

Títol del treball:

Estudi de la relació entre l'alimentació i els metalls pesants de tres espècies de peix del mar Mediterrani.

Estudiant: Clara Sala Alcoba

Grau en Biologia

Correu electrònic: clarasala37@gmail.com

Tutor: Dra. Margarida Casadevall Masó

Empresa / institució: Universitat de Girona

Nom del tutor: Dra. Margarida Casadevall

Empresa / institució: Universitat de Girona

Correu(s) electrònic(s): margarida.casadevall@udg.edu

Data de dipòsit de la memòria a secretaria de coordinació: 4 de juny de 2019

2019

Estudi de la relació entre l'alimentació i els metalls pesants de tres espècies de peix del mar Mediterrani.

CLARA SALA ALCOBA

TUTORA: MARGARIDA CASADEVALL MASÓ

Grau en Biologia, curs 2018-2019

Data d'entrega: 4 de juny de 2019

UNIVERSITAT DE GIRONA | FACULTAT DE CIÈNCIES



AGRAÏMENTS

En primer lloc, m'agradaria donar les gràcies a la meva tutora del treball, la Dra. Margarida Casadevall, per brindar-me la oportunitat de realitzar aquest projecte i guiar-me durant tota aquesta etapa. També agrair l'ajuda rebuda per la Dra. Concepció Rodríguez.

D'altra banda, donar les gràcies al suport dels amics i amigues en els moments difícils, tant en la realització del treball, com en el transcurs del Grau. També per acompanyar-me en els bons moments que m'han donat els quatre anys de carrera.

Finalment, agrair a la família el suport que m'han donat i la paciència que han tingut, sobretot a la meva mare que m'ha fet costat en tot moment.

RESUM

Les concentracions de metalls pesants (Cd, Sn, Ni, Cu, Zn, As, Se, Hg, Cr, Pb i Mn) van ser analitzades en els músculs de tres espècies de peix (*Oedalechilus labeo*, *Serranus cabrilla* i *Coris julis*) del mar Mediterrani. Es va realitzar un estudi de l'alimentació de cadascuna de les espècies, amb més detall en el cas de *Oedalechilus labeo* per falta d'informació bibliogràfica, i es va investigar si les concentracions dels metalls s'incorporaven al peix a partir de la seva dieta. S'obtenen resultats que demostren que *O. labeo* és una espècie omnívora i oportunista que incorpora més quantitat de metalls que les altres espècies. Es divideixen els individus d'aquesta espècie en talla mitjana (M) i talla gran (L) i s'obtenen nivells de metalls més elevats en la talla gran, expressats en valors MPI (*O. labeo* M: MPI = 104.76 $\mu\text{g kg}^{-1}$, *O. labeo* L: MPI = 121.03 $\mu\text{g kg}^{-1}$ de pes fresc). Presenta un canvi de dieta a mesura que creix, ja que primer s'alimenta d'organismes planctònics i a mesura que creix afegeix organismes bentònics a la dieta, permetent més captació de metalls pesants. Es troba una bioacumulació de Hg significativa, la qual està íntimament relacionada amb l'edat dels individus, és a dir, els de més edat tenen més Hg bioacumulat. En aquesta espècie, també es mostra una correlació negativa de Zn i la longitud total (TL), i positiva de Pb i la TL. En el cas de *Coris julis* i *Serranus cabrilla*, s'observa que són dues espècies carnívores que s'alimenten exclusivament d'organismes bentònics. En la primera s'hi troben altes concentracions d'As, i en ambdues, elevats nivells d'Hg. En *S. cabrilla* es mostra una correlació negativa entre Cu i la TL, i es troben concentracions més altes de Se. Els elements Cd, Cr i Sn tenen valors molt similars en les tres espècies, per tant, s'incorporen al cos del peix per altres vies. Gràcies a l'anàlisi estadístic ANCOVA es sap que les càrregues d'As i Cu varien significativament entre les espècies respecte la TL del peix (As: $p = 0.026$, Cu: $p = 0.019$), suggerint diferents taxes de bioconcentració a cada espècie segons la seva talla. Totes les concentracions dels metalls es troben dins els límits legals establerts o dins dels valors habituals de la costa Nord Mediterrània.

RESUMEN

Las concentraciones de metales pesantes (Cd, Sn, Ni, Cu, Zn, As, Se, Hg, Cr, Pb y Mn) fueron analizadas en los músculos de tres especies de pescado (*Oedalechilus labeo*, *Serranus cabrilla* y *Coris julis*) del mar Mediterráneo. Se realizó un estudio de la alimentación de cada una de las especies, con más detalle en el caso de *Oedalechilus labeo* por falta de información bibliográfica, y se investigaron si las concentraciones de los metales se incorporaban al pez mediante su dieta. Se obtienen resultados que demuestran que *O. labeo* es una especie omnívora y oportunista que incorpora más cantidad de metales que las otras especies. Se dividen los individuos de esta especie en talla media (M) y talla grande (L) y se obtienen niveles de metales más elevados en la talla grande, expresados en valores MPI (*O. labeo* M: MPI = 104.76 $\mu\text{g kg}^{-1}$, *O. labeo* L: MPI = 121.03 $\mu\text{g kg}^{-1}$ de peso fresco). Presenta un cambio de dieta a medida que crece, ya que primero se alimenta de organismos planctónicos y a medida que crece añade organismos bentónicos a la dieta, permitiendo más captación de metales pesantes. Se encuentra una bioacumulación de Hg significativa, la cual está íntimamente relacionada con la edad de los individuos, es decir, los de más edad tienen más Hg bioacumulado. En esta especie, también se muestra una correlación negativa de Zn y la longitud total (TL), y positiva de Pb y la TL. En el caso de *Coris julis* y *Serranus cabrilla*, se observa que son dos especies carnívoras que se alimentan exclusivamente de organismos bentónicos. En la primera se encuentran altas concentraciones de As, y en ambas, elevados niveles de Hg. En *S. cabrilla* se muestra una correlación negativa entre Cu y TL, y se encuentran concentraciones más altas de Se. Los elementos Cd, Cr y Sn tienen valores muy similares en las tres especies, por lo tanto, se incorporan al cuerpo del pescado por otras vías. Gracias al análisis estadístico ANCOVA se sabe que las cargas de As y Cu varían significativamente entre las especies respecto la TL del pez (As: $p = 0.026$, Cu: $p = 0.019$), sugiriendo diferentes tasas de bioconcentración a cada especie según su talla. Todas las concentraciones de los metales se encuentran dentro de los límites legales establecidos o dentro de los valores habituales de la costa Norte Mediterránea.

ABSTRACT

The concentrations of heavy metals (Cd, Sn, Ni, Cu, Zn, As, Se, Hg, Cr, Pb and Mn) were analyzed in the muscles of three species of fish (*Oedalechilus labeo*, *Serranus cabrilla* and *Coris julis*) from the Mediterranean Sea. A study of the feeding habits of each species was carried out, in more detail in the case of *Oedalechilus labeo* due to lack of bibliographic information, and it was investigated whether concentrations of metals were incorporated into the fish from its diet. Results are obtained showing that *O. labeo* is an omnivorous and opportunistic species that incorporates more metals than other species. Individuals of this species are divided into medium size (M) and large size (L) and higher metal levels are obtained in the large size, expressed in MPI values (*O. labeo* M: MPI = 104.76 $\mu\text{g kg}^{-1}$, *O. labeo* L: MPI = 121.03 $\mu\text{g kg}^{-1}$ fresh weight). It changes diet as it grows, because of it first feeds on planktonic organisms and as it grows, it adds benthic organisms to the diet, allowing more heavy metal uptake. A significant Hg bioaccumulation is found, which is closely related to the age of individuals, i.e. older individuals have more Hg bioaccumulated. In this species, a negative correlation of Zn and total length (TL), and positive of Pb and TL are shown. In the case of *Coris julis* and *Serranus cabrilla* it is observed that they are two carnivorous species that feed exclusively on benthic organisms. In the first, high concentrations of As are found, and in both, high levels of Hg. *S. cabrilla* shows a negative correlation between Cu and TL, and higher concentrations of Se are found. The elements Cd, Cr and Sn have very similar values in the three species, therefore, they are incorporated in the body of the fish by other ways. Thanks to ANCOVA statistical analysis it is known that the loads of As and Cu vary significantly among the species regarding to the TL of the fish (As: $p = 0.026$, Cu: $p = 0.019$), suggesting different bioconcentration rates for each species according to their size. All concentrations of metals are within the established legal limits or within the usual values of the North Mediterranean coast.

ÍNDIX DE CONTINGUTS

INTRODUCCIÓ	1
METALLS PESANTS.....	1
ESPÈCIES DE PEIX ESTUDIADAES.....	2
<i>Serranus cabrilla</i> (Linnaeus, 1758).....	2
<i>Coris julis</i> (Linnaeus, 1758).....	2
<i>Oedalechilus labeo</i> (Cuvier, 1829).....	3
OBJECTIUS	5
MATERIALS I MÈTODES	6
ÀREA D'ESTUDI I ESPÈCIES CAPTURADES.....	6
ANÀLISIS DE DADES.....	7
RESULTATS	8
METALLS	8
.....	10
ALIMENTACIÓ.....	13
DISCUSSIÓ	19
ANÀLISI DE LA DIETA	19
RELACIÓ DELS NIVELLS DE METALLS PESANTS AMB LA DIETA	19
BIOACUMULACIÓ DEL MERCURI.....	22
EFECTE DE LA CONTAMINACIÓ SOBRE L'ESPÈCIE	23
CONCLUSIONS	25
ÈTICA	26
ALCOHOL- RESIDUS.....	26
REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES	27

INTRODUCCIÓ

La contaminació marina és un tema molt preocupant, del que es va prenent consciència, però se sap poc encara de com ha estat afectant als organismes vius i encara més, quines conseqüències té o com pot repercutir en la nostra pròpia salut. Ja se sap que la contaminació per metalls té un impacte important en els organismes marins i produeix fenòmens de bioacumulació en els peixos. Les dades són però generals i hi ha poca informació local o per espècies i poca cosa se sap de quins són els processos pels que els organismes els incorporen. La dieta és de ben segur un dels mecanismes d'obtenció de determinats metalls, però no és el mateix el peix que s'alimenta a la columna d'aigua que el que busca l'aliment al fons, entre el sediment. Tampoc no és el mateix un peix exclusivament carnívor que un d'omnívor, que incorpori algues a la seva dieta.

Metalls pesants

Els metalls pesants no essencials com el mercuri, cadmi, plom i arsènic, no tenen un paper biològic important, en canvi els metalls que sí són essencials, com el coure, manganès, zinc i seleni, són components de fluids corporals, cofactors en reaccions enzimàtiques, unitats estructurals de macromolècules, etc. (Watanabe et al., 1997). Tots ells, provenen principalment d'aigües residuals industrials i urbanes, d'emissions produïdes per indústries i de l'escapament de llocs contaminats. Si aquests metalls pesants tenen una concentració mínima en les aigües, no provoquen efectes negatius a l'ambient. Però quan se n'introdueixen grans quantitats addicionals, esdevenen potencialment tòxics, poden acumular-se a la xarxa alimentària, concentrant-se en organismes marins superiors com els peixos, o bé podent adherir-se a partícules i acabar en el sediment, afectant a la zona tant planctònica com bentònica (UNEP/MAP, 2012).

La presència d'aquests metalls tòxics en els peixos pot conduir a l'estrès oxidatiu dels seus teixits, augmentant la concentració cel·lular d'espècies reactives d'oxigen (ROS) i reduint la capacitat antioxidant cel·lular (Pinto et al., 2003). Hi ha tres vies per les quals poden entrar els metalls: i) per la superfície del cos, ii) per les brànquies, i iii) pel tracte digestiu (Dallinger et al., 1987). El nivell d'afectació que tinguin els peixos, pot dependre del seu comportament (Philips et al., 1980; Van Hassel et al., 1980; Bernhard i Andrae, 1984; Willis i Sunda, 1984; Czarnecki, 1985; Loring i Prosi, 1986) de la preferència d'hàbitat i d'alimentació (Delisle et al., 1975; Ney i Van Hassel, 1983), i de la temperatura en la que es troben (Somero et al., 1977; Edgren i Notter, 1980; Prosi i Müller, 1987). L'efecte que poden causar els metalls també dependrà del mecanisme de detoxificació del peix, tenint en compte els seus processos d'absorció, magatzem, excreció i regulació (Bryan, 1971).

Recentment s'ha realitzat un estudi (UNEP/MAP/MED POL 2011) que proporciona una visió general sobre la distribució i les tendències dels metalls pesants (Pb, Hg i Cd) en sediments i biota costaners (*Mytilus galloprovincialis*), gràcies a la base de dades MED POL. L'estudi conclou que en la majoria de localitats, el Pb i el Cd es troben a la columna d'aigua i el Hg al sediment (UNEP/MAP, 2012). Si es parla del Hg en la forma orgànica (Metilmercuri: MeHg) en particular,

es sap que és un element altament tòxic i preocupant, ja que com s'ha dit anteriorment, tendeix a acumular-se en els sediments i afecta als peixos que tenen dietes omnívores i bentívores (Berge i Brevik, 1996; Storelli et al., 1998; Storelli i Marcotrigiano, 2010; UNEP, 2013). El metilmercuri s'uneix a la cisteïna i s'acumula en teixits rics en proteïnes, com els músculs, aconseguint concentracions més elevades en depredadors de grans dimensions (Castro-González i Méndez-Armenta, 2008; EFSA, 2012; UNEP, op.cit), però també en espècies de mida petita que busquen menjar en el fons (Berge i Brevik, op.cit; Storelli et al., op.cit; Storelli i Marcotrigiano, op.cit).

Espècies de peix estudiades

Les tres espècies de peix estudiades en aquest treball són *Serranus cabrilla*, *Coris julis* i *Oedalechilus labeo*. S'han escollit degut a que són espècies litorals i presenten diferent comportament, podent tenir un major ventall de resultats en l'estudi. Es fa referència sobretot al tipus d'alimentació que presenten, ja que en el cas de *Oedalechilus labeo*, les dades bibliogràfiques indiquen que pot ser planctòfag, i en canvi *Serranus cabrilla* i *Coris julis* són exclusivament bentòfags (Taula 1).

