrani (Arslan & İşmen, 2014; Sieli *et al.*, 2011).

La talla de primera maduresa sexual ( $L_{50}$ ) es pot usar com un indicador de sobreexplotació pesquera i permet identificar una talla mínima de referència a efectes de conservació (TMREC) que sigui realista i efectiva, basada en criteris biològics (Carbonara *et al.*, 2015). En



aquest estudi, la talla de primera maduresa sexual s'ha establert en 13,0 cm i 11,9 cm per femelles i mascles respectivament, evidenciant una maduresa sexual més primerenca en els mascles. Si comparem els valors de  $L_{50}$  obtinguts en aquest estudi amb els publicats prèviament en d'altres regions del mar Mediterrani, s'observa que són similars, indicant poca variació temporal de la talla de primera maduresa de l'espècie. La reducció de la  $L_{50}$  en el temps sol ser un bon indicador de la sobreexplotació dels recursos pesquers, degut a la pressió selectiva que exerceix l'increment de l'esforç pesquer sobre les espècies (Heino *et al.*, 2002), i que es tradueix en la necessitat de madurar sexualment abans per assegurar la reproducció i garantir la descendència. En aquest cas, però, el fet que la  $L_{50}$  es mantingui força constant en el temps, sembla indicar un grau d'explotació de l'espècie dins dels nivells de sostenibilitat. Els valors de  $L_{50}$  es mantenen lleugerament superiors a la TMREC, que es situa als 11 cm, indicant que una part de la captura correspon a individus immadurs que encara no han assolit la maduresa sexual i que, per tant, no s'han reproduït. Tot i així, els diferents paràmetres estudiats semblen indicar que la captura de juvenils per part de la flota d'arrossegament no és suficientment gran com per afectar a la biomassa reproductora dels adults.

Els recursos pesquers es poden veure afectats a causa de la degradació del medi marí i la sobreexplotació. En els últims anys, la demanda alimentària ha augmentat i per tant, és imprescindible realitzar models de gestió adequats, basats en el coneixement científic (Bellido *et al.*, 2017). El *M. barbatus* és una de les espècies de més interès comercial a la costa catalana i que s'ha explotat de forma contínua pel sector pesquer, evidenciant la necessitat d'estudiar-la (Martín *et al.*, 2019). L'actualització dels paràmetres biològics de l'espècie aporta informació sobre la seva estructura, composició, distribució i reproducció que, al seu torn, permet adaptar les mesures de gestió a l'estat actual del recurs a fi de garantir-ne una explotació sostenible i la seva conservació (Ferrer-Maza *et al.*, 2015). En base als resultats obtinguts, s'observa com els exemplars immadurs presenten una importància rellevant sobre l'estoc pesquer de *M. barbatus*, ja que de la seva supervivència dependrà la quantitat de biomassa reproductora. Així doncs, la protecció de l'àrea de reclutament de l'espècie, situada a la plataforma costanera, pot ser una mesura de gestió adient que afavoreixi l'explotació sostenible del recurs. De la mateixa manera, per garantir que com a mínim els individus es puguin reproduir un cop abans de ser capturats pels arts de pesca, és important conèixer la biologia reproductiva de l'espècie per a poder establir una talla mínima de referència a efectes de conservació (TMREC) adequada. L'increment de la TMREC per sobre de la talla de primera maduresa sexual ( $L_{50}$ ) seria una mesura de gestió efectiva, essencial per afavorir la captura d'exemplars madurs i reduir la captura d'individus juvenils.

## 6. Conclusions

A la costa catalana, que correspon a la meitat nord de la GSA 6, les captures de *Mullus* spp. provenen majoritàriament de la modalitat d'arrossegament. Al llarg de les últimes dècades, tant les captures com els ingressos econòmics de l'espècie s'han mantingut estables i la variació anual ha estat mínima. L'espècie es distribueix majoritàriament a la plataforma continental (<200 m), amb una major proporció d'individus que es troben per sota de la talla mínima de referència a efectes de conservació (TMREC), de 11 cm, a la plataforma costanera (<40 m). La sex-ratio indica un creixement diferencial entre sexes on els mascles dominen les talles petites i les femelles les talles grans. El cicle reproductiu de l'espècie és estacional, situat a la primavera, amb un pic d'activitat reproductiva durant el mes de maig pels dos sexes. La talla de primera maduresa sexual ( $L_{50}$ ) és troba en els 13 cm per a les femelles i 11,9 cm pels mascles, evidenciant una maduració més primerenca en els mascles. La comparació bibliogràfica dels valors de  $L_{50}$  en diferents àrees del mar Mediterrani occidental amb els valors de l'estudi actual, indiquen que l'espècie no presenta una disminució de la talla de primera maduresa sexual en el temps. Els paràmetres estudiats mostren que l'espècie no sembla estar sobreexplotada però, no obstant, l'estudi i actualització dels paràmetres biològics i poblacional de les espècies comercials, com el *M. barbatus*, és essencial per a poder aplicar mesures de gestió adequades que garanteixin la sostenibilitat dels recursos pesquers i la viabilitat socioeconòmica de la pesqueria.

