FACULTAT
DE CIÈNCIES
I TECNOLOGIA
UVIC | UVIC·UCC

TREBALL DE FI DE GRAU:

FACTORS QUE DETERMINEN LA DISTRIBUCIÓ I MIGRACIÓ DEL ZOOPLÀNCTON EN UN EMBASSAMENT EUTRÒFIC AMB LIMITACIÓ D'OXIGEN

Anna Equisuany Ruiz

Grau en Biologia

Tutor/a: Mireia Bartrons Vilamala

Vic, Juny de 2020

AGRAIMENTS

En aquest apartat voldria agrair la seva feina a diverses persones que han estat molt importants per a portar a terme aquest treball.

En primer lloc, als tècnics d'ATLL que ens van acompanyar el dia del mostreig i ens van proporcionar materials i dades clau que han estat de gran ajuda per donar forma a aquest TFG.

En segon lloc a les persones que han estat un gran suport acadèmic, però també personal, no només mentre es portava a terme aquest TFG, sinó també durant la resta dels cursos del grau, així que moltes gràcies Àngels Leiva perquè has estat un pilar per mi aquests anys d'universitat i he trobat sempre algú amb qui parlar. En aquest mateix sentit, li vull agrair a la Serena Sgarzi la seva paciència amb mi, ja que ha estat una de les meves principals formadores pel que fa la matèria pràctica d'aquest TFG i a més ha estat sempre disponible quan la he necessitat. També esmentar la persona que més vegades ha llegit aquest informe i que més m'ha animat i motivat per a la seva redacció, la Mireia Bartrons, la meva tutora. Estic molt feliç d'haver estat la seva aprenent en aquesta assignatura ja que he pogut aprendre d'una gran professional a la que li he pogut parlar de tots els meus dubtes i les meves inquietuds.

També donar les gràcies a les persones que formen el grup de recerca d'ecologia aquàtica de la Uvic i que m'han donat la oportunitat de poder realitzar el meu TFG amb el vostre suport. Gràcies per confiar en mi i tenir-me en compte per participar en un projecte tant interessant i motivador.

Finalment, i a tall més personal, donar les gràcies a les dones de la meva vida, que tants valors m'han ensenyat i que tant m'han estimat, la meva mare i la meva germana. Gràcies per fer que les coses més insignificants es converteixin en extraordinàries, a vosaltres us dedico aquest TFG. Moltes gràcies!

RESUM

Els fenòmens de migració de les espècies animals són resultat de canvis en el seu cicle vital o en el propi entorn en el que es desenvolupen. En el cas del zooplàncton de llacunes i embassaments d'aigua dolça, es tracta d'un desplaçament motivat majoritàriament per l'evasió dels depredadors, on les espècies es desplacen a zones de refugi durant el dia, com les parts profundes dels llacs o bé les zones amb vegetació, i durant la nit tornen a la superfície per alimentar-se, així doncs, que es troba determinat per el fotoperíode. Aquest desplaçament per buscar refugi es dona de manera vertical en la columna d'aigua, o bé de manera horitzontal quan aquesta massa d'aigua no és prou profunda. No obstant, en el següent estudi ens plantegem si l'anòxia en les parts profundes de les llacunes i embassaments, fa que el zooplàncton no trobi condicions favorables al fons i es desencadeni la migració horitzontal. El mostreig es va portar a terme en l'embassament de Sau, situat a la comarca d'Osona, Catalunya, el qual presenta característiques eutròfiques i limitació d'oxigen a l'hipolímnion durant els períodes estivals. Per mostrejar el zooplàncton i les variables ambientals associades, es va realitzar un mostreig al centre de l'embassament a diferents profunditats a migdia i també en la totalitat de la columna d'aigua tant a migdia com a mitja nit. Els resultats no van ser concloents per afirmar que a l'embassament de Sau hi hagi migració horitzontal del zooplàncton. Tot i això, l'estudi en paral·lel de les característiques fisicoquímiques de la columna d'aigua, així com de la distribució i composició de fitoplàncton i zooplàncton al llarg de la columna d'aigua ens han permès concloure que l'oxigen i la qualitat de l'aliment són els factors determinants de la distribució vertical del zooplàncton, així com ho són les competències interespecífiques.

Paraules clau: Zooplàncton, migració horitzontal, fotoperíode, anòxia, eutròfia, hipolímnion.

SUMMARY

The migration phenomena of animal species are the result of changes in their life cycle or in the environment in which they develop. In the case of zooplankton of lakes and reservoirs, it is a displacement motivated mainly to avoid predators, where the species move to areas of refuge during the day, such as the deep parts of the lakes or areas with vegetation, and during the night returns to the surface to feed, so that, is determined by the photoperiod. This displacement to seek refuge occurs vertically in the water column, or horizontally when this body of water is not deep enough. However, in the following study, we consider whether anoxia in the deep parts of lakes and reservoirs causes that zooplankton do not find favourable conditions at the bottom and this triggers horizontal migration. The sampling was carried out in the Sau reservoir, located in the Osona region of Catalonia, which has eutrophic characteristics and limited oxygen in the hypolimnion during the summer periods. To sample zooplankton and associated environmental variables, sampling was performed in the

middle of the reservoir at different depths at midday and on the entire water column at both midday and midnight. The results were inconclusive to state that there is horizontal migration of zooplankton in the Sau reservoir. However, the parallel study of the physicochemical characteristics of the water column, as well as the distribution and composition of phytoplankton and zooplankton along the water column have allowed us to conclude that oxygen and food quality are determining factors in the vertical distribution of zooplankton, as well as interspecific competencies.

Keywords: Zooplankton, horizontal migration, photoperiod, anoxic, eutrophic, hypolimnion.

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ 1
1.1 La migración del zooplàncton 1
1.2 Composició d'espècies de zooplàncton en sistemes lenítics eutròfics 3
2. OBJECTIUS 6
3. MATERIALS I MÈTODES 7
3.1 Zona d'estudi 7
3.2 Metodologia 9
3.2.1 Al camp 9
3.2.2 Al laboratori 12
3.2.3 Estadística i anàlisi de dades 15
4. RESULTATS 17
4.1 Característiques fisicoquímiques i fitoplanctòniques 17
4.2 El fitoplàncton a l'embassament de Sau 19
4.3 El zooplàncton a l'embassament de Sau 20
4.3.1 Estratificació del zooplàncton durant el dia 21
4.3.2 Distribució del zooplàncton dia/nit 25
5. DISCUSSIÓ 30
6. CONCLUSIONS 35
7. BIBLIOGRAFIA 36
8. ANNEXES 39
8.1 ESPÈCIES DE ZOOPLÀNCTON 39
8.2 DADES DE DENSITAT DEL ZOOPLÀNCTON. 41

LLISTA DE FIGURES

Fig. 1 Imatge de la migració diària del zooplàncton. 5
Fig. 2 Mapa de l'embassament de Sau 7
Fig. 3 Accessoris de mostreig de zooplàncton. 12
Fig. 4 Perfil de les característiques fisicoquímiques principals al llarg de la columna d'aigua, temperatura (Cº), Oxigen (mg/L) i terbolesa (FTU).. 18
Fig. 5 Perfils ambientals de la columna d'aigua segons pigments fotosintètics 19
Fig. 6 Densitat total i biomassa total dels diferents grups taxonòmics segons el percentatge que representen en la comunitat 21
Fig. 7 Gradient de densitats (individus/L) i biomassa (ug de pes sec), per a cada grup taxonòmic en funció de la profunditat. 23
Fig. 8 PCA d'espècies segons la profunditat..... 24
Fig. 9 Diagrama de caixes de les mitjanes de densitat (individus/L) dels resultats obtinguts durant el dia i durant la nit. 25
Fig. 10 Diagrama de caixes de les mitjanes de biomassa (µg de pes sec) dels resultats obtinguts durant el dia i durant la nit. 26
Fig. 11 Espectres de mida que relacionen les biomasses normalitzades amb les classes de mida 28
Fig. 12 Boxplot dels valors mitjans de pendent (slope) i de l'ordenada a l'origen (intercept), resultants dels espectres de mida de la figura 11. 29

LLISTA DE TAULES

Taula 1 Taxons identificats en l'anàlisi taxonòmic i les corresponents fórmules aplicades per al càlcul de la seva biomassa en µg de pes sec……13

Taula 2. Valors mínim, màxim i mitjana dels principals paràmetres físicoquímics de la columna d'aigua……17

Taula 3. Zooplàncton identificat en les mostres recol·lectades a l'embassament de Sau tan pel que fa mostres a diferent profunditat com per les mostres de pesca integrada del dia i la nit.....19

Taula 4. Densitat (individus/L) i Biomassa (µg de pes sec) mitjanes ± la desviació estàndard (SE) i el P-valor (test de Wilcoxon Mann-Whitney) resultat de la comparació de les mitjanes de densitat del dia i la nit per a cada espècie.....27

1. INTRODUCCIÓ

1.1 La migración del zooplàncton

La migració és un fenomen recurrent en la fauna, en la qual podem observar canvis conductuals de les espècies on aquestes realitzen desplaçaments per tres motius: i) la disponibilitat de recursos, com en el cas d'algunes espècies d'ocells; ii) l'arribada de l'època reproductiva, com és el cas d'alguns peixos; i iii) la cerca de refugi, com és el cas d'algunes espècies de zooplàncton (Shaw, 2016).