Serranus cabrilla (Linnaeus, 1758)

El serrà és una espècie de normalment 20-25 cm (podent arribar a 40 cm els mascles) que té una àmplia distribució. Es troba a l'Atlàntic oriental, Sud-Àfrica (Heemstra i Randall, 1986) i també al mar Mediterrani, mar Negra i possiblement al mar Roig (Tortonese, 1986). Es tracta d'un peix bentònic que es mou en hàbitats rocosos, sobre llits de posidònia, fons sorrencs i fangosos. Tal i com s'observa en la Taula 1, el serrà s'alimenta sobretot de crustacis bentònics, essent els decàpodes (gambes i crancs) els més abundants, i de peixos ossis com el *Gobius niger*, per exemple (Bianchi et al., 1999).



Figura 1: *Serranus cabrilla*. Ref: Klijnstra, 2017.

Coris julis (Linnaeus, 1758)

Aquesta espècie de peix anomenada donzella, es troba a l'Atlàntic oriental, a la zona Mediterrània i rarament, al mar Negra (Randall, 1999). Es mou per la part litoral, prop de les roques i els llits de *Zostera marina*. Normalment es troba entre 1 i 60 m de fondària, però els mascles adults es mantenen en aigües més profundes. Pot arribar a mesurar 30 cm de longitud màxima. Pel que fa al seu comportament, a vegades és solitària entre roques, i d'altres conviu amb nombrosos exemplars, també s'enterra a la nit o quan té por. Es tracta d'una espècie hermafrodita protogínica, essent mascles els individus majors de 18 cm. En la Taula 1 es mostren les seves preses habituals, com amfípodes, copèpodes, isòpodes,



Figura 2 *Coris julis* (mascle). Ref: Guerrieri, 2007.

gambes, eriçons de mar, anèl·lids i mol·luscs, destacant els petits gasteròpodes (Muus i Nielsen, 1999).

Oedalechilus labeo (Cuvier, 1829)

Es tracta d'una espècie de la família Mugilidae, que també és anomenada llissa morruda i que pot arribar a 25 cm de longitud (Romero, 2002). Es troba a l'Atlàntic oriental des de Marroc fins a Gibraltar i també al llarg del mar Mediterrani, però no al mar Negre (Ben-Tuvia, 1986). El seu hàbitat és fonamentalment nerític, prop de les roques del fons i prop de la desembocadura de rius, però sense arribar a l'aigua dolça (Trewavas, 1979).



Figura 3: *Oedalechilus labeo*. Ref: Pillon, 2011.

Respecte l'alimentació de la llissa morruda, a diferència de les espècies anteriorment mencionades, només hi ha informació general i no es disposa d'un llistat de preses més específiques. Per això, la seva dieta és analitzada amb més detall en aquest treball. El que es coneix és el següent:

Segons Coudre (2012) se la troba prop del fons sorrenc pasturant la vegetació i el fang per extreure'n la matèria orgànica nutritiva. Tenen una dentició faríngia, és a dir, les dents es troben en l'arc branquial, i també tenen un dispositiu de filtrat que es fa efectiu per l'enduriment de les branquiospines, fet que fa pensar que sigui, en part, un peix planctòfag.

Segons Crosetti i Blauer (2016) és una espècie majoritàriament herbívora, ja que s'alimenta en gran part d'algues, tant filamentoses com unicel·lulars. En quantitats menors s'hi troben diatomees, copèpodes, nematodes i algun peix ossi, fet que també indica que es tracta d'una espècie planctòfaga. El que sí asseguren aquests autors, és que hi ha una àmplia diversitat en les mides i tipus de les seves preses.

A l'haver-hi poques dades registrades de l'alimentació i no haver-hi dades de les concentracions de metalls en les espècies, ha semblat interessant poder obtenir-les i veure si s'observa una relació entre els dos paràmetres.

Taula 1: Preses de *Serranus cabrilla*, segons FishBase; Ref: Tortonese, 1986, i de *Coris julis*, segons FishBase; Ref: Quignard i Pras, 1986.

<i>Serranus cabrilla</i>					
Fílum	Subfílum	Classe	Ordre	Família	Gènere espècie
Regne Plantae					
Ochrophyta	Phaeista	Phaeophyceae	Fucals	Sargassaceae	<i>Sargassum vulgare</i>
Regne Animalia					
Annelida	-	Polychaeta	No id.	No id.	No id.
Annelida	-	Polychaeta	No id.	No id.	No id.
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Amphipoda	No id.	No id.
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Amphipoda	No id.	No id.
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Amphipoda	No id.	No id.
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Amphipoda	Dexaminidae	<i>Dexamine spinosa</i>
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Amphipoda	Caprellidae	<i>Pseudoprotella phasma</i>

Arthropoda	Crustacea	Copepoda (Subclasse)	No id.	No id.	No id.
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Isopoda	No id.	No id.
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Isopoda	No id.	No id.
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Decapoda	Palinuridae	<i>Palinurus elephas</i>
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Decapoda	Inachidae	<i>Achaeus cranchii</i>
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Decapoda	Anomura (Infraordre)	No id.
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Decapoda	Ethusidae	<i>Ethusa mascarone</i>
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Decapoda	Epialtidae	<i>Herbstia condyliata</i>
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Decapoda	Epialtidae	<i>Acanthonyx lunulatus</i>
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Decapoda	Polybiidae	<i>Liocarcinus maculatus</i>
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Decapoda	Munididae	<i>Munida curvimana</i>
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Decapoda	Parthenopoidae	<i>Parthenope massena</i>
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Decapoda	Pilumnidae	<i>Pilumnus hirtellus</i>
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Decapoda	Galatheididae	<i>Galathea bolivari</i>
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Decapoda	Galatheididae	<i>Galathea intermedia</i>
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Decapoda	Galatheididae	<i>Galathea intermedia</i>
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Decapoda	Galatheididae	<i>Galathea sp.</i>
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Decapoda	Xanthidae	<i>Xantho pilipes</i>
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Decapoda (cranc)	No id.	No id.
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Decapoda (cranc)	No id.	No id.
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Decapoda (cranc)	No id.	No id.
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Decapoda	Palaemonidae	<i>Gnathophyllum elegans</i>
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Decapoda	Hippolytidae	<i>Lysmata seticaudata</i>
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Decapoda	Palaemonidae	<i>Palaemon sp.</i>
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Decapoda	Palaemonidae	<i>Palaemon siphias</i>
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Decapoda	Processidae	<i>Processa macrophthalma</i>
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Decapoda	Alpheidae	<i>Alpheus dentipes</i>
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Decapoda	Alpheidae	<i>Athanas nitescens</i>
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Decapoda	Thoridae	<i>Eualus sp.</i>
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Decapoda	Thoridae	<i>Eualus cranchii</i>
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Decapoda	Stenopodidae	<i>Stenopodus spinosus</i>
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Decapoda (gamba)	No id.	No id.
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Decapoda (gamba)	No id.	No id.
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Decapoda (gamba)	No id.	No id.
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Decapoda	No id.	No id.
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Decapoda	No id.	No id.
Arthropoda	Crustacea	Branchiopoda	Diplostraca	Cladocera (Subordre)	No id.
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Euphausiacea	No id.	No id.
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Mysida	No id.	No id.
Echinodermata	Asterozoa	Ophiuroidea	Amphilepidida	Ophiactidae	<i>Ophiactis virens</i>
Mollusca	-	Bivalvia	Ostreoida	Pectinidae	<i>Chlamys varia</i>
Mollusca	-	Bivalvia	No id.	No id.	No id.
Mollusca	-	Cephalopoda	No id.	No id.	No id.
Mollusca	-	Cephalopoda	No id.	No id.	No id.
Chordata	Vertebrata	Actinopterygii	Clupeiformes	Clupeidae	<i>Sardina pilchardus</i>
Chordata	Vertebrata	Actinopterygii	Anguilliformes	Anguillidae	<i>Anguilla anguilla</i>
Chordata	Vertebrata	Actinopterygii	Scorpaeniformes	Scorpaenidae	<i>Scorpaena sp.</i>
Chordata	Vertebrata	Actinopterygii	Perciformes	Gobiidae	<i>Gobius niger</i>
Chordata	Vertebrata	Actinopterygii	No id.	No id.	No id.
Chordata	Vertebrata	Actinopterygii	Pleuronectiformes	Scophthalmidae	<i>Lepidorhombus sp.</i>
Chordata	Vertebrata	Actinopterygii	No id.	No id.	No id.
Chordata	Vertebrata	Actinopterygii	No id.	No id.	No id.
Coris julis					
Fílum	Subfílum	Classe	Ordre	Família	Gènere espècie
Regne Animalia					
Annelida	-	Polychaeta	No id.	No id.	No id.
Annelida	-	No id.	No id.	No id.	No id.
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Amphipoda	No id.	No id.
Arthropoda	Crustacea	Copepoda (Subclasse)	No id.	No id.	No id.
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Isopoda	No id.	No id.
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	No id.	No id.	No id.
Echinodermata	Echinozoa	Echinoidea	No id.	No id.	No id.
Mollusca	-	Bivalvia	No id.	No id.	No id.
Mollusca	-	Bivalvia	Venerida	Veneridae	No id.
Mollusca	-	Cephalopoda	No id.	No id.	No id.
Mollusca	-	Gastropoda	Littorinimorpha	Rissoidae	No id.
Mollusca	-	Gastropoda	Caenogastropoda	Turritellidae	No id.
Mollusca	-	Gastropoda	No id.	No id.	No id.

OBJECTIUS

The study carried out has the main objective of determining a relationship between the type of feeding and the concentration of heavy metals in the three species of fish from the Mediterranean Sea. Research has been focused on the area of Palamós, and experimental and statistical studies have been carried out.

The most specific objectives of the work are the following:

- Determine the diets of each species of fish.
- Analyze the concentrations of the different heavy metals in muscle.
- Determine which metals are bioaccumulated in the fish musculature.
- Contrast diet with metal concentrations to see what relationships are detected.

The interest of the proposal apart from the knowledge of the particular species, is that it can give clues of which species of fish can be more affected by one or other metals, depending on the type of diet. In addition, if the study is applied to species of commercial interest, it can be argued how metals can affect human health through food.

MATERIALS I MÈTODES

Àrea d'estudi i espècies capturades

La captura de les diferents espècies es va realitzar a Palamós, a la zona del Port. Es van pescar 45 individus, 27 de l'espècie *Oedalechilus labeo*, 12 de *Serranus cabrilla* i 6 de *Coris julis*. Les espècies es van capturar amb canya de pescar bàsica amb esquer. Les dades biomètriques que es van prendre són: la longitud total (TL) en mm, amb un ictiòmetre, i el pes total (TW) i el pes eviscerat (EW) en grams, mitjançant una balança.

Es va agafar una mostra de musculatura del llom del peix per a la determinació de metalls, que es va conservar al congelador. Tot seguit, amb el peix ja eviscerat, es va procedir a la separació dels estòmacs de la resta de vísceres, i posteriorment l'obertura d'aquests estòmacs, conservant el contingut amb etanol 70º per a la seva observació posterior amb una lupa binocular. La identificació de les preses es va fer al grup taxonòmic més detallat possible.

L'anàlisi dels metalls, realitzat al CCiTUB (Centres Científics i Tecnològics de la Universitat de Barcelona) consisteix en extreure una porció de teixit muscular a cada individu, entre 150 i 250 mg de pes humit i posteriorment congelar-ho, per analitzar la concentració muscular dels diferents elements (Cr, Mn, Cu, As, Cd, etc.). Aquestes mostres es digereixen en recipients de Teflon amb HNO₃ (2 ml) i H₂O₂ (1 ml) (Merck, Suprapure) a 90ºC en un forn i es deixen tota la nit. Tots els materials utilitzats en el procés de digestió cal aclarir-los amb àcid. Després de la digestió, les mostres es dilueixen amb 30 ml d'aigua Milli-Q. Les concentracions totals dels metalls es quantifiquen mitjançant l'espectrofotometria ICP-MS, Perkin Elmer Elan 6000. El mercuri analitzat és el Hg total, o la quantitat de Hg inorgànic (iHg), MeHg i qualsevol altra forma de Hg present. El procediment analític es verifica utilitzant material de referència estàndard: i) *Squalus acanthias*, ii) fetge (DOLT-3) i iii) múscul (DORM-2) (National Research Council, Canada). Es preparen i s'analitzen varis blancs analítics juntament amb les mostres, per determinar els límits de detecció (Merciai et al., 2018). S'han analitzat els següents metalls: As, Cu, Cr, Cd, Zn, Mn, Sn, Pb, Se, Hg i Ni.

A més, l'IRTA (Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries) ens va proporcionar dades sobre la condició de les aigües de tota la costa catalana, amb les concentracions de metalls que hi ha a cada zona, basades en l'estudi d'organismes bioindicadors. En el nostre estudi, s'utilitzaran les dades de *Donax trunculus* obtingudes des de l'àrea de Cadaqués fins l'Escala com a referència d'organisme filtrador, i les dades de *Paracentrotus lividus* analitzades a Sant Feliu de Guíxols, com a referència d'organisme d'alimentació bentònica.

Anàlisi de dades

L'anàlisi de metalls comença amb el càlcul de les concentracions mitjanes, mínimes i màximes de cada un per les diferents espècies. La quantitat total de metalls en cada mostra s'expressa com a *Metal Pollution Index* (MPI) segons [Usero et al. \(2005\)](#): $MPI = (Cf_1 \times Cf_2 \dots Cf_n)^{1/n}$, on Cf_n és la concentració de l'element n de la mostra. Totes les concentracions s'expressen amb les unitats $\mu\text{g kg}^{-1}$ de pes fresc. Es realitzen diagrames de caixa per tal de representar les concentracions dels metalls en les tres espècies. També es duen a terme models d'ANCOVA per explorar la variació dels metalls (variable depenent) entre les espècies (factor categòric) després de ser controlats per l'efecte de la longitud del peix (covariable). Aquests anàlisis de covariància inclouen la interacció entre la covariable i el factor categòric, que proven l'assumpció de pendents iguals de l'ANCOVA estàndard i només es redueix eliminant la interacció quan aquesta no és significativa ($p > 0.05$), aconseguint augmentar el potencial estadístic. En el cas que sigui significativa, les pendents no seran homogènies.

Per identificar relacions entre els diferents metalls i la mida o talla del peix, es realitzen correlacions de Pearson, i en cas de ser significatives ($p < 0.05$), posteriorment es representen en rectes de regressió per tenir un valor de R^2_{adj} i veure si la correlació és negativa o positiva.