## 7. Bibliografia

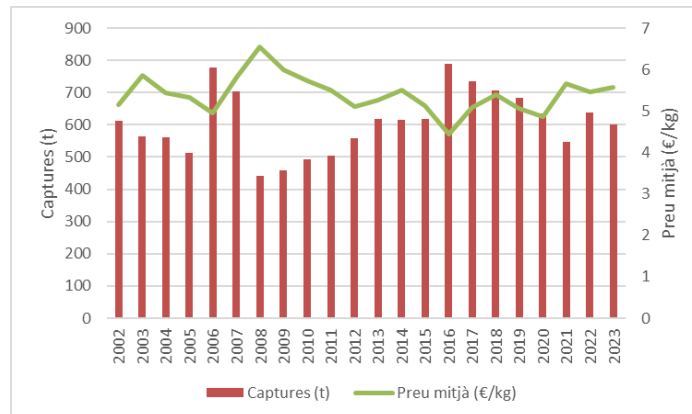
- Albouy, C., Guilhaumon, F., Leprieur, F., Lasram, FBR., Somot, S., Aznar, R., Velez, L., Le Loc'h, F., & Mouillot, D. (2013). Projected climate change and the changing biogeography of coastal Mediterranean fishes. *Journal of Biogeography*, 40(3), 534-547.
- Arslan, M., & İşmen, A. (2014). Age, growth, reproduction and feeding of *Mullus barbatus* in Saros Bay (North Aegean Sea). *J. Black Sea/Mediterranean Environment*, 20(3), 184-199.
- Aydın, M., & Karadurmuş, U. (2012). An investigation on age, growth and biological characteristics of red mullet (*Mullus barbatus*) ponticus, Essipov, (1927) in the Eastern Black Sea Item. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 12(2), 277-288.
- Bellido, JM., García-Rodríguez, M., García-Jiménez, T., González-Aguilar, M., & Carbonell-Quetglas, A. (2016). Could the obligation to land undersized individuals increase the black market for juveniles: evidence from the Mediterranean?. *Fish and Fisheries*, 18(1), 185-194.
- Blanco M., Nos D., Lombarte A., Recasens L., Company JB., & Galimany E. (2022). Characterization of discards along a wide bathymetric range from a trawl fishery in the NW Mediterranean. *Fisheries Research*, 258, 106552.
- Carbonara, P., Intini, S., Modugno, E., Maradonna, F., Spedicato, MT., Lembo, G., Zupa, W., & Carnevali, O. (2015). Reproductive biology characteristics of red mullet (*Mullus barbatus* L., 1758) in Southern Adriatic Sea and management implications. *Aquatic Living Resources*, 28(1), 21-31.
- Cardinale, M., & Scarcella, G. (2017). Mediterranean Sea: A failure of the European fisheries management system. *Frontiers in Marine Science*, 4, 72.
- Cherif, M., Zarrad, R., Gharbi, H., Missaoui, H., & Jarboui, O. (2007) Some biological parameters of the red mullet, *Mullus barbatus* L., 1758, from the Gulf of Tunis. *Acta Adriat*, 48(2), 131-144.
- Cherif, M., & Benmessaoud, R. (2021). Age and growth parameters of the red mullet *Mullus barbatus* (Mullidae) from northern Tunisia (Central Mediterranean Sea). *Annales*, 31, 2.
- Del Arbol, J. Del Rey, J., & Gil De Sola, L. (2004). Reproductive aspects of Red mullet (*Mullus barbatus*) in the Alboran Sea (Western Mediterranean). *Rapports et procès-verbaux des réunions Commission internationale pour l'exploration scientifique de la Mer Méditerranée*, 37, 342.