Els patrons migratoris són molt susceptibles a canvis en l'ambient, ja sigui per esdeveniments naturals, tan abiòtics com biòtics, com els canvis de temperatura, la durada del fotoperíode o la predació; com per aspectes antròpics, com la construcció de barreres físiques o la contaminació de les aigües. Alhora, però, cal considerar que les espècies migradores tenen una gran capacitat per adaptar-se a els canvis, modificant o adaptant aquests patrons de migració.

En la migració, es realitzen desplaçaments a petita o gran escala, que van des de distàncies de pocs metres fins a distàncies de milers de quilòmetres. Aquests desplaçaments, juguen un paper clau en els ecosistemes, ja que en permeten la seva interconnexió, així com la connectivitat entre diferents hàbitats. De tal manera, que l'alteració o pèrdua dels patrons de migració poden generar un impacte en els ecosistemes o en les comunitats animals mateixes, per exemple, alterant la disponibilitat o la distribució dels recursos (Shaw, 2016).

Encara que les migracions d'algunes espècies es produeixin a petita escala, aquestes són fenòmens complexes, en els quals cal tenir en compte variables fisicoquímiques i biòtiques que poden modular-la, com canvis en els règims de pluviositat o en la distribució de recursos. En els ecosistemes d'aigua dolça, per exemple, han estat estudiades àmpliament per entendre com es realitzen els desplaçaments de la fauna en funció de la dinàmica de l'aigua al llarg de l'any, és a dir, dels esdeveniments de barreja o estratificació de la columna d'aigua, de les seves característiques fisicoquímiques, com l'estat tròfic, i de la seva composició tan pel que fa les comunitats animals com les comunitats vegetals (Roman, Pierson, Kimmel, Boicourt, & Zhang, 2012; Tavşanoğlu et al., 2015).

Un exemple de migració a petita escala és la migració del zooplàncton. Aquest pot realitzar desplaçaments relativament curts i en intervals de temps que van del dia a la nit. En termes generals, la migració es produeix a causa de la presencia de depredadors, que fa que el zooplàncton hagi de buscar refugi durant el dia per evitar estar exposat a la llum i ser vist. Aquest refugi el troba entre la vegetació o a les zones on no arriba la llum, com el fons d'un llac. Durant la nit, aquest es desplaça a les capes superficials de l'aigua per alimentar-se de fitoplàncton o altres espècies. No obstant, aquest

fenomen es troba afectat per les variables abiòtiques i biòtiques de l'entorn, i a més, pot donar lloc a diferents patrons de desplaçament en funció d'aquestes (Wojtal, Frankiewicz, Izydorczyk, & Zalewski, 2003).

El moviment diari que realitza el zooplàncton, pot donar-se de manera vertical si les condicions ho permeten, és a dir, si el llac és prou profund per tal que no hi arribi la llum al fons i les condicions que hi troben són favorables. Aquest és el cas de la migració vertical (DVM). La DVM es pot considerar com una selecció espacial de la profunditat a causa del comportament d'alguns organismes, com el zooplàncton, mol·luscs o peixos, associat a les influencies rebudes de l'entorn. En termes generals, és un mecanisme d'evasió dels depredadors, doncs el zooplàncton, per exemple, puja a les capes més superficials durant la nit, quan aquest no és vist per els peixos planctívors per tal d'evitar ser depredat, i per alimentar-se d'algues microscòpiques, o bé d'altres espècies no vegetals com el mateix zooplàncton. En canvi, durant el dia, descendeix a les capes inferiors de la columna d'aigua en resposta a la llum per tal d'evadir la pressió dels depredadors.

Tot sovint, i seguint la mateixa teoria que per la DVM normal, es pot donar la DVM inversa (RVM), en la qual el zooplàncton descendeix a les capes profundes durant la nit, i ascendeix a les capes superiors durant el dia. Aquesta tendència es dona en espècies de zooplàncton més petites, com és el cas dels rotífers, ja que són difícilment visibles per les espècies de peixos, i poden ser depredades per espècies de zooplàncton més grans i carnívores, com els copèpodes, o bé atacats per espècies amb les que competeixen per els recursos, com es dona en la competència del gènere *Daphnia* amb alguna espècie de rotífer. Així doncs, mentre que els predadors vertebrats desencadenen la DVM normal, els depredadors invertebrats acostumen a desencadenar la inversa o RVM (Conde-Porcuna, Ramos-Rodríguez, & Morales-Baquero, 2004; Tavşanoğlu et al., 2015).

En els casos on no es pot donar la migració vertical perquè per exemple les llacunes són molt poc profundes, les espècies tendeixen a migrar cap a les zones amb vegetació enlloc de cap al fons per tal de buscar refugi (Lauridsen, Pedersen, Jeppesen, & Søndergaard, 1996; Tavşanoğlu et al., 2015). Aquestes zones acostumen a estar en les vores de les llacunes, i per aquesta raó el seu desplaçament es realitza horitzontalment donant lloc a la migració horitzontal (DHM). La DHM es troba fortament determinada per l'extensió i profunditat del llac, de tal manera que es veu incrementada com més reduïda és l'extensió superficial del llac , i com mes escassa és la seva profunditat (Burks, Lodge, Jeppesen, & Lauridsen, 2002). No obstant, l'estat tròfic en el qual es troba el llac, pot ser també un factor desencadenant de la DHM. Segons alguns estudis, un llac eutròfic, amb condicions anòxiques en la capa hipolímnion, presenta densitats i biomassa de zooplàncton majors durant la nit que durant

el dia en comparació amb un llac oligotròfic amb igual fondària, si es considera tota la columna d'aigua en zones centrals de la llacuna (Doubek, Goldfarb, & Stockwell, 2020).

La DHM acostuma a ser més freqüent en espècies grans i bones nedadores, com copèpodes i cladòcers que necessiten refugi durant el període diürn i no poden trobar-lo en capes més profundes i tèrboles de la columna d'aigua, ja sigui per la manca de profunditat o bé per la falta d'oxigen, tal i com s'ha esmentat anteriorment (Burks et al., 2002; Ramos-Jiliberto, Carvajal, Carter, & Zúñiga, 2004).

1.2 Composició d'espècies de zooplàncton en sistemes lenítics eutròfics

Determinar la composició de les comunitats de zooplàncton pot aportar informació per a l'estudi de la migració que es dona en una llacuna i també és important per fer una valoració sobre l'estat tròfic de la massa d'aigua. La composició de la comunitat es troba altament influenciada per els factors biòtics i abiòtics de la llacuna, així doncs, els diferents tàxons que hi trobem estan vinculats tant a la presència o absència de depredadors, així com a les característiques ambientals i químiques de la llacuna.

Per altra banda, el comportament migratori pot variar molt en funció del tàxon estudiat, ja sigui per les seves característiques locomotores com alimentàries, però també pot diferir en funció de la composició de la comunitat, tal i com s'ha explicat en la RVM, on els taxons de mida petita presenten una migració inversa a causa de la presència de taxons de mida gran que depreden sobre aquests o bé, en són els principals competidors per els recursos. D'aquesta manera, el conjunt de poblacions de les quals està formada una llacuna ens pot donar molta informació per una banda de l'estat tròfic de la llacuna, i per altra banda del possible comportament migratori que poden adoptar els diferents tàxons.

El cicle biològic del zooplàncton es troba altament influenciat per els factors biòtics i abiòtics del seu hàbitat. Algun d'aquests factors poden ser la competència per els recursos o bé les condicions ambientals desfavorables; en aquestes circumstàncies algunes espècies de zooplàncton adopten mètodes de reproducció més eficients que es tradueixen en una ampliació dels membres de la seva comunitat. (Ramos-Jiliberto, Carvajal, Carter, & Zúñiga, 2004). Així doncs, tenint en compte l'efecte de les variables ambientals i de les condicions tròfiques sobre la composició de comunitats de zooplàncton i l'abundància de les espècies, queda evidenciat el seu potencial com a indicador ecològic per avaluar la qualitat de l'aigua (Fusé, Priano, Juliarena, & Guzmán, 2019).

En sistemes eutròfics, no limitats pel fòsfor i amb presència de peixos planctívors, generalment són més abundants els rotífers (J.M. Conde-Porcuna, E. Ramos-Rodríguez, 2004). Aquests, tot i la seva mida reduïda, poden representar fins el 30% del total de la biomassa planctònica a causa de la seva elevada taxa reproductiva i la seva habilitat per apropiar-se de nínxols ecològics lliures (José de Paggi, 2004). Els rotífers són un component molt important ja que són dels pocs organismes encarregats de transferir energia dels nivells més inferior de la cadena tròfica, bactèries, compostos detrítics i matèria orgànica en partícules molt petites, cap a espècies que no les podrien utilitzar. Per altra banda, els copèpodes depreden sobre espècies de rotífers (a mes d'algues i ciliats) (Turner, 1984), d'aquesta manera, esperem que són dos grups que trobarem força lligats pel que fa la seva presència.

Per altra banda, *Daphnia* és un gènere de cladòcer molt important a considerar pel que fa la qualitat de l'aigua, ja que és un bon indicador d'aquesta, per una banda, per la seva alta capacitat filtradora, i per l'altre, per la seva competència pels recursos amb les espècies de rotífers. Així doncs, en un medi eutròfic amb alta presencia de rotífers, esperem trobar pocs exemplars de *Daphnia* (Conde-Porcuna et al., 2004; Ordóñez Salinas, 2010).