Pel que fa a l'alimentació, es calcula l'índex de vacuïtat (VI) = n° estómacs buits / n° total estómacs $\times 100$ ([Pallaoro et al., 2003](#)), per tal de tenir una referència de la ingesta dels individus. Per estudiar la biodiversitat d'espècies s'utilitza la riquesa específica (S), que simplement és el nombre d'espècies que s'hi troben.

Per a tots els anàlisis estadístics realitzats en aquest treball s'utilitza el programa *R Studio*, i en alguns casos també l'*R Commander*.

RESULTATS

Metalls

Un total de 27 individus de l'espècie *Oedalechilus labeo*, amb TL d'entre 10.8 i 19 cm han set analitzats. En aquest cas s'han classificat els individus per mides, tenint en compte la seva mida màxima de 25 cm. S'han assignat a les mides mitjanes els individus amb talles entre 10.8 i 14 cm (16 individus), i a les mides grans els d'entre 14.1 i 19 cm (11 individus). No s'ha establert una talla petita degut a que els individus més petits ja tenen una mida d'aproximadament 10 cm.

Tots els peixos, tant grans com mitjans tenen unes concentracions de Hg, Cd i Pb dins els límits que estableix la "European Commission (EC)" (500 $\mu\text{g kg}^{-1}$ en Hg, 50 $\mu\text{g kg}^{-1}$ en Cd i 300 $\mu\text{g kg}^{-1}$ en Pb) (EC, 2006). Tot i això, pel que fa al Pb, es veu una clara diferència entre talles, ja que la concentració mitjana en els grans (\bar{x} = 80.16 $\mu\text{g kg}^{-1}$) és bastant més elevada que en els mitjans (\bar{x} = 28.26 $\mu\text{g kg}^{-1}$), tal i com s'observa en la [Taula 2](#).

Respecte les espècies *Serranus cabrilla* i *Coris julis*, es van analitzar 12 individus de la primera i 6 de la segona. En aquest cas, no s'han dividit els individus per talles, ja que en *S. cabrilla* la talla màxima és de 30-40 cm i les talles dels nostres individus són d'entre 8.8 i 13.2 cm, corresponent totes a una talla petita-mitjana, a excepció d'un individu de 18.1 cm, que al ser minoritari es descarta. Per *Coris julis* la talla màxima és de 25-30 cm i les obtingudes estan entre 11.8 i 14 cm, passant el mateix que en l'espècie anterior.

En les dues espècies les concentracions dels tres metalls també es troben dins els límits establerts en tots els individus. Però quan es comparen les concentracions mitjanes de Hg entre aquestes dues espècies i l'anterior (*O. labeo*), s'aprecia que en aquest cas són més elevades (\bar{x} = 44.90 $\mu\text{g kg}^{-1}$ en *S. Cabrilla* / \bar{x} = 61.50 $\mu\text{g kg}^{-1}$ en *C. julis* / \bar{x} = 19.59 $\mu\text{g kg}^{-1}$ en *O.labeo*, [Taula 2](#)). Les concentracions mitjanes, màximes i mínimes de tots els elements, i de MPI es troben a la [Taula 2](#). També es poden observar aquests resultats en els diagrames de caixa representats a la [Figura 5](#).

De manera general, la contaminació de metalls que mostren les tres espècies es troba expressada en MPI a la [Figura 4](#), essent *O. labeo* L (talla gran) l'espècie amb valors mitjans màxims i *S. cabrilla* amb valors mínims. No obstant això, no tots els elements segueixen aquesta tendència, ja que els valors de MPI venen influenciats pels més abundants, com Zn i As. Aquest últim es troba en concentracions més elevades en *Coris julis*, el Se destaca en *S. cabrilla*, i el Hg en les dues espècies. Els elements Cu, Zn, Mn, Ni i Pb tenen valors mitjans més alts en l'espècie *O. labeo*, essent els individus de talla gran els que tenen els valors màxims, amb l'excepció del Zn, mentre que Sn, Cd i Cr tenen concentracions similars en les tres espècies. Aquests resultats es troben representats en la [Figura 5](#).

Les dades de referència que ofereix IRTA ([Taula 3](#)) de la condició de les aigües de la Costa Brava ens permet fer una comparació amb els nostres resultats. L'espècie filtradora *Donax trunculus*, la qual captura l'aliment de l'aigua, mostra unes concentracions mitjanes molt elevades per As, Cu, Mn i Zn, però en el cas de *Paracentrotus lividus*, es multipliquen els valors anteriors, essent tots incrementats.

Les càrregues dels metalls pesants han variat significativament entre les espècies respecte la longitud total del peix (TL) (covariable en l'ANCOVA, Taula 4). La interacció de la TL amb l'espècie és significativa per As i Cu, indicant que les pendents de les relacions entre les concentracions de metalls i la mida dels peixos varien entre les espècies. L'efecte de l'espècie és significatiu per As, Cu, Hg, Zn (i marginalment per Cd i Ni), i l'efecte de la TL es mostra significatiu per As, Cr, Hg, Pb, Se (i marginalment per Mn i Ni). Els models ANCOVA expliquen una "elevada" proporció de la variabilitat observada, amb valors de R^2_{adj} propers a 1,00 per Cu, Zn i Hg ($R^2_{adj} = 0.606$, $R^2_{adj} = 0.612$, $R^2_{adj} = 0.511$) essent però els valors bastant baixos. Pel que fa a les correlacions, en el cas de *O. labeo* hi ha una correlació significativa amb la TL per Hg, Pb i Zn, mentre que per *S. cabrilla*, l'element Cu és l'únic que es correlaciona significativament amb la longitud del peix (correlació de Pearson, Taula 5). D'aquests quatre metalls, Cu i Zn tenen una correlació negativa, en canvi Hg i Pb la tenen positiva (rectes de regressió, Figura 6).

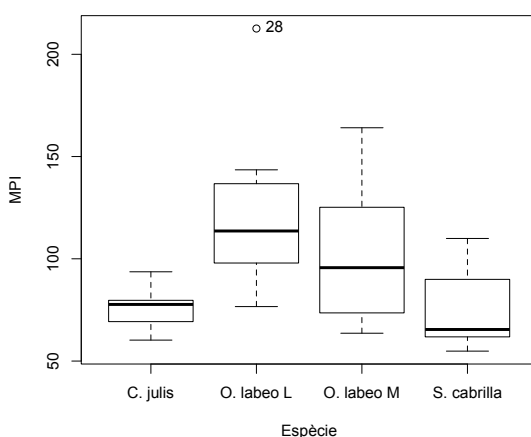
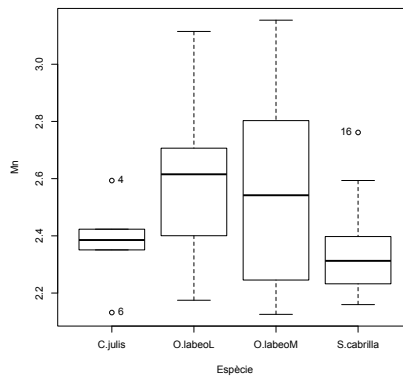
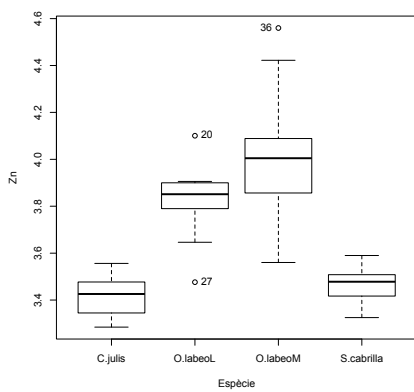
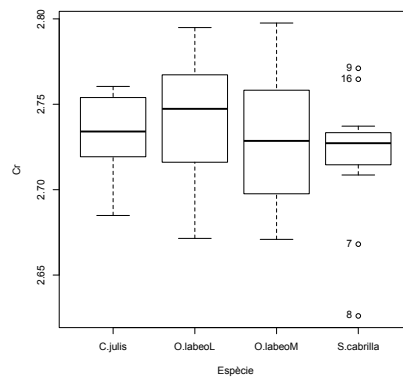
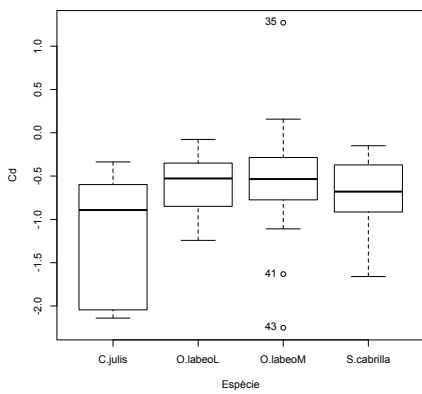
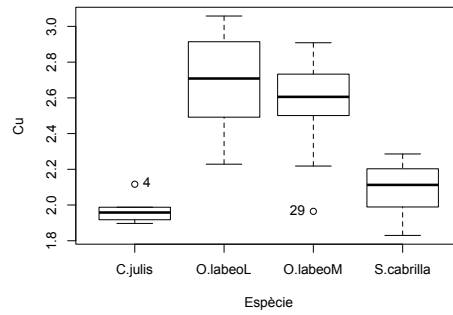
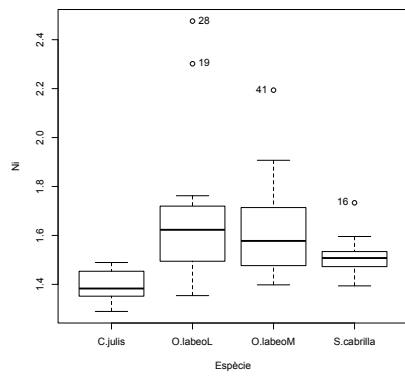
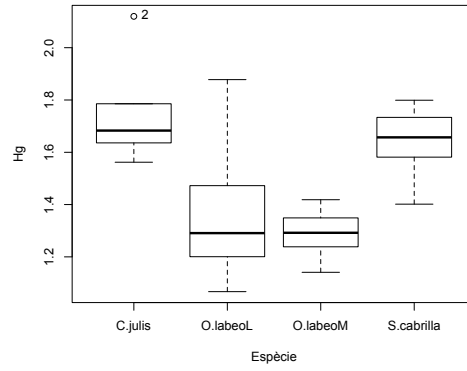
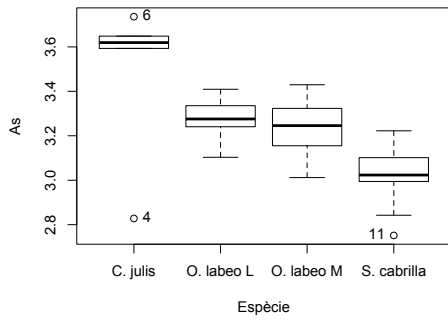
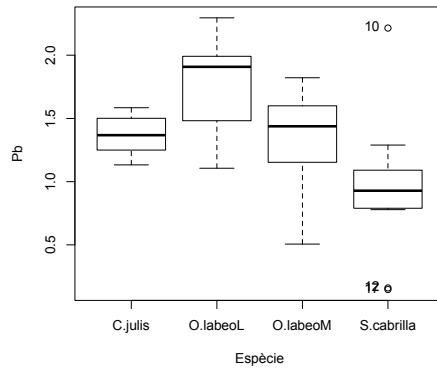
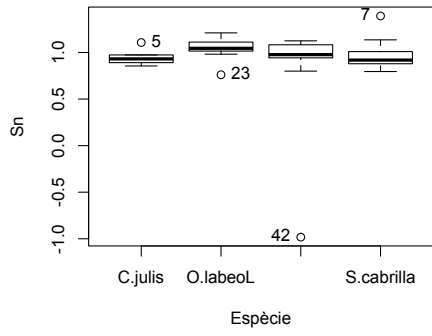


Figura 4: Representació mitjançant diagrames de caixa del valor MPI en cada una de les espècies.

Taula 2: Taula resum de les concentracions mitjanes, màximes i mínimes dels diferents elements metàl·lics, del valor MPI i dels valors de longitud total (TL), pes total (TW) i pes eviscerat (EW), de les tres espècies, tenint en compte les dues classes de *O. labeo*. Els valors que destaquen més es troben marcats en vermell. Les concentracions de metalls i el valor MPI s'expressen amb les unitats $\mu\text{g kg}^{-1}$ (pes fresc).

SIZE			TL (cm)	TW (g)	EW (g)	Zn	Mn	Sn	Pb	Cd	As	Se	Cr	Cu	Hg	Ni	MPI
O. LABEO N = 27	Medium N = 16	Mean	12,34	16,47	13,86	11899,62	442,38	9,45	28,26	1,51	1750,66	244,37	539,66	414,92	19,59	47,59	104,76
		SD	1,08	4,41	3,79	8307,53	336,69	3,35	17,30	4,59	461,81	57,88	47,06	178,82	3,33	32,28	32,18
		Max	14,00	22,74	18,90	36292,48	1425,37	13,32	66,32	18,67	2688,04	375,21	627,43	810,03	26,21	156,22	164,12
		Min	10,80	10,00	8,40	3632,00	133,55	0,10	3,21	0,01	1028,10	136,74	468,68	92,13	13,83	25,00	63,62
O. LABEO N = 11	Large	Mean	15,69	33,40	28,21	7087,97	514,49	11,45	80,16	0,33	1940,46	193,66	551,70	568,21	28,36	75,65	121,03
		SD	1,48	8,58	7,28	2424,70	405,09	2,78	57,46	0,22	377,85	59,39	48,22	325,25	20,66	89,49	38,40
		Max	19,00	55,14	46,40	12603,54	1301,38	16,21	197,58	0,84	2565,54	261,35	623,60	1143,65	75,47	299,25	212,62
		Min	14,20	25,03	21,60	2993,49	149,63	5,77	12,77	0,06	1268,77	69,35	469,32	169,36	11,67	22,59	76,67
S. CABRILLA N = 12	Medium	Mean	11,11	15,25	14,28	2935,51	248,36	10,18	22,61	0,29	1081,90	350,86	525,55	131,36	44,90	33,51	75,86
		SD	1,63	5,60	5,54	555,38	129,40	5,24	47,16	0,23	301,97	34,71	47,38	41,77	12,04	7,97	18,38
		Max	13,20	22,88	21,90	3888,77	577,24	24,65	163,96	0,71	1668,63	444,52	590,28	193,03	62,98	54,12	109,96
		Min	8,80	7,32	7,00	2113,89	144,46	6,24	1,40	0,02	564,10	310,14	422,74	67,55	25,21	24,76	54,87
C. JULIS N = 6	Medium	Mean	12,62	19,05	17,48	2679,88	250,48	9,04	24,87	0,16	3801,88	230,48	539,32	95,21	61,50	24,93	76,40
		SD	0,75	3,43	3,34	599,55	82,90	2,05	9,59	0,17	1624,46	19,76	34,19	19,01	35,39	4,17	11,19
		Max	14,00	25,02	23,20	3598,90	391,91	12,78	38,47	0,46	5444,80	254,64	576,04	130,75	131,83	30,85	93,65
		Min	11,80	16,15	14,30	1925,55	135,47	7,16	13,58	0,01	672,67	195,18	484,03	78,82	36,46	19,47	60,27



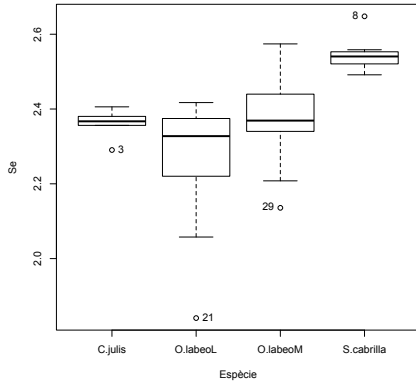


Figura 5: Representació mitjançant diagrames de caixa de les concentracions dels diferents metalls ($\mu\text{g kg}^{-1}$) en les espècies estudiades: *C.julis*, *O.labeoL* (talla gran), *O.labeoM* (talla mitjana) i *S.cabrilla*.