- Demestre, M., Sbrana, M., Alvarez, F., & Sánchez, P. (1997). Analysis of the interaction of fishing gear in *Mullus barbatus* fisheries of the Western Mediterranean. *Journal of Applied Ichthyology*, 13(2), 49-56.
- Dimitriadis, C., Carranza, A., Vilela, R., & Casadevall, M. (2015). Original Article: A rapid assessment of trends in the multispecies small-scale fishery of Palamos (Catalonia, Spain). *ICES Journal of Marine Science*, 72(9), 2638-2649.
- Faget, D., & Sacchi, J. (2014). Fishing in the Mediterranean, past and present: History and technical changes. In P. Prouzet (Ed.), *Development of marine resources* (pp. 1-55). John Wiley & Sons.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations for a world without hunger Fisheries and Aquaculture Department. *Mullus barbatus* (Linnaeus, 1758). Geographical Distribution FAO Fisheries and Aquaculture Department. URL: <https://www.fao.org/figis/pdf/fishery/species/3208>
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations for a world without hunger Fisheries and Aquaculture Department *Mullus surmuletus* (Linnaeus, 1758). Geographical Distribution FAO Fisheries and Aquaculture Department. URL: <https://www.fao.org/figis/pdf/fishery/species/3207>
- Farrugio, H., Oliver, P., & Biagi, F. (1993) An overview of the history, knowledge, recent and future research trends in Mediterranean fisheries. *Scientia Marina*, 57(3), 105-119.
- Ferrer-Maza, D., Muñoz, M., Lloret, J., Faliex, E., Vila, S., & Sasal, P. (2015). Health and reproduction of red mullet, *Mullus barbatus*, in the western Mediterranean Sea. *Hydrobiologia*, 753(1), 189-204.
- Ferrer-Maza, D., Lloret, J., Muñoz, M., Faliex, E., Vila, S., & Sasal, P. (2016). Links between parasitism, energy reserves and fecundity of European anchovy, *Engraulis encrasicolus*, in the northwestern Mediterranean Sea. *Conservation Physiology*, 4(1), 69.
- Fiorentino, F., & Zamboni, A. (1998). The growth of the Red Mullet barbatus, L. 1758) during the first years of life in the Ligurian Sea (Mediterranean) *CIHEAM-Options Mediterraneennes*, 35, 65-78.
- Fiorentino, F., Badalamenti, F., D'Anna, G., Garofalo, G., Gianguzza, P., Gristina, M., Pipitone, C., Rizzo, P., & Fortibuoni, T. (2008). Changes in spawning-stock structure and recruitment pattern of red mullet, *Mullus barbatus*, after a trawl ban in the Gulf of Castellammare (central Mediterranean Sea). *ICES Journal of Marine Science*, 65, 1175-1183.
- Follesa, MC., Agus, B., Bellodi, A., Cannas, R., Capezzuto, F., Casciaro, L., Cau, A., Cuccu, D., Donnalioia, M., Fernandez-Arcaya, U., Gancitano, V., Gaudio, P., Marongiu, MF., Mulas, A., Pesci, P., Porcu, C., Rossetti, I., Sion, L., Vallisneri, M., & Carbonara, P.