Finalment, els copèpodes herbívors, tenen gran importància ecològica no només perquè transformen la matèria vegetal en proteïna animal per a les capes superiors de la cadena tròfica, sinó perquè actuen com agents reguladors del desenvolupament algal. Per altre banda, els copèpodes carnívors, poden alimentar-se d'altres copèpodes, així com d'espècies de zooplàncton més petites i de larves d'invertebrats i oligoquets, així que poden entrar en competència pels recursos amb algunes espècies de peixos. A més, aquestes espècies poden presentar altes abundàncies en les zones litorals dels llacs i representar un efecte negatiu per a les poblacions de peixos amb les que cohabiten (Fryer, 1957).

Com s'ha esmentat anteriorment, la composició d'espècies és un aspecte a considerar per valorar l'estat tròfic d'una llacuna o embassament, així com la distribució de la comunitat. L'embassament de Sau, en el qual s'han recollit les dades per al següent estudi, es troba habitat majoritàriament per espècies de peixos al·lòctones, d'entre les quals trobem *Alburnus alburnus, Cyprunus carpio, Rutilus rutilus i Sulurus glanis* i una espècie autòctona, *Barbus graelsii*. Per altra banda, les principals espècies de zooplàncton que hi trobem són *Keratella Cochlearis, Ceriodaphnia, Bosmina longostris, Daphnia galeata* i *polyarthtra remata* (ACA, 2003). Amb una alta proporció de les espècies de rotífers a causa de la regressió que ha patit el gènere *Daphnia* els últims anys per la presència de les espècies de peixos planctívors al·lòctons: *A. alburnus i R. rutilus*, raó per la qual la població de *B. Longostris*, un cladòcer de mida més petita que competeix amb *Daphnia* pels recursos, s'ha vist altament incrementada (Ordóñez Salinas, 2010).

Aquestes característiques biòtiques i abiòtiques ens poden servir d'indicador per esbrinar el comportament migratori de les espècies de zooplàncton a l'embasament de Sau. Tot i que fins al moment s'han fet estudis pel que fa la composició de zooplàncton en l'embassament i la seva estructura tròfica (Cormema, García, Armengol, & Simek, 2003; Ordóñez Salinas, 2010), no s'ha indagat en el comportament migratori i en la possibilitat que s'estigui donant horitzontalment a causa de les característiques eutròfiques de l'embassament que confereixen les condicions d'anòxia en les capes inferiors que farien de la migració horitzontal una millor estratègia d'evasió de depredadors per a les espècies de major mida i millors habilitats nedadores.

Finalment, fer esmena que aquest TFG forma part d'un estudi global que analitza el patró de la migració del zooplàncton en diferents llacs i embassaments d'arreu del món amb característiques i perfils d'oxigen diferents amb l'objectiu d'estudiar el patró de la migració horitzontal. El projecte s'anomena "*Day 'N' NightZ: The effects of hypoxia on pelagic zooplankton population estimates and migration paterns*" i el coordina la Universitat de Vermont dins el col·lectiu GLEON. Sorgeix de la hipòtesi que planteja que la densitat i la biomassa del zooplàncton en la zona pelàgica dels llacs i embassaments amb hipolímnion anòxic, és superior durant la nit respecte el dia, i que aquesta diferència és resultat d'un increment de la migració horitzontal i una disminució de la migració vertical, a causa de les condicions desfavorables que es donen en l'hipolímnion per la falta d'oxigen. https://gleon.org/

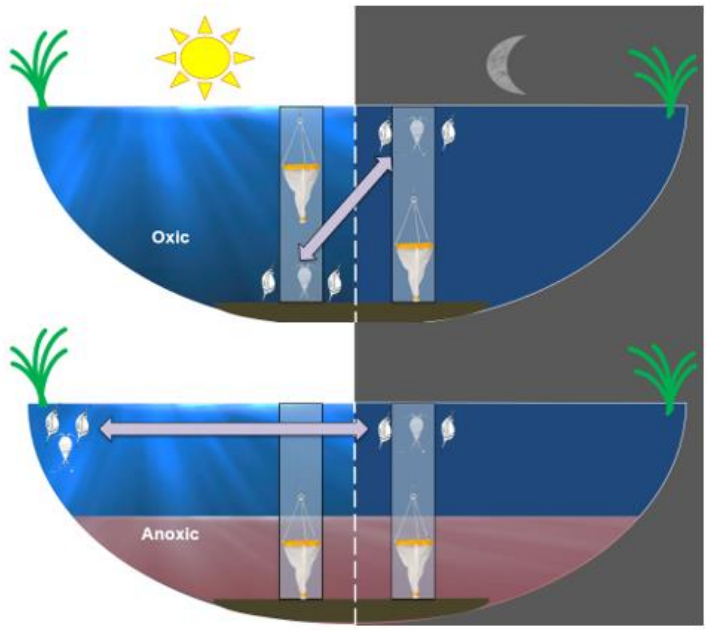


Fig. 1 Imatge de la migració diària del zooplàncton. A dalt, la DVM i a baix, la DHM, determinada en aquest cas per l'anòxia. Font: GLEON "*Day 'N' NightZ.*

2. OBJECTIUS

Aquest estudi té com a objectiu principal comprovar si l'anòxia és un factor que influeix en els moviments de migració horitzontal de la comunitat de zooplàncton en la columna d'aigua de la zona lacustre de l'embassament de Sau.

Aquest objectiu va acompanyat dels següents objectius específics:

- Conèixer les característiques fisicoquímiques de la columna d'aigua sobretot pel que fa la distribució de l'oxigen durant el període d'estratificació estival.
- Determinar els patrons de distribució de la comunitat fitoplanctònica en la columna d'aigua de l'embassament durant el període d'estratificació estival.
- Identificar taxonòmicament la diversitat d'espècies de zooplàncton que habiten a la columna d'aigua de l'embassament durant el període d'estratificació estival, i quantificar-ne la seva densitat i biomassa.
- Analitzar com es distribueixen els diferents grups taxonòmics de zooplàncton al llarg de la columna d'aigua durant el dia, tant pel que fa a la composició d'espècies (en número i biomassa) com l'espectre de mides de la comunitat.
- Comparar la composició taxonòmica en quant a densitat i biomassa, i l'espectre de mides de la comunitat entre el dia i la nit en la zona lacustre de l'embassament per tal de determinar el potencial de migració horitzontal de zooplàncton a l'embassament de Sau.

3. MATERIALS I MÈTODES

3.1 Zona d'estudi

L'embassament de Sau es troba situat al nord est de Catalunya, a la població de Vilanova de Sau. La seva construcció data del 1963 i forma part del conjunt de tres embassaments situats de manera consecutiva a mig recorregut de la longitud de 200 km del riu Ter, on l'embassament de Sau encapçala la part superior a 424 metres d'altura respecte el nivell del mar, i a continuació el segueixen l'embassament de Susqueda i l'embassament del Pasteral a cotes més baixes.

La construcció de l'embassament de Sau es va portar a terme per tal d'abastir d'aigua les ciutats de Barcelona, Girona i algunes poblacions de la Costa Brava. Així doncs, la seva construcció significà un avenç important pel que fa l'obtenció d'aigua, recurs cada vegada més demandat per el conjunt de la població.

Pel que fa les seves característiques morfològiques, l'embassament presenta una sinuositat característica amb una llargada de 18.5 km que s'eixampla als últims 4 km resultant una amplada màxima de 1-1.5 km (Vidal i Celma, 2006). En la part més ample hi trobem l'antic poble de Sant Romà del qual podem veure sobresortir en l'aigua el seu campanar. En aquesta zona s'hi defineixen les característiques pròpies d'un llac, el qual pot arribar a una fondària de 75 m quan l'embassament assoleix la seva màxima capacitat d'aigua (Becker et al., 2010).

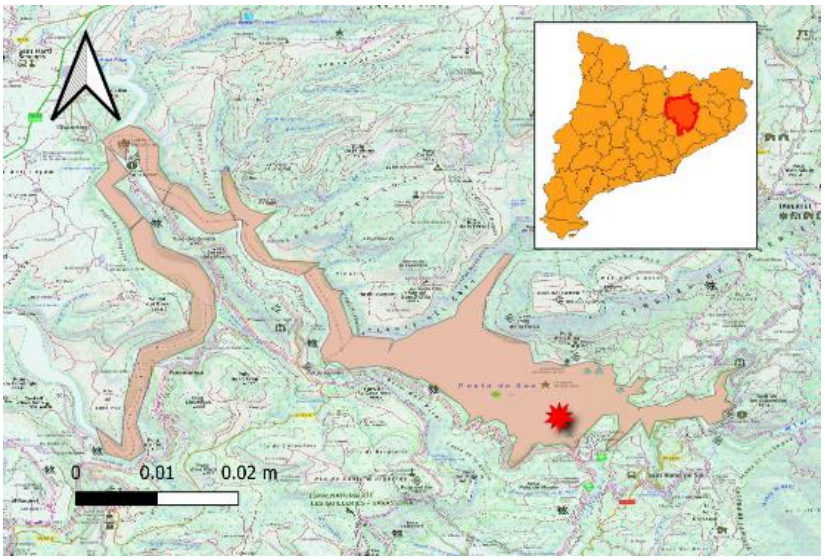


Fig. 2 Mapa on podem veure l'embassament de Sau, marcat amb un polígon lleugerament rosat, amb el punt de mostreig marcat amb una estrella vermella.