Taula 3: Taula resum proporcionada per IRTA, de les concentracions mitjanes, màximes i mínimes dels diferents elements metàl·lics de la Costa Brava, expressades amb les unitats $\mu\text{g kg}^{-1}$. Els valors marcats de color groc són els que destaquen.

		As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn
Àrea de Cadaqués fins l'Escala										
<i>Donax trunculus</i>	Mean	3325,00	6,67	235,00	1890,00	16,67	1658,33	30,00	138,33	11130,00
	SD	$\pm 530,39$	$\pm 8,17$	$\pm 121,94$	$\pm 682,17$	$\pm 12,11$	$\pm 917,22$	$\pm 73,49$	$\pm 62,42$	$\pm 2811,98$
(N=6)	Max	3840,00	20,00	470,00	2620,00	40,00	2520,00	180,00	70,00	15470,00
	Min	2660,00	0,00	150,00	950,00	10,00	0,00	0,00	220,00	7690,00
Àrea de Sant Feliu de Guíxols										
<i>Paracentrotus lividus</i>	Mean	9600,00	740,00	1928,00	6054,00	18,00	11896,00	1326,00	1486,00	46044,00
	SD	$\pm 10542,07$	$\pm 1354,31$	$\pm 1853,07$	$\pm 10108,35$	$\pm 8,37$	$\pm 11201,37$	$\pm 867,49$	$\pm 915,63$	$\pm 53568,74$
(N=5)	Max	28410,00	3160,00	5200,00	24110,00	30,00	30770,00	2640,00	2300,00	141200,00
	Min	3970,00	60,00	900,00	980,00	10,00	1750,00	770,00	320,00	14830,00

Taula 4: Model ANCOVA de l'efecte de l'espècie (com a factor categòric) sobre les concentracions de metalls dels músculs de peix, amb la longitud total (TL) com a covariable. Les concentracions dels elements i la TL han estat transformats a \log_{10} . Quan la interacció (TL x Espècie) no és significativa ($p > 0.05$), s'elimina del model i es realitza una ANCOVA estàndard. Els p-valors significatius ($p < 0.05$) es troben marcats en *negrita*.

Font	Hg			Mn			Ni			Pb		
	$R^2_{adj} = 0.511$			$R^2_{adj} = 0.102$			$R^2_{adj} = 0.130$			$R^2_{adj} = 0.121$		
	SS	df	p	SS	df	p	SS	df	p	SS	df	p
TL	0.001	1	<0.001***	0.212	1	0.088	0.166	1	0.079	1.254	1	0.018*
Espècie	1.289	1	<0.001***	0.192	1	0.104	0.198	1	0.056	0.195	1	0.339
TL x Espècie	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Error	1.164	41	-	2.845	41	-	2.097	41	-	8.522	41	-

Font	As			Cd			Cr			Cu		
	$R^2_{adj} = 0.123$			$R^2_{adj} = 0.028$			$R^2_{adj} = 0.056$			$R^2_{adj} = 0.606$		
	SS	df	p	SS	df	p	SS	df	p	SS	df	p
TL	0.289	1	0.012*	0.002	1	0.944	0.006	1	0.042*	0.127	1	0.113
Espècie	0.211	1	0.029*	1.179	1	0.082	0.00002	1	0.891	0.231	1	0.035*
TL x Espècie	0.219	1	0.026	-	-	-	-	-	-	0.288	1	0.019*
Error	1.645	40	-	14.182	41	-	0.053	41	-	1.928	40	-

Font	Se			Sn			Zn		
	$R^2_{adj} = 0.296$			$R^2_{adj} = -0.038$			$R^2_{adj} = 0.612$		
	SS	df	p	SS	df	p	SS	df	p
TL	0.260	1	<0.001**	0.000	1	0.988	0.016	1	0.513
Espècie	0.020	1	0.261	0.046	1	0.519	2.364	1	<0.001***
TL x Espècie	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Error	0.634	41	-	4.436	41	-	1.469	41	-

Taula 5: Coeficients de correlació de Pearson (r) i els seus corresponents p-valors per la relació entre els metalls i la longitud total. Les concentracions dels elements i de la longitud han estat transformades a \log_{10} .

<i>O. labeo</i>	r	p-valor	<i>S. cabrilla</i>	r	p-valor	<i>C. julis</i>	r	p-valor
As	0.023	0.910	As	-0.135	0.692	As	0.179	0.735
Cd	-0.047	0.818	Cd	-0.147	0.667	Cd	0.294	0.572
Cr	0.171	0.404	Cr	0.559	0.074	Cr	-0.140	0.791
Cu	0.328	0.102	Cu	-0.659	0.027	Cu	-0.217	0.679
Hg	0.393	0.047	Hg	0.244	0.471	Hg	0.007	0.989
Mn	0.146	0.477	Mn	0.327	0.327	Mn	-0.716	0.110
Ni	0.269	0.183	Ni	0.280	0.404	Ni	-0.523	0.287
Pb	0.476	0.014	Pb	-0.515	0.105	Pb	0.421	0.406
Se	-0.375	0.059	Se	-0.399	0.224	Se	0.416	0.412
Sn	0.087	0.671	Sn	-0.473	0.142	Sn	0.420	0.407
Zn	-0.445	0.023	Zn	0.054	0.874	Zn	-0.132	0.803

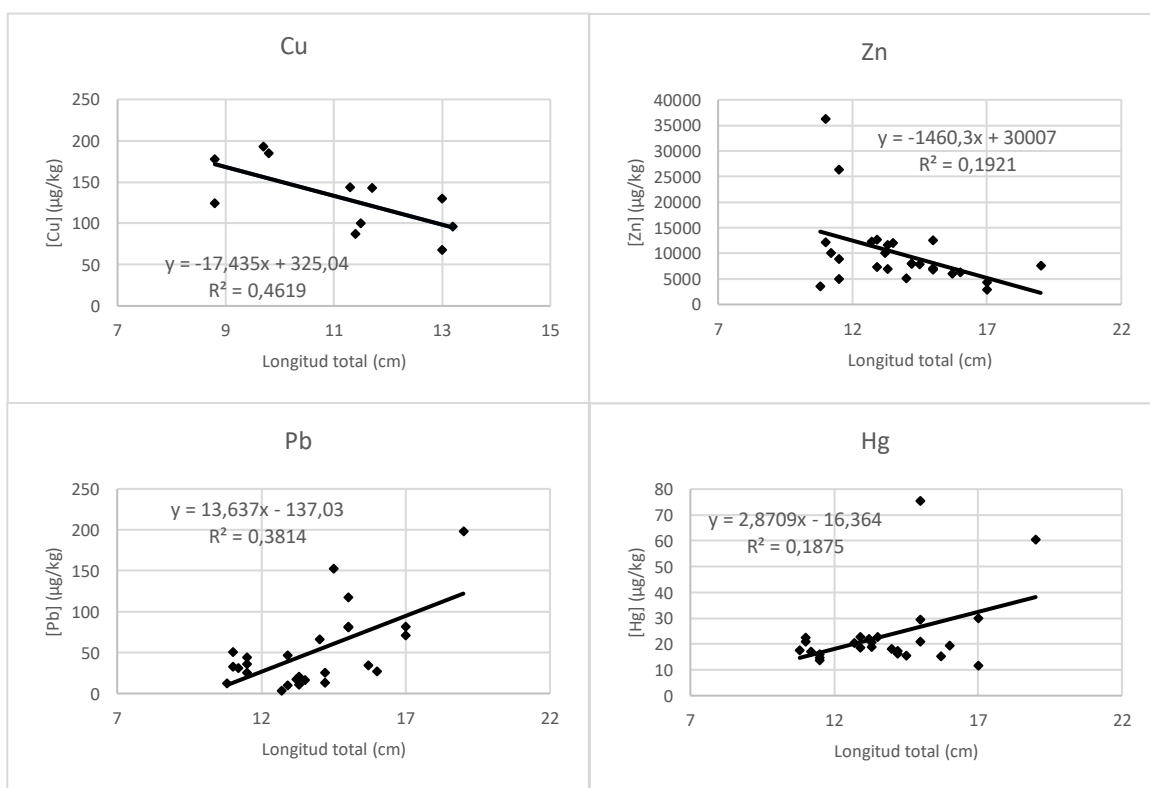


Figura 6: Representació de la relació entre les concentracions dels elements metàl·lics i la longitud total. Les línies de regressió i els valors R^2 també es mostren. Només apareixen els elements, els quals tenen una correlació significativa amb la longitud total (Taula 6).

Alimentació

Dels 27 estòmacs de l'espècie *O. labeo* analitzats, només 2 estaven buits obtenint un valor de l'índex de vacuïtat VI= 7.4. Pel que fa a *S. cabrilla*, s'estudien 12 estòmacs i també només 3 es troben buits, essent un valor VI=25. I finalment, en el cas de *C. julis* s'analitzen 6 estòmacs, amb 1 sense contingut, obtenint un valor de VI=16.67.

Per l'anàlisi de la biodiversitat d'espècies, es calcula la riquesa específica (S) en *O. labeo*, essent S=33. Es troba una gran quantitat de cianobacteris, però només se n'identifiquen dues espècies. També es determina una espècie de foraminífer, diversos dinoflagel·lats i un radiolari. En el cas de les algues, hi ha tant espècies d'algues vermelles, com brunes i verdes, trobant també diatomees tant centrals com pennals. I finalment, es troben artròpodes, nematodes i espícules de porífers.

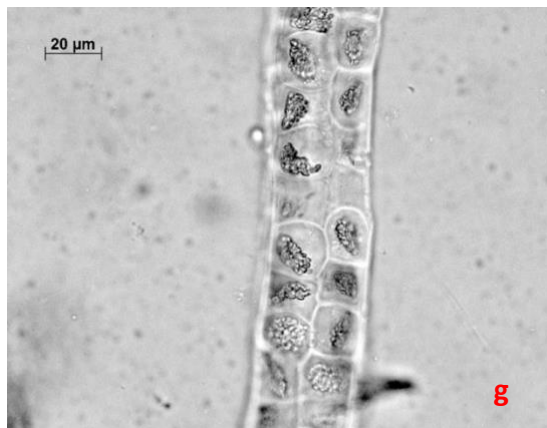
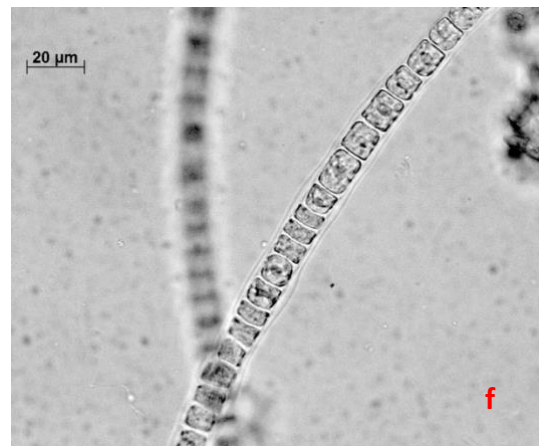
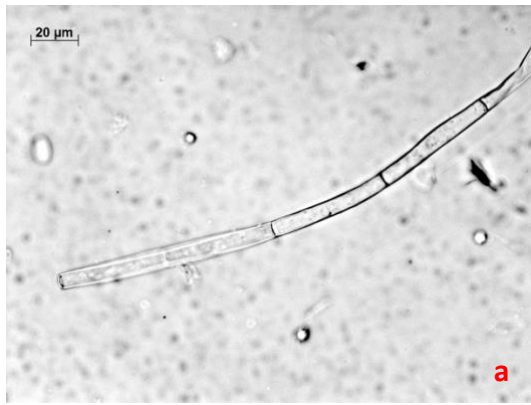
Per les altres dues espècies no té sentit fer l'anàlisi de la riquesa específica degut a que no és significatiu. Pel que fa a *S. cabrilla* només s'identifiquen 6 espècies, les quals 3 són animals invertebrats (artròpodes i mol·luscs), 2 són peixos i una espècie d'alga bruna. En el cas de *C. julis*, en els 6 estòmacs analitzats només s'hi ha trobat ous.

A la [Taula 6](#) es poden observar els resultats de les dietes de les tres espècies estudiades.