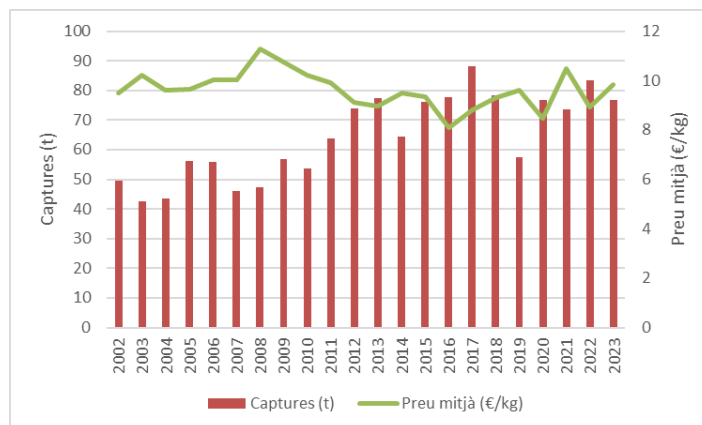
- (2019). The MEDITS maturity scales as a useful tool for investigating the reproductive traits of key species in the mediterranean sea. *Scientia Marina*, 83(1), 235-256.
- Galimany, E., Baeta, M., Durfort, M., Lleonart, J., & Ramón, M. (2015). Reproduction and size at first maturity in a Mediterranean exploited *Callista chione* bivalve bed. *Scientia Marina*, 79(2), 233-242.
- García-Rodríguez, M., Fernández, A., & Esteban, A. (2006). Characterisation, analysis and catch rates of the small-scale fisheries of the Alicante Gulf (SE Spain) over a 10 years time series. *Fisheries Research*, 77(2), 226-238.
- García-Rodríguez, M., Fernández, A., & Esteban, A. (2011). Biomass response to environmental factors in two congeneric species of *Mullus*, *M. barbatus* and *M. surmuletus*, off Catalano-Levantine Mediterranean coast of Spain: a preliminary approach. *Animal Biodiversity and Conservation*, 31(1), 113.
- Gharbi, H., & Ktari, MH. (1981). Biologie de *Mullus barbatus* Linnaeus, 1758 et *Mullus surmuletus* Linnaeus. 1758 (Poissons, Téléostéens, Mullidés) des côtes tunisiennes, taille et âge de première maturité sexuelle, cycle sexuel et coefficient de condition. *Bulletin de l'Institut National Scientifique et Technique d'Océanographie et de Pêche*, 8, 41-51.
- Heino, M., Dieckmann, U., & Godø, OR. (2002). Estimating reaction norms for age and size at maturation with reconstructed immature size distributions: A new technique illustrated by application to Northeast Arctic cod. *ICES Journal of Marine Science*, 59(3), 562-575.
- Institut Català de Recerca per a la Governança del Mar (ICATMAR). Evolució de les Captures i els Preus de Venda del Sector Pesquer a Catalunya: Comparativa 2021-2022 (ICATMAR, 23-03) 184 pp, Barcelona.
- Institut Català de Recerca per a la Governança del Mar (ICATMAR). Spatial WMMAP fishing closures effectiveness in GSA 6, Effort reduction, redistribution and spillover effect (ICATMAR, 23-06) 62 pp, Barcelona.
- Institut Català de Recerca per a la Governança del Mar (ICATMAR). State of fisheries in Catalonia 2022, Part 2: stock assessment (ICATMAR, 23-06) 96 pp, Barcelona.
- Institut Català de Recerca per a la Governança del Mar (ICATMAR). State of fisheries in Catalonia 2022, Part 1: report on the monitoring of the commercial fishing fleet (ICATMAR, 23-0) 199 pp, Barcelona.
- Layachi, M., Melhaoui, M., Srour, A., & Ramdani, M. (2007). Contribution à l'étude de la reproduction et de la croissance du Rouget-barbet de base (*Mullus barbatus* L., 1758) de la zone littorale méditerranéenne de Nador (Maroc). *Bulletin de l'Institut Scientifique*, 29, 43-51.

- Martín, P., Maynou, F., Garriga-Panisello, M., Ramírez, J., & Recasens, L. (2019). Fishing effort alternatives for the management of demersal fisheries in the western mediterranean. *Scientia Marina*, 83(4), 293-304.
- Martin, P., Sartor, P., & Garcia-Rodriguez, M. (1999). Exploitation patterns of the European hake *Merluccius merluccius*, red mullet *Mullus barbatus* and striped red mullet *Mullus surmuletus* in the western Mediterranean. *Journal of Applied Ichthyology*, 15(1), 24-28.
- Mingote, MG., Galimany, E., Sala-Coromina, J., Bahamon, N., Ribera-Altimir, J., Santos-Bethencourt, R., Clavel-Henry, M., & Company, JB. (2024). Warming and salinization effects on the deep-water rose shrimp, *Parapenaeus longirostris*, distribution along the NW Mediterranean Sea: Implications for bottom trawl fisheries. *Marine Pollution Bulletin*, 198, 115838.
- Recasens, L., Chiericoni, V., & Belcari, P. (2008). Spawning pattern and batch fecundity of the European hake (*Merluccius merluccius* (Linnaeus, 1758)) in the western Mediterranean. *Scientia Marina*, 72(4), 721-732.
- Sánchez, P., Demestre, M., & Martín, P. (2004). Characterisation of the discards generated by bottom trawling in the northwestern Mediterranean. *Fisheries Research*, 67(1), 71-80.
- Sieli, G., Badalucco, C., Di Stefano, G., Rizzo, P., D'Anna, G., & Fiorentino, F. (2011). Biology of red mullet, *Mullus barbatus* (L. 1758), in the Gulf of Castellammare (NW Sicily, Mediterranean Sea) subject to a trawling ban. *Journal of Applied Ichthyology*, 27(5), 1218-225.
- Slimani A., Elouamari N., Abid N. & Hamdi H. (2003). Etat d'exploitation des principales pêcheries de la Méditerranée marocaine. *Institut National de Recherche Halieutique*, 25, 32.
- Sola, I., Maynou, F., & Sánchez-Lizaso, JL. (2020). Bioeconomic analysis of the EU Multiannual Management Plan for Demersal Fisheries in the Western Mediterranean. Spanish Fisheries as a case study. *Frontiers in Marine Science*, 7, 459.
- Tsikliras, AC., Dinouli, A., Tsiros, VZ., & Tsalkou, E. (2015). The Mediterranean and Black Sea fisheries at risk from overexploitation. *Plos one*, 10(3).
- Voliani A., Abella A., Auteri A., (1998). Some considerations on the growth performance of *Mullus barbatus*. *Cahiers Options Méditerranéennes.*, 35, 93-106.