Els embassaments són grans masses d'aigua fortament modificades i amb característiques limnològiques pròpies que cal considerar per procedir a estudiar el comportament i la composició de les espècies de zooplàncton que hi habiten. Si ens referim a la limnologia, un embassament es pot veure com un sistema entre llac i riu, i cal que es tinguin en compte les seves particularitats per al seu estudi.

En un embassament podem destacar tres zones (Thorton, Kimmel, & Payne, 1990):

- La zona fluvial, caracteritzada per l'entrada d'aigua del riu, on hi ha energia que permet la barreja de l'aigua, i la obtenció de matèria orgànica és al·lòctona.
- La zona de transició, que connecta la zona fluvial amb la zona lacustre.
- La zona lacustre, on la font de matèria orgànica és autòctona i s'hi donen els fenòmens d'estratificació propis d'un llac.

Cal tenir en comte que l'estratificació en embassaments, sovint es pot veure com un sistema multicapa, on la metalímnion guanya volum pel que fa la hipolímnion i la epilímnion per dues raons; en primer lloc per la sortida d'aigua de l'embassament per les capes inferiors de la columna d'aigua, i en segon lloc per la seva ubicació en valls estretes, que proporcionen condicions per una entrada de vent d'intensitat i direccionalitat controlades que provoquen la barreja de les capes més superficials (Armengol, 2004).

En el cas l'embassament de Sau, podem dir que es tracta d'una massa d'aigua majoritàriament eutròfica que es comporta com un llac càlid monomíctic on la barreja de les aigües es dona a l'hivern, i durant l'estiu es dona una alta estratificació determinada per la diferència de densitat i temperatura de l'aigua.

Com s'ha esmentat, els inputs d'aigua de l'embassament de Sau arriben del riu Ter. Aquest neix als Pirineus i té un cabal variable molt influenciat per el clima mediterrani, el qual presenta sequeres importants durant la època estival, que es tradueixen en una reducció del cabal del riu, i fortes pluges durant la tardor, que fan l'efecte contrari. Per altre banda, cal esmentar, que els principals inputs d'aigua al riu Ter provenen de les glaceres del Pirineu que es desfan amb l'entrada de la primavera

Pel que fa la seva composició química, es troba alterada per les aigües que hi arriben per escorrentia dels camps que trobem al llarg del seu recorregut. D'aquesta manera, l'aigua del riu Ter que arriba a l'embassament de Sau, presenta un alt contingut de fòsfor i nitrogen, sovint en forma de purins. Aquesta és la raó principal per la qual l'embassament de Sau té una alta càrrega de matèria orgànica que el defineixen majoritàriament com a embassament eutròfic (Ordóñez Salinas, 2010; Sabater et al., 1992). En les capes profundes de la zona lacustre hi trobem una alta sedimentació i terbolesa i de

la mateixa manera una alta acumulació de matèria orgànica, així com d'amoni i metalls pesants. Aquestes característiques es donen per diferents raons, d'entre les quals podem destacar els abocaments al riu Ter, les aigües residuals, i les dejeccions ramaderes amb alt contingut en nitrogen que arriben al riu per escorrentia. Així com per efectes del canvi global, com la reducció de més d'un 40% de l'aigua del Ter els darrers 50 anys. (Custodio Gimena, 2011; Mondéjar, 2009).

3.2 Metodologia

3.2.1 Al camp

El mostreig es realitzà el dia 8 de Juliol de 2019 en dos períodes diferents del dia, per les seves característiques ben diferenciades d'incidència lumínica. Així doncs, un mostreig es realitzà entre les 11 i les 12 del migdia, i l'altre, entre les 23 i 24 hores de la nit. D'aquesta manera, ens permetia l'obtenció de mostres de zooplàncton per comprovar si la seva composició canviava en algun sentit segons la lluminositat, i així poder comprovar si la migració horitzontal de zooplàncton durant el dia, a causa de la poca o nul·la concentració d'oxigen en les parts més profundes, és un fet en l'embassament de Sau.

Per a aquest estudi es van prendre mesures de l'aigua pel que fa la clorofil·la i les variables fisicoquímiques a diferents profunditats i es va procedir a la recol·lecció de zooplàncton des d'una barca. També assenyalar que el procediment experimental es va portar a terme al centre de l'embassament, on s'hi va registrar la màxima profunditat, la qual era de 45 metres en aquell moment. Aquesta ubicació ens permetia l'obtenció de les mostres més adients per portar a terme la comprovació de la nostra hipòtesi, que durant les hores diürnes amb exposició solar, el zooplàncton es desplaça cap a les zones perifèriques de l'embassament. En aquesta ubicació escollida per la seva idoneïtat, és on s'hi van registrar tan les variables fisicoquímiques com s'hi van recol·lectar les mostres de zooplàncton.

3.2.1.1 Variables fisicoquímiques

Les variables fisicoquímiques i biològiques de l'aigua es van registrar a diferents profunditats de l'embassament amb una sonda multiparamètrica de tipus SBE 19plus V2 SeaCAT Profiler CTD, per tal d'enregistrar els valors d'oxigen, temperatura i terbolesa (FTU). Per a la valoració del fitoplàncton present a cada profunditat es va utilitzar una sonda fluorimètrica Fluoroprobe de la marca BBE-MOLDAENKE. Les dades obtingudes dels perfils ambientals van ser proporcionades per l'equip tècnic

d'ATLL (ens d'abastiment Ter-Llobregat), òrgan a càrrec de la Generalitat de Catalunya que s'encarrega de la gestió d'aigües de subministrament com és la de l'embassament de Sau..

Per altra banda, es va anotar la penetració de la llum en l'aigua en el punt de mostreig amb un disc Secchi (Preisendorfer, 1986), el qual consisteix en un disc blanc i negre en l'extrem d'una corda, gràcies a la qual es prenen dues mesures, una quan s'introdueix dins l'aigua i el disc desapareix, i una altra quan en tornar a fer ascendir el disc podem tornar a diferenciar els colors blanc i negre. La mitjana d'aquestes dues mesures ens donen com a resultat un valor que correspon a la terbolesa de l'aigua.

3.2.1.2 Mostreig de zooplàncton

3.2.1.2.1 Mostres a diferent profunditat

Les mostres a diferent profunditat es van col·lectar només durant el període diürn a través de la utilització d'una ampolla Niskin que deriva de les trampes de zooplàncton Schindler-Patalas de la marca Hidro-Bios.

L'elecció de les diferents profunditats a mostrejar, es va portar a terme segons els canvis de les variables fisicoquímiques que s'hi donaven, intentant agafar aigua de les diferents capes estratificades de l'embassament, i tenint en compte els 45 metres de profunditat total que presentava el punt de mostreig en l'embassament. Així doncs, es va observar on es donaven els canvis en temperatura i oxigen més importants en la columna d'aigua degut a la profunditat de la termoclina i la profunditat de barreja de l'aigua del riu Ter que porta l'aigua a Sau, i es van delimitar 7 profunditats: 0 ,5, 10, 15, 20, 35 i 42 metres.

Per a l'obtenció de les mostres de zooplàncton es van filtrar 5 litres d'aigua dels recollits amb l'ampolla Niskin amb una ampolla de plàstic amb la base tallada i un filtre amb porus de 50 µm amb malla de Nytex lligat a l'orifici de l'altre extrem de l'ampolla. Aquest filtre va ser deslligat curosament de l'ampolla i dipositat dins un pot de plàstic de 100 ml omplert amb aigua desionitzada fins a dalt i unes 10 gotes de fixador, en aquest cas una solució de lugol al 4% (Zarauz & Irigoien, 2008).

Així doncs, aquest procés es va realitzar per a les 7 mostres a diferent profunditat i es van etiquetar les mostres amb les dades necessàries per al seu posterior anàlisi al laboratori.

3.2.1.2.2 Mostres integrades

La recol·lecció de mostres integrades, és a dir, de la totalitat de la columna d'aigua, es va prendre en els dos períodes esmentats anteriorment. El mostreig es realitzà amb una xarxa cònica de zooplàncton amb malla de Nytex amb porus de 53µm i entrada superior d'aigua de 25 cm de diàmetre i longitud de 50cm, a la qual se li van col·locar uns pesos a la part inferior per afavorir el seu descens fins a la profunditat de 42 metres. Aquests 42 metres es van mesurar i assenyalar en la corda lligada a la xarxa per tal d'evitar que aquesta toqués el fons de l'embassament i mogués el sediment, la qual cosa hauria alterat el contingut de la mostra.

Un cop endinsada la xarxa en la seva totalitat, aquesta era recollida a una velocitat aproximada d'1m/seg i sense pausa, per tal de capturar el zooplàncton en el seu extrem inferior amb màxima eficiència (evitant-ne el reflux o la dispersió de zooplàncton), el qual, té un tap amb rosca amb filtre igualment de 53µm que un cop recollida la xarxa, era rentat amb cura amb un ruixador amb aigua desionitzada per tal de traspassar la mostra en un pot de plàstic de 100 ml (Bernardi, 2007). Posteriorment, i com en el cas de les mostres a diferent profunditat, aquetes van ser fixades amb unes 10 gotes de solució de lugol 4%, per tant les mostres tenien una concentració aproximada d'un 0.66% de lugol.