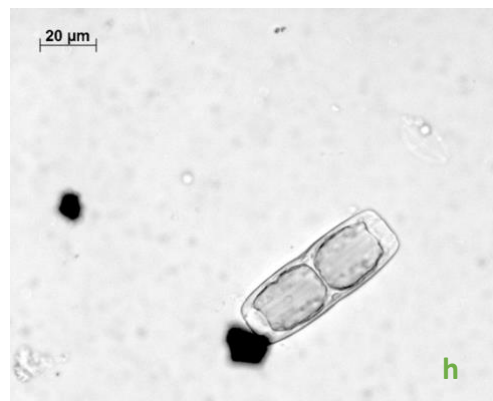
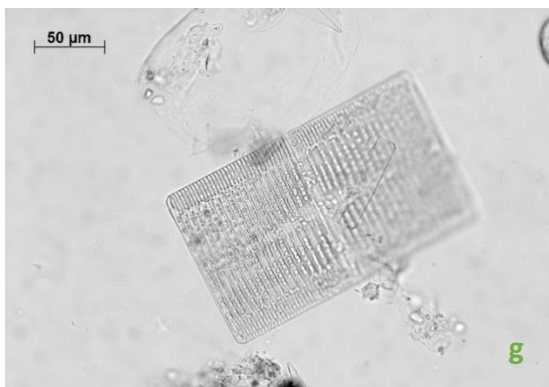
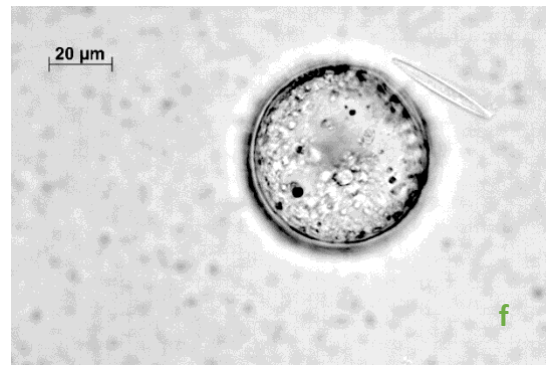
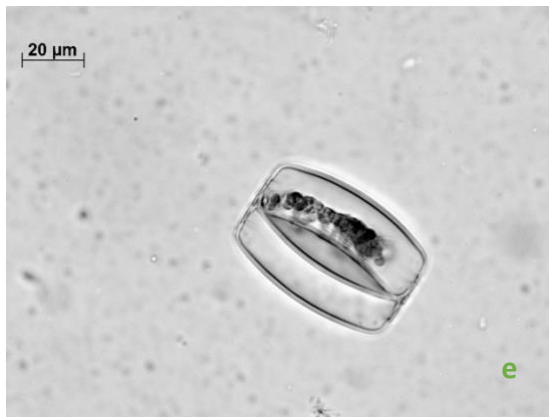
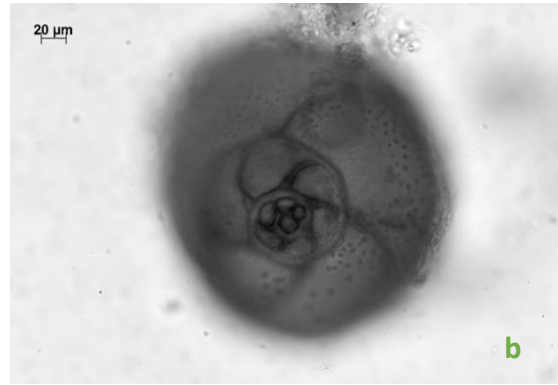
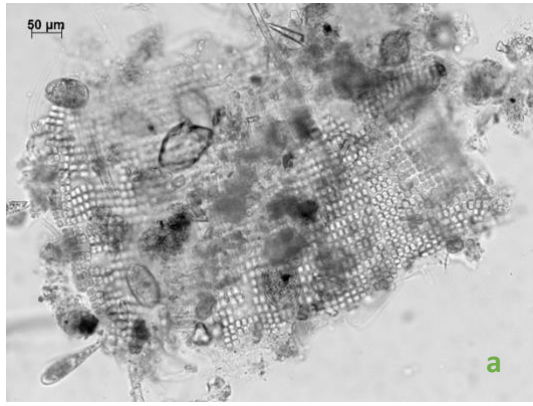
Taula 6: Detall del contingut estomacal per a les espècies: *Oedalechilus labeo*, *Serranus cabrilla* i *Coris julis*. Il·lustració: Làmina I*, Làmina II*, Làmina III*, Làmina IV*.

<i>Oedalechilus labeo</i>					
Fílum	Subfílum	Classe	Ordre	Família	Gènere espècie
Regne Monera					
Cyanobacteria	-	Cyanophyceae	Chroococcales	Spirulinaceae	<i>Spirulina sp.</i>
Cyanobacteria	-	Cyanophyceae	Synechococcales	Merismopediaceae	<i>Merismopedia sp.*</i>
Regne Protista					
Foraminifera	-	Globobalamea	Rotaliida	Rosalinidae	<i>Tretomphalus bulloides *</i>
Miozoa	Dinoflagellata (Infrafilum)	Dinophyceae	Gonyaulacals	Ceratiaceae	<i>Ceratium fusus</i>
Miozoa	Dinoflagellata (Infrafilum)	Dinophyceae	Peridinials	Peridiniaceae	<i>Peridinium sp.</i>
Miozoa	Dinoflagellata (Infrafilum)	Dinophyceae	Thoracosphaerals	Oodiniaceae	<i>Oodinium pouchetii</i>
Miozoa	Dinoflagellata (Infrafilum)	Dinophyceae	Prorocentrals	Prorocentraceae	<i>Prorocentrum sp.*</i>
Radiozoa	No id.	No id.	No id.	No id.	No id. *
Regne Plantae					
Chlorophyta	Chlorophytina	Ulvophyceae	Ulotrichals	Ulotrichaceae	<i>Ulothrix sp.*</i>
Chlorophyta	Chlorophytina	Ulvophyceae	Ulvals	Ulvaceae	<i>Ulva polyclada*</i>
Ochrophyta	Diatomista	Diatomea (Superclasse) Central (Classe)	No id.	No id.	No id. *
Ochrophyta	Diatomista	Diatomea (Superclasse) Pennal (Classe)	No id.	No id.	No id. *
Ochrophyta	Phaeista	Phaeophyceae	Ectocarpals	Acinetosporaceae	<i>Acinetospora crinita*</i>
Ochrophyta	Phaeista	Phaeophyceae	Sphacelarians	Sphacelariaceae	<i>Sphacelaria fusca (propàgul)*</i>
Ochrophyta	Phaeista	Phaeophyceae	Sphacelarians	Sphacelariaceae	<i>Sphacelaria plúmula*</i>
Ochrophyta	Phaeista	Xanthophyceae	Vaucherials	Vaucheriaceae	<i>Vaucheria sp.</i>

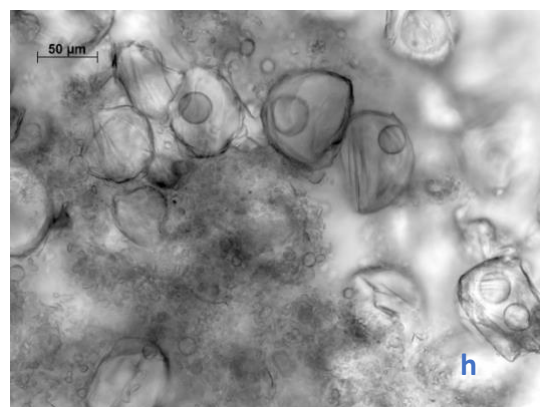
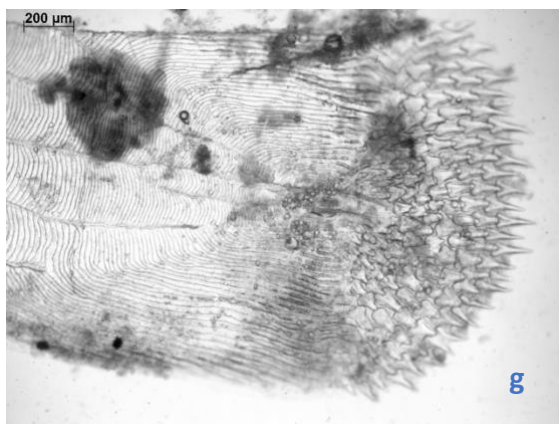
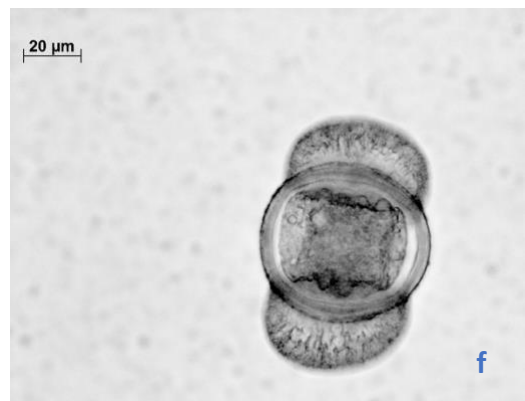
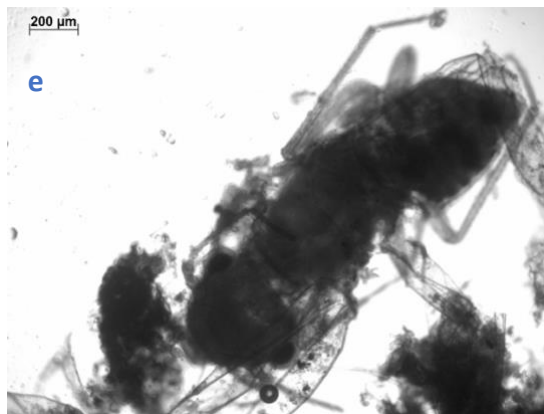
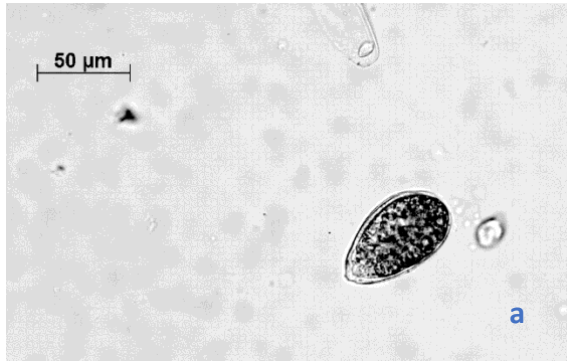
Rhodophyta	Eurhodophytina	Bangiophyceae	Bangials	Bangiaceae	<i>Bangia fuscopurpurea</i> *
Rhodophyta	Eurhodophytina	Florideophyceae	Bonnemaisoniales	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsis armata</i>
Rhodophyta	Eurhodophytina	Florideophyceae	Corallinales	Corallinaceae	<i>Jania rubens</i>
Rhodophyta	Eurhodophytina	Florideophyceae	Ceramiales	Ceramiaceae	<i>Antithamnionella elegans</i> *
Rhodophyta	Eurhodophytina	Florideophyceae	Ceramiales	Ceramiaceae	<i>Ceramium codii</i>
Rhodophyta	Eurhodophytina	Florideophyceae	Ceramiales	Ceramiaceae	<i>Ceramium taylorii</i> *
Rhodophyta	Eurhodophytina	Florideophyceae	Ceramiales	Dasyaceae	<i>Heterosiphonia crispella</i>
Rhodophyta	Eurhodophytina	Florideophyceae	Ceramiales	Rhodomelaceae	<i>Polysiphonia sp.</i>
Rhodophyta	Eurhodophytina	Florideophyceae	Acrochaetiales	No id.	No id.
Rhodophyta	Proteorhodophytina	Compsopogonophyceae	Erythropeltals	Erythrotrichiaceae	<i>Erythrotrichia carnea</i>
Regne Animalia					
Arthropoda	-	Malacostraca	Amphipoda	No id.	No id.
Arthropoda	Crustacea	Branchiopoda	Cladocera	No id.	No id.
Arthropoda	Crustacea	Maxillopoda	Copepoda (subclasse)	No id.	No id. *
Arthropoda	Crustacea	Ostracoda	No id.	No id.	No id. *
Arthropoda	Hexapoda	Insecta	Hymenoptera	Formicidae	No id. *
Nematoda	No id.	No id.	No id.	No id.	No id. *
Porifera	-	Calcarea	Clathrinida	Clathrinidae	<i>Clathrina clathrus</i> * (espícula)
Altres					
Pol·len *, ous *, restes de carn de peix, escates de peix*, grans de sorra, larves d'insecte, mudes d'insecte, altres insectes, aranyes.					
Serranus cabrilla					
Fílum	Subfílum	Classe	Ordre	Família	Gènere espècie
Regne Plantae					
Ochrophyta	Phaeista	Phaeophyceae	Sphacelariales	Sphacelariaceae	<i>Sphacelaria cirrosa</i>
Regne Animalia					
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Decapoda	Lysmatidae	<i>Lysmata seticaudata</i> *
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Decapoda	Porcellanidae	<i>Pisidia sp</i> *
Mollusca	-	Gastropoda	Neogastropoda	Nassariidae	<i>Tritia reticulata</i> *
Chordata	Vertebrata	Actinopterygii	Anguilliformes	Anguillidae	<i>Anguilla anguilla</i> *
Chordata	Vertebrata	Actinopterygii	Perciformes	Tripterygiidae	<i>Tripterygion melanurum</i> *
Altres					
Espines de peix, restes de carn de peix, restes de crustacis decàpodes (gambes i crancs).					



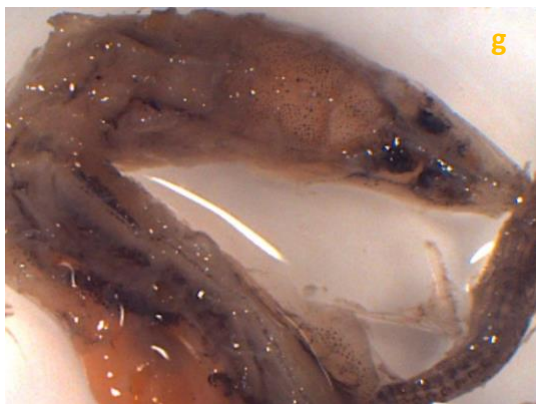
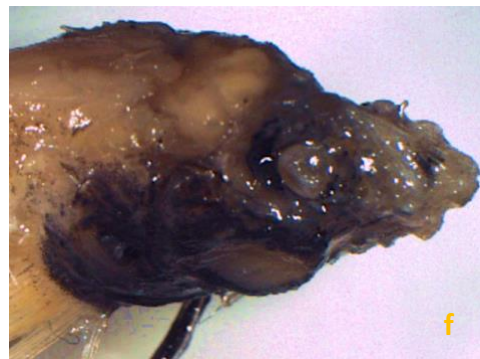
Làmina I: a = *Acinetospora crinita*, b = *Sphacelaria plumula* - propàgul, c = *Sphacelaria fusca* - propàgul, d = *Antithamnionella elegans*, e = *Ceramium taylorii*, f = *Bangia fuscopurpurea*, g = *Ulva polyclada*, h = *Ulothrix* sp.