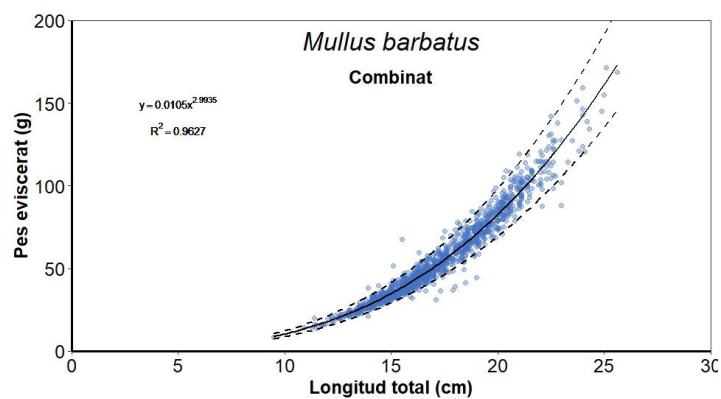
## Annex

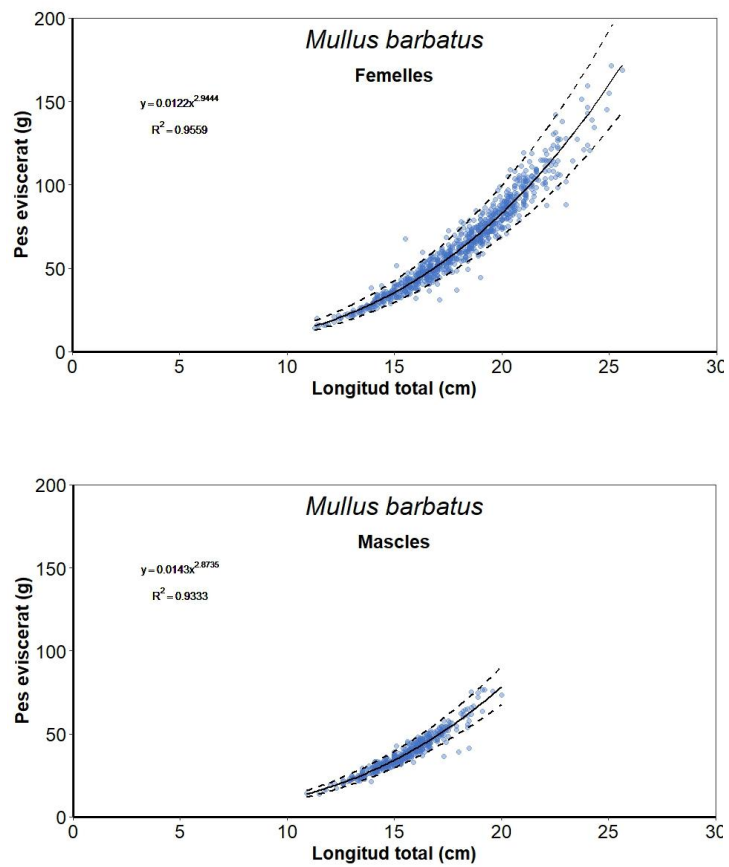


**Fig A1.** Evolució històrica anual de captures (t) i preu mitjà de primera venda (€/kg) de *Mullus* spp. per la modalitat de pesca d'arrossegament des del 2002 fins al 2023.



**Fig A2.** Evolució històrica anual de captures (t) i preu mitjà de primera venda (€/kg) de *Mullus* spp. per la modalitat de pesca d'arts menors (tresmalls) des del 2002 fins al 2023.





**Fig A3.** Relació talla-pes eviscerat per sexes combinats (a), per femelles (b) i per mascles (c). S'indiquen els paràmetres de creixement a i b a través de l'expressió  $y=ax^b$  i el coeficient de determinació ( $R^2$ ).