Aquesta metodologia es va realitzar per triplicat i exactament en el mateix punt, de tal manera que es van recol·lectar tres rèpliques diürnes i tres rèpliques nocturnes de zooplàncton.

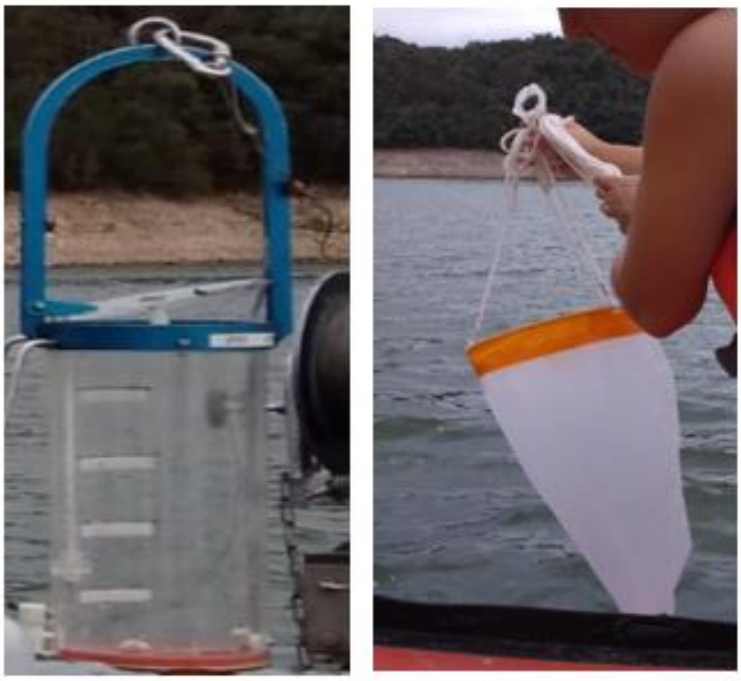


Fig. 3 Accessoris de mostreig de zooplàncton. A l'esquerre, ampolla niskin model... utilitzada per a la recollida de mostres a diferent profunditat durant el mostreig diürn. A la dreta, xarxa cònica de Nytex per a la recollida de mostres integrades diürnes i nocturnes. Font propia.

3.2.2 Al laboratori

Per a l'anàlisi de les mostres es disposà d'una lupa invertida model "Stereo Discovery.V12" de la marca Zeiss, amb càmera acoblada del model "Aixocam 503 color" i igualment de la marca Zeiss (fabricades a Oberkochen, Alemanya).

Tan les mostres a diferents profunditats amb majors densitats d'organismes com les mostres integrades, van ser transferides a una cubeta dividida per la meitat per tal de crear submostres que facilitessin l'anàlisi d'aquestes.

Per a les mostres a diferent profunditat va ser necessari submostrejar una vegada, és a dir, dividir la mostra en dos, en les profunditats corresponents a 5 metres i 10 metres, en canvi, per les demés, no es van realitzar subdivisions per la poca densitat d'organismes.

Les mostres integrades es van subdividir 5 vegades per a poder realitzar el recompte, identificació i mesura dels individus de la mostra de manera eficient. Totes aquestes particions es van realitzar amb l'ajuda d'un ruixador amb aigua desionitzada per tenir cura de no perdre'n contingut.

Totes les mostres es van analitzar en una placa circular de 8 cm de diàmetres amb línies marcades a la seva base formant subseccions per tal de facilitar el recompte d'individus. Aquesta placa era

omplerta amb aigua desionitzada fins el límit superior, de tal manera que al tapar-la amb un vidre, es formés tensió superficial que reduís el moviment dels individus en l'aigua.

Amb les dades dels recomptes es van realitzar els càlculs de densitats en individus per litre (individus/L) de cada mostra, tenint en compte la proporció de la placa recomptada i les submostres realitzades.

El recompte es va realitzar per a un mínim de 100 individus d'una espècie en el cas dels rotífers, els naupli i els copepodits, la qual cosa permetia aturar el recompte d'aquests grups si s'havia arribat a la xifra mínima en el primer o segon quart de la placa. Els copèpodes adults i els cladòcers es van recomptar en la totalitat de la mostra subdividida tenint en compte que presentaven unes densitats menors.

Les mesures es van prendre amb el programa informàtic ZEN 2 (versió 2.0.0.0 Blue Edition) d'un mínim de 25 individus de cada espècie en el cas dels rotífers, nauplis i copepodits, i per un mínim de 50 individus de cada grup de les espècies més grans de mida, els cladòcers i copèpodes adults, sempre que el número total d'individus de la mostra ho permetés.

Per tal de calcular la biomassa (µg de pes sec), es van prendre mesures de la llargada del cos (sense tenir en compte els apèndixs, com antenes o espines) dels diferents individus, menys en el cas dels rotífers, dels quals es van prendre mesures de llargada i amplada, i es van aplicar les formules corresponents a cada gènere segons Brucet (2004) (taula 1).

Taula 1 Taxons identificats en l'anàlisi taxonòmic i les corresponents fórmules aplicades per al càlcul de la seva biomassa en µg de pes sec, on "a" és llargada (mm), "b" és amplada (mm).

TAXON	**FORMULA DE BIOMASSA (µg de pes sec)**
CLADÒCERS	
Daphnia sp.	$e^{(1.4660+3.1932\ln(a))}$
Diaphanosoma sp.	$e^{(1.4660+3.1932\ln(a))}$
Ceriodaphnia sp.	$e^{(1.4660+3.1932\ln(a))}$
Bosmina sp	$e^{(4.4935+3.93\ln(a))}$
COPÈPODES	
Cyclopoid	$e^{(0.6154+2.034\ln(a))}$

Copepodit	$e^{(0.6154+2.034\ln(a))}$
Naupli	$e^{(0.6154+2.034\ln(a))}$
ROTÍFERS	
Polyarthra sp.	$28 \cdot a^2 \cdot b$
Keratella sp. I	$5.46 \cdot a^2 \cdot b + 0.29 \cdot a^3$
Keratella sp. II	$23.1 \cdot a^2 \cdot b + 1.16 \cdot a^2 \cdot b$
Pompholyx sp.	$7.28 \cdot a^2 \cdot b$
Filina sp.	$12.38 \cdot a^2 \cdot b + 1.38 \cdot a^3$
Ascomorpha sp.	$7.28 \cdot a^2 \cdot b$

Les dades de biomassa i densitat pel que fa les espècies, van ser utilitzades per als anàlisis d'espectres de mida de la comunitat, no obstant, per a la comparativa de mitjanes de densitat i biomassa del dia i la nit, es van considerar només les espècies que havien estat trobades en les tres rèpliques del dia i les tres rèpliques de la nit, de tal manera que *Keratella sp.II*, *Ascomorpha sp.* i *Filina sp*. van ser espècies excloses per aquests anàlisis.

De la mateixa manera, algunes espècies amb abundàncies molt baixes, com *Keratella sp.II* i *Ascomorpha sp.,* no van ser trobades en les mostres recol·lectades a diferent profunditat (ja que només es van filtrar 5 litres d'aigua per cada profunditat), i per tant, tampoc estan presents en els anàlisi pertinents.

Finalment, per a la identificació taxonòmica dels individus es van utilitzar els recursos bibliogràfics següents: Les Copépodes des eaux continentales d'Europe Occidentale, *Bernard Dussart; préface de Pierre-P. Grassé,*(1967) Volum I i II. A Key to the freshwater planktonic and semiplanktonic Rotifera of the British Isles, *Rosalind M. Pontin* (1978). Fauna ibérica, *Mª Ángeles Ramos Sánchez* (1990), i el recurs web: Center for Freshwater Biology.(2013) *An Image-Based Key To The Zooplankton Of North America.* Recuperat de http://cfb.unh.edu/cfbkey/html/.

Els individus es van classificar taxonòmicament fins a al nivell més baix possible, el qual va estar el gènere en el cas dels cladòcers i els rotífers, i l'ordre, en el cas dels copèpodes.

Les categories taxonòmiques resultats van ser contrastades finalment amb les dades de zooplàncton aportades per l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA, 2003) de l'embassament de Sau durant el període d'estiu.

3.2.3 Estadística i anàlisi de dades

Per a tots els test estadístics i per a la realització de les gràfiques dels mateixos, es va utilitzar principalment el programa R v.3.5.1 (R Core Team, 2020). Tot i que, també es va utilitzar el programari Microsoft Excel d'Office 365 per al processament d'algunes dades i la confecció d'alguns gràfics.

Per als perfils ambientals de la columna d'aigua pel que fa les variables fisicoquímiques i el perfil de d'abundància i diversitat de fitoplàncton, es van utilitzar les dades proporcionades per l'equip tècnic d'ATLL. Les gràfiques van ser realitzades amb el dissenyador de gràfics d'Excel.

Per a les dades obtingudes a diferent profunditat, i amb l'objectiu de conèixer la distribució dels diferents tàxons a la columna d'aigua, es van realitzar gràfiques de densitat i biomassa per a cada grup taxonòmic on es veuen representades les densitats totals i biomasses mitjanes a cada profunditat.