Làmina II: a = *Merismopedia* sp., b = *Tretomphalus bulloides*, c = Ostracoda, d = Copepoda, e i f =Diatomees centrals, g i h = Diatomees pennals.



Làmina III: a = *Prorocentrum* sp., b = *Clathrina clathrus* - espícula, c = Radiolari, d = Nematode, e = Formiga voladora, f = gra de pol·len, g = Escata de peix, h = Ous.



Làmina IV: a i b = *Lysmata seticaudata*, c = *Pisidia* sp., d = *Tritia reticulata*, e i f = *Tripterygion melanurum*, g i h = *Anguilla anguilla*.

DISCUSSIÓ

Anàlisi de la dieta

En general, la diversitat de grups i espècies de preses trobades en els estòmacs de *Oedalechilus labeo* implica que és una espècie oportunista, que s'alimenta d'organismes que es troben a diferents fondàries, és a dir, organismes planctònics i bentònics. A més, es tracta d'una espècie omnívora, a diferència del serrà o la donzella que es consideren carnívors.

S'observa una clara diferència en la dieta de l'espècie segons la seva mida. Els individus de talla mitjana s'alimenten d'organismes més aviat planctònics, mentre els de talla gran ingereixen preses tant planctòniques com bentòniques. Per exemple, la majoria d'algues i espícules de porífer, les quals són exclusives del bentos, es troben únicament en estòmacs d'individus grans. En canvi, les formes voladores de formigues només es troben en individus petits; quan es produeixen els vols nupcials, sovint el vent transporta nombrosos individus cap al mar i són presa fàcil d'espècies oportunistes com aquesta; en canvi, a mesura que van creixent, es poden trobar a més fondària, adoptant una alimentació més bentònica però conservant també l'activitat de filtració, que es demostra per la presència de dinoflagel·lats i diatomees, per exemple.

Pel que fa a l'alimentació de *S. cabrilla* es pot fer una comparació dels nostres resultats (Taula 6) amb la base de dades que es té com a referència (Taula 1). S'observen varies coincidències, com l'espècie de gamba *Lysemata seticaudata* i el peix *Anguilla anguilla*. A més, en els dos estudis els crustacis són les preses predominants del serrà. També ocasionalment ingereixen algues brunes.

El valor de l'índex de vacuïtat (VI) és baix en les tres espècies, és a dir, es troben molt pocs estòmacs buits en els individus analitzats. Les captures s'han realitzat majoritàriament al mes d'agost, i algunes al mes de juny, època de posta de les espècies, ja que l'època de reproducció de *S. cabrilla* és entre abril i juliol, de *C. julis* entre maig i agost, i de *O. labeo* entre l'estiu i la tardor (Matić-Skoko et al., 2011). Es pot dir que en aquesta època les espècies estan molt actives i per tant, és necessària una bona alimentació.

Relació dels nivells de metalls pesants amb la dieta

Els estudis realitzats al llarg de la costa Nord de Catalunya constataren un enriquiment de metalls entre baix i moderat en els sediments (Pinedo et al., 2014; Palanques et al., 2016) i en musclos engabiats (Benedito et al., 2011). En conseqüència es podrien esperar nivells baixos dels elements en les tres espècies de peix d'aquesta àrea. Tot i això, també s'espera trobar diferents concentracions de metalls entre aquestes espècies, degut a la diferent dieta que presenten.

El principal compost arsènic en animals marins és l'arsenobetaina (AB), i és la forma que predomina en crustacis, com crancs, gambes, amfípodes i krill, entre d'altres. El ió tetrametil arsonium (TMA) és també comú trobar-lo en animals marins, particularment en mol·luscs bivalves (Francesconi et al., 1998). De les 3 espècies, les concentracions d'As més elevades s'han trobat a *Coris julis*, la qual segons Quignard et al. (1986) inclou en la seva dieta tant crustacis com bivalves. L'As també és un element que té concentracions més elevades en el sediment (Francesconi, op.cit.), fet que corrobora IRTA, ja que l'organisme d'alimentació bentònica (*Paracentrotus lividus*) quasi triplica la concentració d'As respecte l'organisme filtrador (*Donax trunculus*). També Storelli et al. (2005) diu que generalment la concentració d'As és més elevada en organismes que s'alimenten al bentos. No és sorprenent que els valors d'arsènic puguin arribar a 20.000 $\mu\text{g kg}^{-1}$ de pes fresc en el múscul d'alguns peixos. Però a diferència del comportament del mercuri, no s'observa cap bioacumulació per As, perquè les espècies de nivells tròfics inferiors normalment acumulen les càrregues més altes (Maher i Butler, 1988).

Segons Heath (1987); Roesijadi i Robinson (1994), les elevades concentracions de plom que van trobar en dues espècies de peix (*A. hepsetus* 41 $\mu\text{g g}^{-1}$; *Sardina pilchardus* 39 $\mu\text{g g}^{-1}$) es poden relacionar amb la seva alimentació. *S. pilchardus* és una espècie filtradora que obté les partícules de la superfície de l'aigua, mentre que *A. hepsetus* és un organisme carnívor que s'alimenta particularment de mol·luscs i crustacis, els quals acumulen alts nivells de plom, entre d'altres metalls, en el seu cos. En el nostre estudi, el Pb té concentracions més altes en l'espècie *O. labeo*, la qual captura individus tant en la columna d'aigua com en el bentos. Per tant, pot obtenir aquest metall mitjançant les preses que consumeix. A més, en aquesta espècie s'observa una correlació positiva de l'element amb la longitud total (TL), és a dir, a mesura que creix l'individu, aquest té una major concentració de Pb. Això es pot explicar per el canvi de dieta que pateix l'espècie. Quan aquesta creix, a més d'ingerir preses planctòniques comença a alimentar-se d'organismes bentònics, podent incorporar més quantitat de Pb en el múscul. Aquesta diferència de concentracions de Pb entre individus de diferent mida queda corroborada per Vinodhini et al. (2008), el qual troba una correlació significativa de plom i cadmi en els teixits de l'espècie *Cyprinus carpio*. Per altra banda, les altres dues espècies estudiades només poden incorporar el metall mitjançant la dieta bentònica.

Respecte els metalls Zn, Mn, Cu i Ni, les dades de l'IRTA mostren concentracions més elevades en l'espècie de garota *Paracentrotus lividus*, la qual té una alimentació bentònica i per això es compara amb les nostres espècies *S. cabrilla* i *C. julis*. Però segons els nostres resultats, les concentracions d'aquests metalls tenen valors més alts en l'espècie *O. labeo*, organisme filtrador que està representat a les dades de l'IRTA més aviat per *Donax trunculus*. Aquesta contradicció pot explicar-se per l'àrea on s'ha realitzat l'estudi. Les dades que corresponen a *Paracentrotus lividus* provenen de Sant Feliu de Guíxols, les de *Donax trunculus* provenen de l'àrea de Cadaqués fins l'Escala i les de *O. labeo*, *S. cabrilla* i *C. julis* de Palamós. Es pot pensar que Palamós i Cadaqués – Escala són dues zones massa llunyanes com per poder fer una comparació precisa de la concentració d'aquests metalls. En canvi, Palamós i Sant Feliu de Guíxols, al ser llocs més propers, poden tenir concentracions més similars de metalls en les seves aigües.

Segons Merciai et al. (2018), el valor MPI analitzat a les aigües de Roses (zona propera a Cadaqués) era de 110.9 $\mu\text{g kg}^{-1}$ i a Palamós de 105.5 $\mu\text{g kg}^{-1}$ de pes fresc. Tot i no ser valors molt

diferents, les concentracions de certs metalls sí diferien entre les dues zones. Per exemple, es trobaven valors de Cu molt més elevats a la zona de Roses, els quals podien tenir un origen fluvial, sent transportats pels rius Muga i Fluvià que desemboquen al Golf de Roses. Una altra hipòtesis que plantejaven era que podien provenir de desprendiments de pintures anti-fouling de vaixells, que també contenen elevats nivells de Zn. A més, just fora del Port de Roses s'hi troben gàbies de llobarro que també es tracten amb pintures anti-incrustants. En l'estudi es consideren els deltes de dos grans conques fluvials en les que es desenvolupen intenses activitats industrials, urbanes i agrícoles; el Roine i l'Ebre. L'entrada fluvial de metalls en el Golf de Lleó va ser documentada, essent el riu Roine i els seus afluents la principal font (Radakovitch et al., 2008; Ollivier et al., 2011), afectant a la zona de Roses. En canvi, es van trobar concentracions baixes de metalls en el riu Ebre (Ferreé-Huguet et al., 2009; Vilavert et al., 2015). A més, el corrent del seu delta flueix cap a la zona sud (Millot i Taupier-Letage, 2005), evitant que s'afecti la zona d'estudi.

Els nivells de zinc en el teixit muscular del peix estan influenciats per diversos processos químics i fisiològics (Merciai et al., 2014). Segons Ayas et al. (2018) la concentració de Zn disminueix a mesura que la talla dels individus augmenta, tal i com també es mostra en els nostres resultats, explicat per una correlació negativa entre l'element i la longitud total (TL). Això pot ser degut al procés metabòlic de detoxificació, és a dir, a mesura que creixen els individus van eliminant més fàcilment el zinc del seu organisme i per tant, individus amb més edat mostren menys concentracions de zinc.

El manganès és un metall que normalment es considera menys tòxic que altres al medi aquàtic, ja que es troba principalment dissolt i tendeix a la sedimentació abans d'arribar a nivells tòxics a l'aigua (Wittmann i Förstner, 1997; Moore i Ramamoorthy, 1984). No obstant això, el Mn encara pot ser perjudicial per als organismes que viuen al fons, vivint en contacte directe amb els sediments (Sanders et al., 1998). Les concentracions de manganès que es troben en els teixits de peixos tant d'aigua dolça com marina tendeixen a estar entre < 800 i $7.600 \mu\text{g kg}^{-1}$ de pes fresc (Greichus et al., 1977, 1978; Capelli et al., 1987; Sindayigaya et al., 1994; Heiny i Tate, 1997). En el nostre cas, les concentracions obtingudes per aquest metall són inferiors a aquests valors ($442.38 \mu\text{g kg}^{-1}$ per *O. labeo* M, $514.49 \mu\text{g kg}^{-1}$ per *O. labeo* L, $248.36 \mu\text{g kg}^{-1}$ per *S. cabrilla* i $250.48 \mu\text{g kg}^{-1}$ per *C. julis*); per tant es pot afirmar que els nivells de Mn es troben dins dels intervals habituals.

Pel que fa al coure, tot i que les seves concentracions són més elevades en la llissa morruda, en el cas del serrà es troba una correlació negativa entre Cu i la longitud total (TL). Es podria explicar per un canvi d'hàbitat, però segons Alós et al. (2011), aquesta espècie és territorial amb una capacitat de dispersió limitada. També podria explicar-se per un canvi en l'alimentació, però no s'ha pogut comprovar per tenir pocs exemplars de l'espècie i de talles força similars. Efectivament, cal destacar que en l'estudi no s'ha apreciat una gran diferència en la mida dels diferents individus analitzats, però tot i això sí hi ha un gradient de talles que va des de 8.8 a 18.1 cm. Aquesta petita tendència que té l'espècie en reduir la concentració de Cu a mesura que augmenta de talla, es pot explicar pels mecanismes següents: segons els autors Shul'man (1974); Weatherly i Gill (1987) i Braune et al., (1999), el teixit pot créixer més ràpidament que la ingesta de Cu provocant que hi hagi una dilució de la seva concentració, o simplement es trobi un major

contingut de greix en el múscul dels individus més joves. [Fagerström \(1977\)](#) i [Newman i Doubet \(1989\)](#) proposen que els peixos joves al tenir taxes metabòliques més altes, tenen una major captació d'aliments contaminants.

El Ni és un element omnipresent i abundant en l'escorça terrestre, i les seves concentracions naturals en sòls i aigües no es consideren perills biològics, tot i que una concentració més alta pot ser tòxica per l'home i la biota ([USEPA, 1975](#)). Segons les dades de [ATSDR \(2005\)](#) el níquel no sembla concentrar-se en peixos, però hi ha estudis que demostren que algunes plantes el poden incorporar i acumular. Això també seria una opció per explicar que es trobin concentracions de Ni més elevades en la llissa morruda, espècie que s'alimenta en gran mesura d'algues bentòniques.

Els elements Cd, Sn i Cr tenen concentracions molt similars en les tres espècies de peix estudiades, arribant a la conclusió que la dieta no n'és el vector. Tal i com es menciona en la introducció, els metalls poden incorporar-se al peix pel tracte digestiu, però també per les brànquies o la superfície del cos. El Cd és un element que es pot incorporar per la pell del peix en proporció constant al nivell que té en l'aigua ([Wells et al., 2000](#)).

El Cr (III) té un paper biològic essencial com a cofactor per l'acció de la insulina, mentre que el Cr hexavalent (VI), més soluble en aigua, és altament tòxic i deriva majoritàriament d'activitats industrials ([Calamari i Solbé, 1994](#); [Velma et al., 2009](#)). Quan els peixos estan exposats a Cr (VI) dissolt en aigua, les brànquies són la principal via per a la seva captació, i s'hi acumula fàcilment permetent que penetri i arribi a altres teixits ([Nriagu i Nieboer, 1988](#)). Tot i això, segons [Calamari i Solbé \(op.cit.\)](#) i [Velma et al. \(op.cit.\)](#), el múscul no és un dels teixits on l'acumulació de Cr sigui més freqüent, en condicions de baixa o moderada contaminació.

[ATSDR \(2005\)](#) informa que l'element Sn es pot trobar de forma inorgànica en els sediments del fons marí o de forma orgànica en partícules de l'aigua. El compost de Sn orgànic es pot acumular a la capa superficial de l'aigua afectant als organismes que hi viuen, com per exemple peixos planctòfags. No obstant això, els valors obtinguts de Sn en els nostres anàlisis són molt baixos, agafant com a referència la "Legislación Brasileña de Metales Pesados, 2019" que estableix com a límit 250 mg kg⁻¹. No s'ha utilitzat la legislació espanyola degut a que no hi apareixen els límits legals de Sn. Es creu que la captació de Sn per part del peix es pot realitzar mitjançant la superfície del cos o per les brànquies.