Seguidament, es va realitzar un Anàlisi de Components Principals (PCA) (Oksanen, J. et al., 2019) amb les dades d'abundància d'individus de cada espècie segons la profunditat mostrejada. Més concretament, es va realitzar un PCA biplot per tal que les espècies quedessin distribuïdes en vectors en funció de la seva abundància segons la profunditat, per comprovar si es donava la relació de determinats tàxons amb diferents posicions en la columna d'aigua. Aquest anàlisi també ens permet veure si la presència d'alguna espècie, es troba estretament lligada a la presència d'una altre o a la inversa.

Pel que fa les dades obtingudes amb les mostres integrades de la totalitat de la columna d'aigua, es va procedir a aplicar mètodes estadístics de comparació de mitjanes per tal de comprovar si existien diferencies significatives durant el dia i la nit, tan pel que fa la densitat (individus/L) com per la biomassa dels individus (µg de pes sec). Primerament, es van transformar les dades aplicant logaritme en base 10 per tal d'obtenir una distribució de les dades més uniforme, ja que, com podíem veure en l'histograma, presentaven una asimetria positiva molt acusada per la gran quantitat de dades amb valors petits en comparació amb les dades de valors més grans (test Shapiro Wilk amb p-valor<0.05). També es va comprovar la homogeneïtat de variàncies amb el test de Levene per tal d'evitar que les diferències en la desviació de les dades dels dos grups donessin com a resultat p-valors inferiors al 0.05. El test utilitzat per a la comparació de mitjanes va ser el test no paramètric de Wilcoxon-Mann Whithney per a dades independents (Gómez-Gómez, Danglot-Banck, & Vega-Franco, 2003), ja que les dades no van presentar una distribució normal (test Shapiro Wilk amb p-valor<0.05). Els resultats obtinguts van ser representats gràficament mitjançant diagrames de caixes o "boxplot" de dia i nit (Wickham, 2016).

Finalment, les dades van ser tractades per tal d'obtenir els espectres de mida per cada rèplica del dia i la nit, per obtenir la relació entre l'abundància i la mida de la comunitat (White, Ernest, Kerkhoff, & Enquist, 2007). Es van delimitar classes de mida en la comunitat de zooplàncton segons la biomassa en base 2 i es va sumar la biomassa de cada interval, aquesta es va normalitzar dividint el seu valor entre la mida de l'interval, i finalment es va realitzar log2 de les biomasses normalitzades i es va portar a terme una regressió lineal entre aquestes i les classes de mida assignades. Amb les pendents de les rectes i les ordenades a l'origen es van fer comparacions de mitjanes amb t-test per comparar els valors obtinguts del dia i la nit.

4. RESULTATS

4.1 Característiques fisicoquímiques i fitoplàncton

La temperatura de l'Embassament de Sau (en el punt de mostreig amb coordenades UTM 2.399831, 41.970251, situat al mig de l'embassament) en el dia del mostreig (08/07/2019) va oscil·lar entre els 6.9 i els 27.5ºC (fig. 4). La temperatura màxima es trobava en les capes superiors, amb una temperatura d'uns 27ºC, aquesta es manté fins als 5 metres de profunditat on disminueix més ràpidament fins a una profunditat d'uns 22.5 metres, i una temperatura de 8ºC, en aquest canvi d'aproximadament 1ºC de disminució per cada metre de fondària, és on hi trobem la capa metalímnion o termoclina.

De la mateixa manera que amb la temperatura, l'oxigen disminueix dràsticament després dels 5 metres de fondària fins a arribar a concentracions en mg/L iguals o inferiors a 1 en els 11 metres, així doncs, és aquí on hi podem ubicar la oxiclina (fig. 4). A diferència de la temperatura, el valor màxim d'oxigen l'observem als 3.27 metres de fondària, coincidint amb la capa d'aigua just per sobre de l'inici de la termoclina.

Pel que fa la terbolesa (en unitats de terbolesa de formacina, FTU) ens trobem una disminució entre els 5 i 10 metres de fondària dels 6 FTU als 3 FTU aproximadament (fig. 4, taula 2). Per altra banda, el disc secchi va donar un resultat de 1.52 metres.

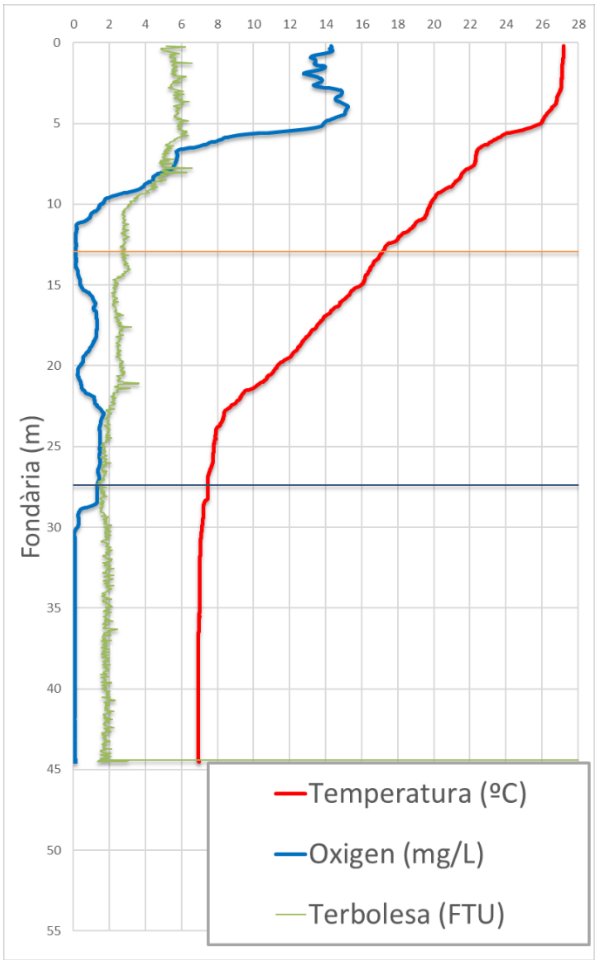


Fig. 4 Perfil de les característiques fisicoquímiques principals al llarg de la columna d'aigua, temperatura (Cº), Oxigen (mg/L) i terbolesa (FTU). Podem veure com la termoclina queda delimitada dels 5 metres als 22.5 metres i la oxiclina dels 5 metres als 11 metres. Les línies vermela i blava horitzontals, corresponen a les comportes de sortida d'aigua de l'embassament

Taula 2. Valors mínim, màxim i mitjana dels principals paràmetres físicoquímics de la columna d'aigua.

Variable	Mitjana	Màx.	Min
Temperatura (ºC)	13,17	27,5	6,90
Oxigen (mg/L)	3,314	16,04	0,87
Terbolesa (FTU)	2,6	6,6	1,29

4.2 El fitoplàncton a l'embassament de Sau

Pel que fa els pigments fotosintètics mesurats, aquests van permetre identificar cinc grups de fitoplàncton presents a l'embassament. El grup més dominant van ser les algues verdes (Chlorophyta), seguit dels cianobacteris (Cyanophyta), les diatomees i els criptòfits (Cryptophyta).

Les diatomees, i els cianobacteris, van presentar els seus màxims en profunditats properes als 5 metres, i la densitat d'aquestes va decréixer a partir dels 5 metres fins a concentracions inferiors a 1µg/L als 15 metres de fondària. Els Criptòfits van presentar els seus màxims en el primer metre de fondària, amb densitats màximes de 4,09 µg/L (fig. 5B). En el cas de les algues verdes, van assolir els seus màxims a la superfície amb gairebé 80µg/L, amb un alt creixement de densitats a partir dels 15 metres fins a la superfície (fig. 5A).

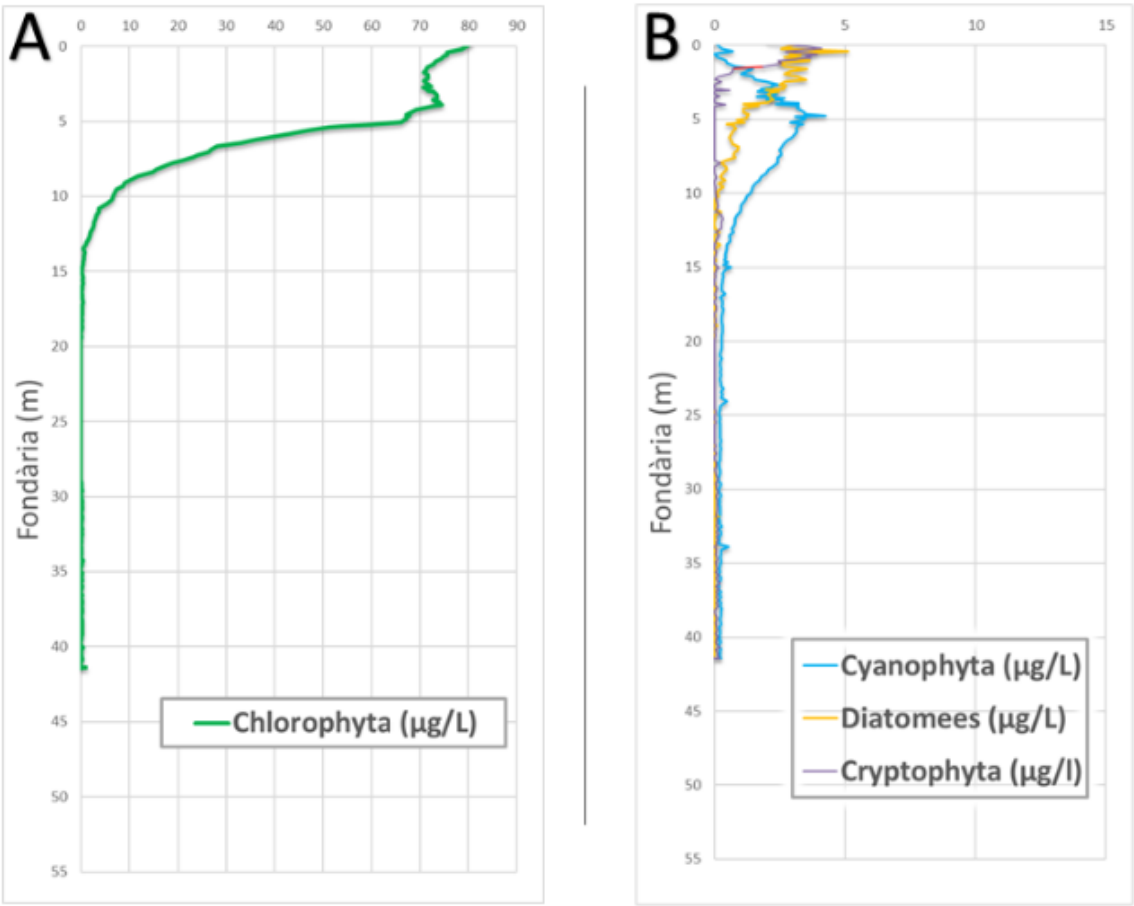


Fig. 5 Perfils ambientals de la columna d'aigua segons pigments fotosintètics. A l'esquerre (fig. 5A) la concentració de cloròfits, a la dreta (fig. 5B), les concentracions de cianòfits, diatomees i criptòfits.

4.3 El zooplàncton a l'embassament de Sau

Les espècies recol·lectades i identificades el 8 de Juliol de 2019 a la columna d'aigua de l'embassament de Sau van estar un total de 10 espècies, entre les quals 4 espècies del grup dels Cladòcers i 6 dels rotífers. Pel que fa els Copèpodes totes les espècies van pertànyer a l'ordre dels Cyclopoids, i aquests es van distingir segons l'estadi de desenvolupament en nauplis (larva), copepodits (juvenils) i Cyclopoids (adults) (taula 3 i taula annex 1).

Taula 3. Zooplàncton identificat en les mostres recol·lectades a l'embassament de Sau tan pel que fa mostres a diferent profunditat com per les mostres de pesca integrada del dia i la nit.

Rotífers	**Cladòcers**	**Copèpodes**
Polyarthra sp. *Keratella sp. I* *Keratella sp. II* *Pompholyx sp.* *Filina sp.* *Ascomorpha sp.*	*Daphnia sp.* *Diaphanosoma sp.* *Ceriodaphnia sp.* *Bosmina sp.*	Nauplis Copepodits Cyclopoids

Fent esment a la composició de la comunitat i a l'abundància en funció de la mida dels diferents grups taxonòmics segons les dades obtingudes en les mostres integrades tan del dia com la nit, s'observa com les espècies identificades de Rotífers i els nauplis són les que presenten biomasses mitjanes més petites pel que fa el conjunt de la comunitat, i en canvi, que les espècies de Cladòcers, com *Daphnia* sp, *Bosmina sp.* i *Ceriodaphnia sp.*, i els Cyclopoids, són les que presenten les biomasses mitjanes més grans. Al contrari passa amb les densitats, on els Rotífers en el seu conjunt i els nauplis, són els que presenten majors densitats, i les espècies de Cladòcers i els Cyclopoids adults, són els que les presenten més baixes (fig. 6).

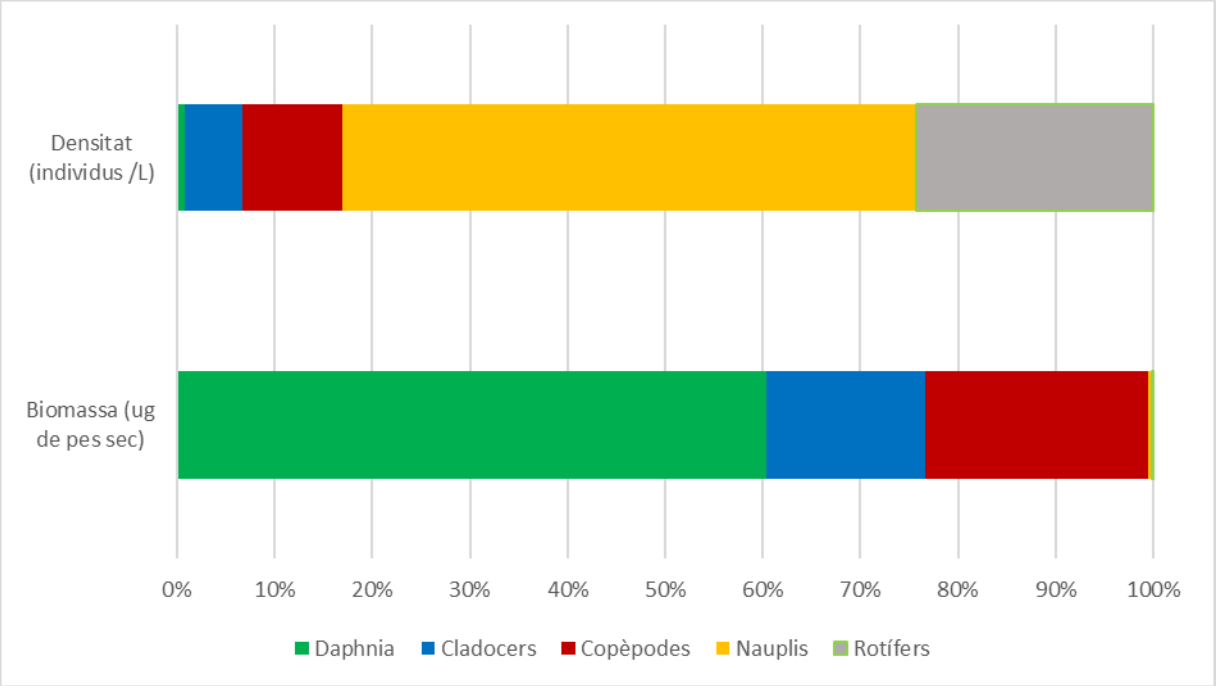


Fig. 6 Densitat total i biomassa total dels diferents grups taxonòmics segons el percentatge que representen en la comunitat

4.3.1 Estratificació del zooplàncton durant el dia

De la mateixa manera que amb els paràmetres fisicoquímics i els pigments fotosintètics, també podem veure un gradient en profunditat pel que fa l'abundància de zooplàncton en la columna d'aigua durant el dia (fig. 7A).

Les densitats mitjanes de les diferents espècies identificades en l'estudi són moderades a la capa superficial (fig. 7A, amb una mitjana de 39.95 individus/L respecte la densitat que presenten a 5 metres de fondària, en la qual hi trobem valors de densitat mitjans de 99.2 individus/L (Fig. annex 1) i totals de 1091 individus/L (Taula annex 2), més del doble que en qualsevol dels altres casos. Pel que fa les densitats totals, els Als 10 metres de fondària, la densitat mitjana d'individus comença a disminuir de manera accelerada i a partir dels 15 m la densitat és quasi nul·la, amb valors al voltant d'un individu per litre d'aigua.

Si ens fixem en les densitats totals dels diferents grups taxonòmics al llarg de la columna d'aigua, podem veure com presenten un patró similar en el qual les màximes densitats es troben als 5 metres de fondària i tot seguit hi ha una disminució ràpida d'aquesta amb l'increment de profunditat (Taula annex 3).

Els rotífers són el grup taxonòmic que mostra els valors més alts de densitat, amb un màxim de 497.6 individus/L als 5 metres de fondària, on l'espècie més abundant es *Polyarthra sp.* amb 181.6 individus/L (Taula annex 2 i 3).

El grup dels nauplis presenta densitats elevades al igual que els rotífers, amb densitats màximes de 403.2 individus/L als 5 metres de fondària, i mínimes als 42 metres de fondària amb 2.2 individus/L (taula annex 3).

D'altra banda, el grup taxonòmic amb menys densitat és el de cladòcers, el qual presenta densitats màximes als 5 metres amb 72.5 individus/L, i densitats mínimes de 1.4 individus/L als 25 i 42 metres. D'entre ells, l'espècie amb menys densitat és *Daphnia sp.,* la qual presenta una densitat mitja de 0.37 individus/L en tota la columna d'aigua (Taula annex 2 i 3, fig. annex 2)

Pel que fa els copèpodes (Cyclopoids i Copepodits), podem observar una lleugera diferència en el patró que segueix la seva densitat en la columna d'aigua. Podem veure com la densitat d'aquests es manté homogènia dels 0 als 5 m amb una densitat d'uns 115 individus/L, al contrari que la resta de grups que presenten densitat menors a la capa més superficial (fig 7A i taula annex 1).