Bioacumulació del mercuri

El mercuri normalment es troba en petites concentracions a l'aigua de mar. Tot i això, pot ser absorbit com a metilmercuri (MeHg) per les algues, afectant als organismes marins herbívors que se n'alimenten, com en el cas de *Oedalechilus labeo*. Els peixos absorbeixen completament el metilmercuri, i el poden eliminar en petites quantitats ([Croteau et al., 2005](#)). És un compost no soluble, provocant que no pugui ser excretat totalment per l'organisme receptor, i donant lloc a la seva acumulació en el teixit muscular ([Cocoros et al., 1973](#)). Els nostres resultats mostren que hi ha bioacumulació per Hg en l'espècie *O. labeo*, però es troben concentracions de

l'element més elevades en *S. cabrilla* i *C. julis*. Es pot pensar que hi ha una relació entre la bioacumulació i l'edat dels individus. La longevitat de *O. labeo* és d'uns 10 anys (Matić-Skoko et al., 2011) i relacionant talla i edat, es sap que els individus analitzats tenen entre 4.3 i 7.6 anys aproximadament. Es pot fer el mateix pel serrà i la donzella, obtenint edats entre 1.1 i 2.3 anys en el primer i entre 2.8 i 3.3 anys en la segona (Tserpes et al., 2001; Hinton, 1962). De les últimes dues espècies s'han analitzat, per tant, individus més joves amb una concentració major de mercuri en els seus teixits. La causa n'és la seva alimentació bentònica, ja que el mercuri es troba en majors concentracions al sediment marí (Torres et al., 2015), però el poc interval d'edat de la mostra no permet que es pugui detectar-ne la bioacumulació. En canvi, en l'espècie *O. labeo* es troba una diferència d'edats més marcada, relacionada també amb la diferència de talles que mostren els individus de l'espècie (*O. labeo* L / *O. labeo* M). Per això, en aquesta espècie es troba una correlació positiva entre Hg i la longitud total del peix (TL). La relació entre la bioacumulació de Hg i l'edat es corrobora pels autors Boening (2000); Amlund et al. (2007); Magalhães et al. (2007), els quals diuen que aquest element acostuma a trobar-se en teixits rics en proteïna com serien els peixos de més edat.

Tot i la bioacumulació de mercuri que pateixen algunes espècies de peix, aquestes també poden ser riques en seleni, que segons Torres et al. (2015) és un element necessari per la funcionalitat del selenoenzim, el qual ofereix alguna protecció davant l'exposició de mercuri. De fet, encara que la interacció entre el seleni i el mercuri sigui complexa, es sap que quan la relació molar Se:Hg és major a 1, hi ha una protecció contra els efectes adversos que comporta el mercuri, i es suggereix que aquest *ratio* és el valor clau per l'avaluació del risc. En el nostre cas, tots els individus presenten una proporció Se:Hg > 1, que disminueix la toxicitat del mercuri en les tres espècies.

Efecte de la contaminació sobre l'espècie

Juntament amb la mida dels peixos, l'altre factor que explica la major part de la variabilitat observada en les concentracions dels metalls és l'espècie. Gràcies a l'anàlisi d'ANCOVA es pot saber que els elements As i Cu són significatius, indicant que les pendents de les relacions entre les concentracions de metalls i la mida dels peixos no són homogènies entre les espècies, suggerint diferents taxes de bioconcentració a cada espècie. L'índex de pol·lució per metalls pesants es mostra de més elevat a menys en les diferents espècies: *O. labeo* (L) > *O. labeo* (M) > *C. julis* > *S. cabrilla*. Tot i tenir una hipòtesi inicial que es basava en trobar més concentració de metalls en espècies estrictament bentòniques, la superior concentració de metalls que té l'espècie *O. labeo*, pot ser deguda en conjunt a la seva omnivoria. Les algues són una de les principals fonts de metalls pesants per aquesta espècie. Segons un estudi realitzat a la península de Cap de Creus a l'any 2002-2003, es van trobar concentracions de Pb i Hg molt elevades en el sediment del fons marí (Pinedo et al., 2014). A més, l'anàlisi del contingut estomacal va revelar que els peixos examinats s'alimentaven d'algues (Pérès i Picard, 1964; Ros et al., 1985; Rodríguez-Prieto et al., 2013).

En definitiva, els metalls pesants són cada vegada més un problema pel nostre medi ambient, degut a que estan en augment com a conseqüència d'activitats humanes. Les espècies com la

llissa morruda, el serrà i la donzella són poc apreciades i només les dues últimes són consumides esporàdicament, però tot i això, cal tenir un control dels metalls que incorporen i saber de quina manera ho fan. Malgrat les baixes concentracions de Hg trobades en aquestes espècies, el mercuri té una important capacitat neurotòxica (UNEP, 2013), i la seva concentració s'ha d'avaluar acuradament en espècies de peixos comestibles de la Mediterrània, sobretot en zones de la costa altament poblades i industrialitzades (Durrieu de Madron X et al., 2011).

CONCLUSIONS

Oedalechilus labeo is an omnivorous species: it feeds on animals prey and algae. A change of diet is observed as it grows; when it has a small/medium size, it feeds on planktonic organisms and as it increases in length adds benthic organisms to its diet. It is also considered an opportunistic species because it adapts its feeding to the available resources. It's believed that the reason why it incorporates more metals than the other species studied is because it moves both on the surface of the water and on the benthos, being able to have a greater capture of the elements.

Unlike this species, *Serranus cabrilla* and *Coris julis* are carnivorous, and exclusively benthic, therefore higher Hg concentrations are found. The high concentration of As that stands out in *Coris julis* is also related to the benthic diet it presents.

The levels of metals Cd, Cr and Sn are similar among the three species studied. It is concluded that the incorporation of these three metals is not by the digestive tract but may be by the surface of the body or by the gills.

Regarding mercury, it is shown that it's the only element bioaccumulative in the muscle and is related to the age of individuals. The individuals of the species *O. labeo* of more age, and therefore with more length, have more amount of accumulated mercury.

Finally, selenium has a protective role against the negative effects that mercury can cause, and exhibits quite high concentrations in the three species, thus reducing the toxicity of Hg.

ÈTICA

Les espècies utilitzades per aquest estudi són individus que es van capturar accidentalment durant la realització d'un mostreig de sargs per a un projecte de recerca del Departament de Ciències Ambientals de la UdG. S'ha intentat treure el màxim d'informació possible d'aquestes captures no previstes ni desitjades.

El mètode de mostreig que es va dur a terme va ser amb canya de pescar, seguint les recomanacions del codi de bones pràctiques de la pesca recreativa, per tal d'evitar el patiment dels individus (Font i Lloret, 2015).

Alcohol- residus

Els compostos químics utilitzats durant l'estudi experimental han estat l'etanol 70^o per conservar les mostres d'alimentació animal i el formol per a la conservació de les algues. També s'han generat residus orgànics, que fan referència als estòmacs, vísceres i continguts estomacals. Un cop analitzades les mostres, els productes químics i residus orgànics s'han separat selectivament i s'han abocat en contenidors per a la seva recollida. A més, s'ha intentat reduir la utilització de material d'un sol ús o material de rebuig, emprant eines que puguin ser reutilitzades.

Tota la informació extreta de fonts externes està perfectament citada al text i referenciada al final d'aquest treball.

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- Alós, J., March, D., Palmer, M., Grau, A., and Morales-Nin, B. (2011). Spatial and temporal patterns in *Serranus cabrilla* habitat use in the NW Mediterranean revealed by acoustic telemetry. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 427, 173-186. Retrieved from <https://doi.org/10.3354/meps09042>.
- Amlund, H., Lundebye, A. K. and Berntssen, M. H. (2007). Accumulation and elimination of methylmercury in Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) following dietary exposure. *Aquat. Toxicol.* 83 (4), 323-330. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2007.05.008>.
- ATSDR: Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (2005). Resumen de salud pública, Níquel.
- Ayas, D., Kosker Riza, A., Agilkaya Sen, G., Bakan, M., and Yaglioglu, D. (2018). The effects of age and individual size on metal levels of *Serranus cabrilla* (Linnaeus, 1758) from the Yesilovacik Bay (Northeastern Mediterranean, Turkey). *Natur. Engin. Sci.*, 3, 248-254. Retrieved from <https://doi.org/10.28978/nesciences.468652>.
- Ben-Tuvia, A. (1986). Mugilidae. P. J. P. Whitehead, M. L. Bauchot, J. C. Hureau, J. Nielsen and E. Tortonese (eds.). *Fishes of the North-eastern Atlantic and Mediterranean* (3, pp. 1197-1204). UNESCO: Paris.
- Benedicto, J., Andral, B., Martínez-Gómez, C., Guitart, C., Deudero, S., Cento, A., Scarpato, A., Caixach, J., Benbrahim, S., Chouba, L., Boulahdidi, M. and Galgani, F. (2011). A large scale survey of trace metal levels in coastal waters of the Western Mediterranean basin using caged mussels (*Mytilus galloprovincialis*). *J. Environ. Monit.* 13 (5), 1495-1505. Retrieved from <https://doi.org/10.1039/C0EM00725K>.
- Berge, A. J., and Brevik, M. E. (1996). Uptake of metals and persistent organochlorines in crabs (*Cancer pagurus*) and flounder (*Platichthys flesus*) from contaminated sediments: Mesocosm and field experiments. *Mar. Poll. Bull.* 33 (1-6), 46-55. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(96\)00144-0](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(96)00144-0).
- Bernhard M. and Andreae M. O. (1984). Transport of trace metals in marine food chains. J. O., Nriagu D. Konferenzen and B. Heidelberg (eds.) *Changing Metal Cycles and Human Health* (pp. 143-167). New York.
- Bianchi, G., Carpenter K. E., Roux J. P., Molloy F. J., Boyer D. and Boyer H. J. (1999). FAO species identification guide for fishery purposes: Field guide to the living marine resources of Namibia (pp. 265). FAO: Rome.
- Boening, D. W. (2000). Ecological effects, transport, and fate of mercury: a general review. *Chem.* 40 (12), 1335-1351. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(99\)00283-0](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(99)00283-0).
- Braune, B., Muir, D., De March, B., Gamberg, M., Poole, K. and Currie, R. (1999). Spatial and temporal trends of contaminants in Canadian Arctic freshwater and terrestrial ecosystems: a review. *Sci. Total Environ.* 230, 145-207. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00038-8](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00038-8).
- Bryan, G. W. (1971). The effects of heavy metals (other than mercury) on marine and estuarine organisms. *Roy. Soc.* 177 (1048). Retrieved from <https://doi.org/10.1098/rspb.1971.0037>.
- Calamari, D. and Solbé, J.F. (1994). Report on chromium and freshwater fish. In: *Water Quality for Freshwater Fish*. 1, 1-30. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.etap.2008.02.010>.
- Capelli R., Minganti V. and Bernhard M. (1987) Total mercuri, organic mercuri, copper, manganese, selenium and zinc in Sarda from the Gulf of Genoa. *Sci. Tot. Environ.* 63, 83-99. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(87\)90038-6](https://doi.org/10.1016/0048-9697(87)90038-6).
- Castro-González, M. I., and Méndez-Armenta, M. (2008). Heavy metals: implications associated to fish consumption. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 26 (3), 263-271. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.etap.2008.06.001>.
- Cocoros, G., Cahn H. P. and Siler, W. (1973). Mercury concentrations in fish, plankton and water from three Western Atlantic estuaries. *J. F. Bio.* 5 (6). Retrieved from <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1973.tb04500.x>.
- Coudre, C. (2012). *Les Muges ou Mulets*. Retrieved [2019, 3, March] from <http://www.cotebleue.org/0850.html>.

- Crosetti, D., and Blauer, S. (2016). *Biology, Ecology and Culture of Grey Mulletts (Mugilidae)*. CRC Press.
- Croteau, M., Luoma S. N. and Stewart A. R. (2005). Trophic transfer of metals along freshwater food webs: Evidence of cadmium biomagnification in nature. *Limnol. Oceanogr.* 50 (5), 1511-1519. Retrieved from <https://doi.org/10.4319/lo.2005.50.5.1511>.
- Czarnecki J. M. (1985). Accumulation of lead in fish from Missouri streams impacted by lead mining. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 34 (5), 736-745. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/BF01609801>.
- Dallinger, R., Prosi, F., Segner, H., and Back, H. (1987). Contaminated food and uptake of heavy metals by fish: a review and a proposal for further research. *Oeco.* 73 (1), 91-98. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/BF00376982>.
- Delisle C. E., Hummel B., Wheeland K. G. (1975). Uptake of heavy metals from sediment by fish. In: TC Hutchinson: International conference on heavy metals in the environment (pp. 821). Toronto, Ontario.
- Durrieu de Madron X., Guieu C. and Sempéré R. (2011). Marine ecosystems' responses to climatic and anthropogenic forcings in the Mediterranean. *Prog. Oceanogr.* 91 (2), 97-166. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2011.02.003>.
- EC, 2006. Commission Regulation (EC) no. 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in food stuffs. *Off. J. Eur. Union* L364, 0005-0024.
- Edgren M. and Notter M. (1980). Cadmium uptake by fingerlings of perch (*Perca fluviatilis*) studied by Cd-115m at two different temperatures. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 24 (5), 647-651. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/BF01608168>.
- EFSA, European food safety agency (2012). Mercury in food-EFSA updates advice on risks for public Health. Retrieved from <https://www.efsa.europa.eu/en/press/news/121220>.
- Fagerström, T. (1977). Body weight, metabolic rate and trace substance turnover in animals. *Oeco.* 29, 99-104. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/BF00345790>.
- Ferreé-Huguet, N., Nadal, M., Schuhmacher, M. and Domingo, J. L. (2009). Human health risk assessment for environmental exposure to metals in the Catalan stretch of the Ebro River, Spain. *Hum. Ecol. Risk Assess.* 15 (3), 604-623. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/10807030902892604>.
- Font, T. and Lloret, J. (2015). Codi de bones pràctiques per a una pesca recreativa sostenible. Retrieved from <https://docplayer.es/72243510-Codi-de-bones-practiques-per-a-una-pesca-recreativa-sostenible-al-parc-natural-de-cap-de.html>.
- Francesconi A., K., and Edmonds S., J. (1998). Arsenic Species in Marine Samples. *Croat. Chem. Act.* 71 (2), 343-359. Retrieved from <https://hrcak.srce.hr/132351>.
- Greichus Y. A., Greichus A., Amman B. A. and Hopcraft J. (1978). Insecticides, polychlorinated biphenyls and metals in African lake ecosystems. II. Lake Mcllwaine, Rhodesia. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 19 (4), 454-461. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/BF01685824>.
- Greichus Y. A., Greichus A., Amman B. A., Call D. J., Hamman D. C. D. and Potts R. M. (1977). Insecticides, polychlorinated biphenyls and metals in African lake ecosystems. I: dHartbeenspoort Dam, Transvaal and Voëlvelei Dam, Cape Province, Republic of South Africa. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 6 (2-3), 371-383. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/BF02097778>.
- Guiry, M. D. and Guiry, G. M. (2019). *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Retrieved from <http://www.algaebase.org; searched on 08 May 2019>.
- Heath, A. G. (1987). *Water Pollution and Fish Physiology*. CRC press, Florida, USA.
- Heemstra, P. C. and Randall J.E. (1986). Serranidae. M. M. Smith and P. C. Heemstra (eds.). *Smiths' sea fishes* (pp. 509-537). Springer-Verlag, Berlin.
- Heiny J. S. and Tate C. M. (1997). Concentration, Distribution, and comparison of selected trace elements in bed sediment and fish tissue in the South Platte River Basin, USA, 1992-1993. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 32 (3), 246-259. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s002449900182>.

- Hinton (1962). *Horned shark, gar, mormyrid, characin, carp, armored catfish, arowana, upside down catfish*. Ref. no. 72479.
- Loring D. H. and Prosi F. (1986). Cadmium and lead cycling between water, sediment, and biota in an artificially contaminated mud flat on Borkum (FRG). *Wat. Sci. Tech.* 18 (4), 131-139. Retrieved from <https://doi.org/10.2166/wst.1986.0188>.
- Magalhães, M. C., Costa, V., Menezes, G. M., Pinho, M. R., Santos, R. S. and Monteiro, L. R. (2007). Intra- and inter-specific variability in total and methylmercury bioaccumulation by eight marine fish species from the Azores. *Mar. Pollut. Bull.* 54 (10), 1654-1662. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2007.07.006>.
- Maher, W. and Butler, E. (1988). Arsenic in the marine environment. *Appl. Organomet. Chem.* 2 (3), 191-214. Retrieved from <https://doi.org/10.1002/aoc.590020302>.
- Matić-Skoko, S., Ferri, J., Kraljević, M. and Pallaoro, A. (2011). Age estimation and specific growth pattern of boxlip mullet, *Oedalechilus labeo* (Cuvier, 1829) (Osteichthyes, Mugilidae), in the eastern Adriatic Sea. 28 (2), 182-188. Retrieved from <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2011.01907.x>.
- Merciai, R., Guasch, H., Kumar, A., Sabater, S. and García-Berthou, E. (2014). Trace metal concentration and fish size: Variation among fish species in a Mediterranean river. *Eco. Environ. Saf.* 107, 154-161. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.05.006>.
- Merciai, R., Rodríguez-Prieto, C., Torres, J. and Casadevall, M. (2018). Bioaccumulation of mercury and other trace elements in bottom-dwelling omnivorous fishes: The case of *Diplodus sargus* (L.) (Osteichthyes: Sparidae). *Mar. Poll. Bull.*, 136, 10-21. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.08.061>.
- Millot, C. and Taupier-Letage, I. (2005). Circulation in the Mediterranean Sea. Saliot, A. (ed). *The Mediterranean Sea. Handbook of Environmental Chemistry* (5, pp.29-66). Springer-Verlag, Berlin.
- Moore, J. W. and Ramamoorthy, S. (1984). *Heavy Metals in Natural Waters: Applied Monitoring and Impact Assessment*. Springer-Verlag, New York.
- Muus, B. J. and Nielsen J.G. (1999). *Sea fish: Scandinavian Fishing Year Book*. Hedehusene, Denmark.
- Newman, M. C. and Doubet, D. K. (1989). Size-dependence of mercury (II) accumulation kinetics in the mosquito fish, *Gambusia affinis* (Baird and Girard). *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 18, 819-825. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/BF01160295>.
- Ney J. J. and Van Hassel J. H. (1983). Sources of variability in accumulation of heavy metals by fishes in a roadside stream. *Arch Environ Contam Toxicol.* 12 (6), 701-706. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/BF01060754>.
- Nriagu, J. O. and Nieboer, E. (1988). *Chromium in the Natural and Human Environments*. Wiley: New York.
- Ollivier, P., Radakovitch, O. and Hamelin, B. (2011). Major and trace element partition and fluxes in the Rhône River. *Chem. Geol.* 285 (1-4), 15-31. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2011.02.011>.
- Palanques, A., Caixach, J., Belzunces, M. and Bartolomé, A. (2016). Evolution of chemical pollution in catalan coastal sediments: Experiences from Ground, Coastal and Transitional Water Quality Monitoring (pp. 271-300), Springer, Cham. Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-94-007-698-3_74.
- Pallaoro, A., Šantić, M. and Jardas, I. (2003). Feeding habits of the saddled bream, *Oblada melanura* (Sparidae), in the Adriatic Sea. *Cyb.* 27 (4), 261-268. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2s2.010644291094&partnerID=40&md5=2afa06f76a57a2fdfaf029b11857ba58>.
- Péres, J. M., Picard, J. (1964). Nouveau manuel de bionomie benthique de la Mer Méditerranée. In: Recueil de la Station Marine d'Endoume. 31, 1-137. Retrieved from: <http://paleopolis.rediris.es/BrachNet/REF/Download/Manuel.html>.

- Phillips G. R., Lenhart T. E., Gregory R. W. (1980). Relation between trophic position and mercury accumulation among fishes from the Tongue River Reservoir, Montana. *Environ. Res.* 22 (1), 73-80. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/0013-9351\(80\)90120-6](https://doi.org/10.1016/0013-9351(80)90120-6).
- Pinedo, S., Jordana, E., Flagella, M. M. and Ballesteros, E. (2014). Relationships between heavy metals contamination in shallow marine sediments with industrial and urban development in Catalonia (Northwestern Mediterranean Sea). *Wat. A. So. Poll.* 225 (9), 2084. <https://doi.org/10.1007/s11270-014-2084-9>.
- Pinto, E., Sigaud-kutner C. S., Leitão A. S., Okamoto K., O., Morse, D. and Colepicolo, P. (2003). Heavy metal-induced oxidative stress in algae. 39 (6). Retrieved from <https://doi.org/10.1111/j.0022-3646.2003.02-193.x>.
- Prosi F. and Müller G. (1987). Bedeutung der Sedimente als Schwermetallfalle: Bioverfügbarkeit und Mobilität von Metallen in Bezug auf den Biotransfer in limnische Organismen. In: Forschungsberichte der Deutschen Forschungsgemeinschaft Bioakkumulation in Nahrungsketten. Verlag Chemie, Weinheim (in press).
- Quignard, J. P. and Pras A. (1986). Labridae. P. J. P. Whitehead, M. L. Bauchot, J. C. Hureau, J. Nielsen and E. Tortonese (eds.). *Fishes of the north-eastern Atlantic and the Mediterranean* (2, pp. 919-942). UNESCO: Paris.
- Radakovitch, O., Roussiez, V., Ollivier, P., Ludwig, W., Grenz, C. and Probst, J. L. (2008). Input of particulate heavy metals from rivers and associated sedimentary deposits on the Gulf of Lion continental shelf. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 77 (2), 285–295. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.09.028>.
- Randall, J. E. (1999). Revision of the Indo-Pacific labrid fishes of the genus *Coris*, with descriptions of five new species (pp. 74) Honolulu, Hawaii.
- Rodríguez-Prieto, C., Ballesteros, E., Boisset, F. and Afonso-Carrillo, J. (2013). Guía de las macroalgas y fanerógamas marinas del Mediterráneo occidental. Omega: Barcelona.
- Roesijadi, G. and Robinson, W.E. (1994). Metal regulation in aquatic animals: mechanism of uptake, accumulation and release. In: Malins, D. C., Ostrander, G. K. (eds.). *Aqu. Toxicol. Molecular, Biochemical and Cellular Perspectives*. Lewis Publishers, London.
- Romero, P. (2002). An etymological dictionary of taxonomy. Madrid. Ref. No. 45335.
- Ros, J., Romero, J., Ballesteros, E. and Gili, J. M. (1985). The circalittoral hard bottom communities: the coralligenous. Margalef (ed.). *Western Mediterranean* (pp. 263-273). Pergamon Press: Oxford.
- Sanders, M. J., Du Preez, H. H. and Van Vuren, J. H. (1998). The freshwater river crab, *Potamonautes warreni*, as a bioaccumulative indicator of iron and manganese pollution in two aquatic systems. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 41 (2), 203–214. Retrieved from <https://doi.org/10.1006/eesa.1998.1699>.
- Shul'man, G. E. (1974). *Life Cycles of Fish*. Wiley: New York.
- Sindayigaya, E., Van Cauwenbergh, R., Robberecht, H. and Deelstra, H. (1994). Copper, zinc, manganese, iron, lead, cadmium, mercury and arsenic in fish from Lake Tanganyika, Burundi. *Sci. Total Environ.* 144 (1-3), 103-115. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(94\)90431-6](https://doi.org/10.1016/0048-9697(94)90431-6).
- Somero G. N., Chow T. J., Yencey P. H. and Snyder C. B. (1977) Lead accumulation rates in tissues of the estuarine teleost fish *Gillichthys mirabilis*: salinity and temperature effects. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 6 (1), 337–348. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/BF02097774>.
- Storelli, M. M. and Marcotrigiano, O. G. (2010). Fish for human consumption: risk of contamination by mercury, 17 (12), 1007-1011. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/02652030050207792>.
- Storelli, M. M., Giacomini Stuffer, R. and Marcotrigiano, O. G. (1998). Total mercury in muscle of benthic and pelagic fish from the South Adriatic Sea (Italy), 15 (8), 876-883. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/02652039809374724>.
- Storelli, M.M., Busco, V.P. and Marcotrigiano, G.O. (2005). Mercury and arsenic speciation in the muscle tissue of *Scyllorhinus canicula* from the Mediterranean Sea. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 75 (1), 81-88. <https://doi.org/10.1007/s00128-005-0721-0>.

- Torres, J., Eira, C., Miquel, J., Ferrer-Maza, D., Delgado, E. and Casadevall, M. (2015). Effect of Intestinal Tapeworm *Cleistobothrium crassiceps* on Concentrations of Toxic Elements and Selenium in European Hake *Merluccius merluccius* from the Gulf of Lion (Northwestern Mediterranean Sea). *J. Agricult. Fo. Chem.* 63 (42), 9349-9356. Retrieved from <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b03886>.
- Tortonese, E. (1986). Serranidae. P. J. P. Whitehead, M. L. Bauchot, J. C. Hureau, J. Nielsen and E. Tortonese (eds.). *Fishes of the north-eastern Atlantic and the Mediterranean* (2, pp. 780-792). UNESCO: Paris.
- Trewavas, E. (1979). Mugilidae. J. C. Hureau and Th. Monod (eds.). *Check-list of the fishes of the north-eastern Atlantic and of the Mediterranean (CLOFNAM)* (1, pp.567-574). UNESCO: Paris.
- Tserpes, G. and Tsimenides, N. (2001). Age, growth and mortality of *Serranus cabrilla* (Linnaeus, 1758) on the Cretan shelf. *F. Rese.* 51, 27-34. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0165-7836\(00\)00237-X](https://doi.org/10.1016/S0165-7836(00)00237-X).
- UNEP, 2013. Global Mercury Assessment: Sources, Emissions, Releases and Environmental Transport. *UNEP Chem. Bran.* Geneva, Switzerland.
- UNEP/MAP (2012). State of the Mediterranean marine and coastal environment, 41-46.
- USEPA: Environmental Protection Agency (1975). Methods for acute toxicity tests with fish, macroinvertebrates and amphibian EPA. Corvallis, Oregon.
- Usero, J., Morillo, J. and Gracia, I. (2005). Heavy metal concentrations in molluscs from the Atlantic coast of southern Spain. *Chem.* 59 (8), 1175-1181. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.11.089>.
- Van Hassel J. H., Ney J. J., Garling D. L. (1980). Heavy metals in a stream ecosystem at sites near highways. *Trans. Am. F. Soc.* 109 (6), 636-643. Retrieved from [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1980\)109<636:HMIASE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1980)109<636:HMIASE>2.0.CO;2).
- Velma, V., Vutukuru, S. S., Tchounwou, P. B. (2009). Ecotoxicology of hexavalent chromium in freshwater fish: a critical review. *Rev. Environ. Health.* 24 (2), 129-146. Retrieved from <https://doi.org/10.1515/REVEH.2009.24.2.129>.
- Vilavert, L., Sisteré, C., Schuhmacher, M., Nadal, M. and Domingo, J. L. (2015). Environmental concentrations of metals in the Catalan stretch of the Ebro River, Spain: assessment of temporal trends. *Biol. Trace Elem. Res.* 163 (1-2), 48-57. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s12011-014-0140-3>.
- Vinodhini, R. and Narayanan, M. (2008). Bioaccumulation of heavy metals in organs of fresh water fish *Cyprinus carpio* (Common carp). *Intern. J. Environ. Sci. Techn.* 5 (2), 179-182. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/BF03326011>.
- Watanabe, T., Kiron, V. and Satoh, S. (1997). Trace minerals in fish nutrition. 151 (1-4), 185-207. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(96\)01503-7](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(96)01503-7).
- Weatherly, A. H. and Gill, H. S. (1987). *The Biology of Fish Growth*. Academic Press: Orlando, Florida.
- Wells, B. K., Bath, G. E., Thorrold, S. R. and Jones, C. M. (2000). Incorporation of strontium, cadmium and barium in juvenile spot (*Leiostomus xanthurus*) scales reflects water chemistry. *Can. J. F. Aqua. Sci.* 57 (10), 2122-2129. Retrieved from <https://doi.org/10.1139/f00-178>.
- Willis J. N. and Sunda W. G. (1984). Relative contributions of food and water in the accumulation of zinc by two species of marine fish. *Mar. Bio.* 80 (3), 273-279. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/BF00392822>.
- Wittmann, G. T. W. and Förstner, U. (1997). Heavy metal enrichment of mine drainage. III. The Klerksdorp, West Wits and Evander goldfields. *S. Afr. J. Sci.* 73, 53-57. Retrieved from https://hdl.handle.net/10520/AJA00382353_7215.
- WoRMS Editorial Board (2019). World Register of Marine Species. Retrieved from <https://doi.org/10.14284/170> or <http://www.marinespecies.org>.