La biomassa no presenta un patró clar al llarg de la columna d'aigua (fig. 7B).En aquest cas, les dades han estat transformades amb logaritme i els Cladòcers han estat separats en dos grups, on *Daphnia sp.* es presenta de manera independent a la resta de Cladòcers, ja que presenta biomassa superior i unes abundàncies relatives molt baixes, per l'altre banda, s'han agrupat la resta de Cladòcers, *Bosmina sp., Diaphanosoma sp.* i *Ceriodaphnia sp.,* que mostraren unes biomasses considerablement menors i abundàncies majors. Els grups d'espècies més petites, com són els Nauplis i el Rotífers, no presenten una distribució de biomassa diferencial respecte la columna d'aigua, només en el cas dels Rotífers podem observar un repunt als 10 metres de profunditat i també un petit augment a partir dels 25 metres fins als 42.

Pel que fa als grups de Copèpodes, que inclou els individus adults i els copepodits, i els Cladòcers petits, podem apreciar una lleugera tendència negativa de la seva biomassa a mesura que la profunditat és major, i si ens referim només als Cladòcers petits podem observar com les màximes biomasses s'observen a la superfície de l'embassament.

Finalment, els Cladòcers petits presenten dades de biomassa màximes als 0 metres de fondària, no obstant, es manté una elevada biomassa dels individus independentment de la profunditat ja que podem veure pics alts de biomassa a totes les profunditats. Pel que fa *Daphnia sp*. no es va trobar als 5 metres, 30 metres i 42 metres, així que la línia no segueix una tendència, per altre banda és l'espècie que presenta la biomassa mitjana més elevada (degut a la seva gran mida).

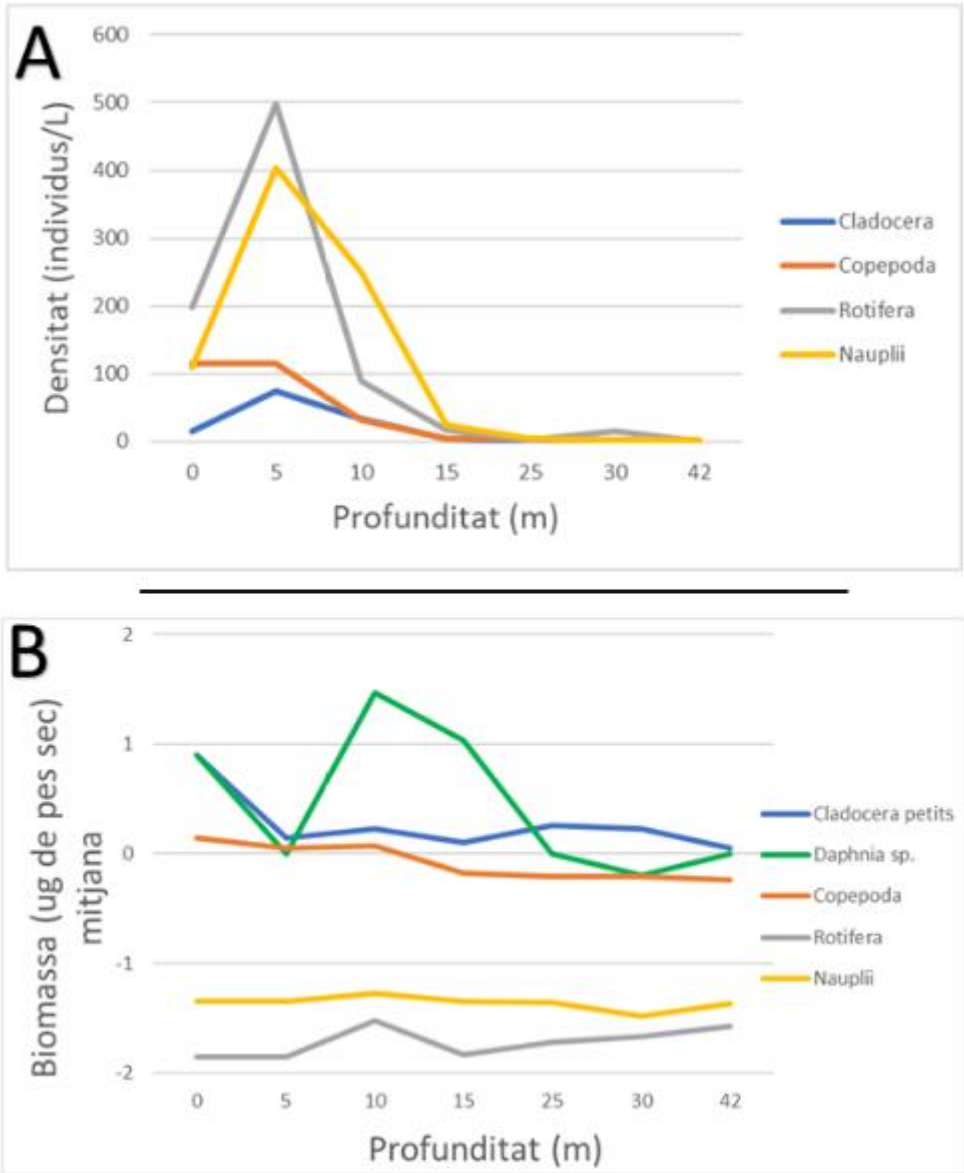


Fig. 7 A dalt (fig. 7A), Gradient de densitats (individus/L), a baix (fig. 7B) biomassa (ug de pes sec), per a cada grup taxonòmic en funció de la profunditat.

Quan analitzem la relació entre la distribució de les mostres de zooplàncton segons la profunditat (PCA de la fig. 8), podem veure com el primer eix separa clarament els primers 10 metres de fondària de la columna d'aigua amb la resta (explica un 62.4% de la variància) de les densitats. També com les espècies més abundants als 5 m tenen un gran pes en aquest eix i, per altre costat, com *Fillina sp.* presenta un patró molt diferenciat a causa que a diferència de la resta d'espècies presenta la densitat màxima a 30 metres de profunditat. El segon eix, que explica el 17.9% de la variància total, sobretot ve determinat pel patró diferencial dels cladòcers i copèpodes més grans (per exemple, *Daphnia sp.* i

Cyclopoids) en les capa superficials, amb un patró més homogeni en els primers 10 metres de profunditat de l'embassament de Sau i, per tant, sent més abundant als 0 i 10m de profunditat respecte a la resta de taxons.

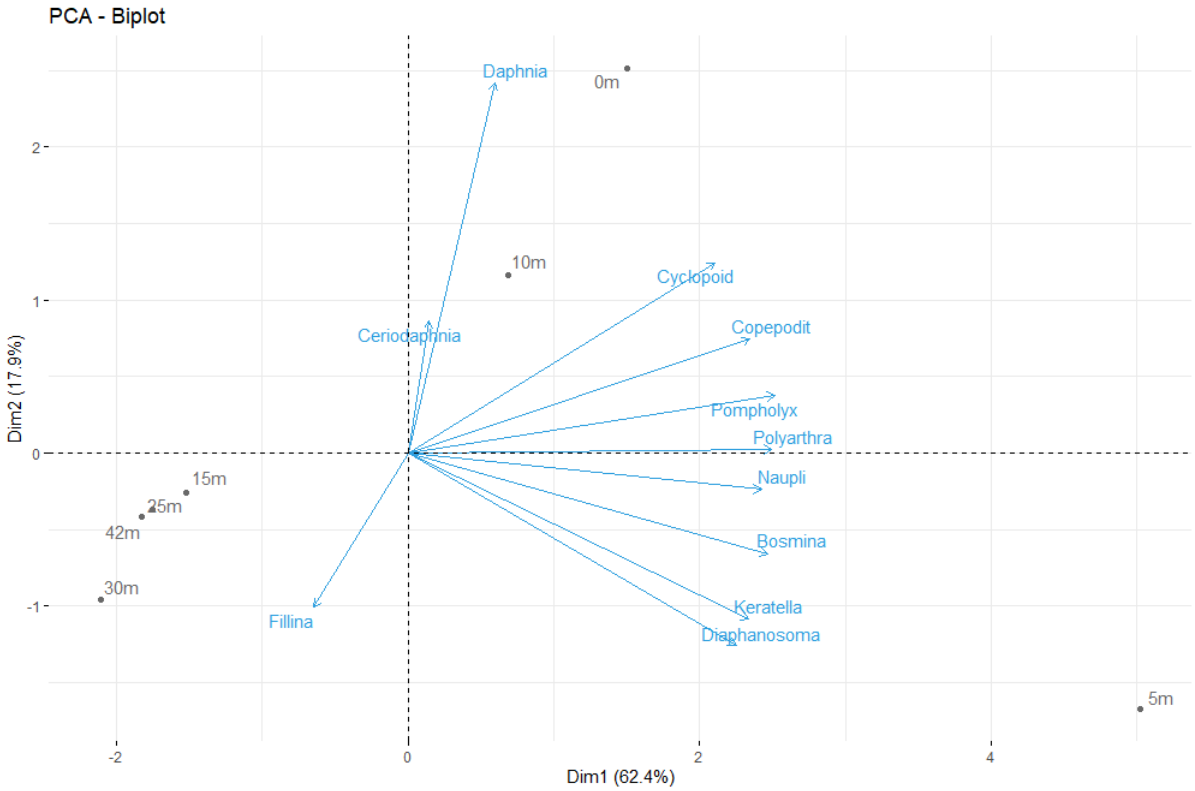


Fig. 8 PCA d'espècies segons la profunditat. La variable profunditat es pot observar en negre, i les espècies formen els vectors en blau.

4.3.2 Distribució del zooplàncton dia/nit

4.3.2.1 Anàlisi dels canvis de densitat i biomassa

Si ens referim a les densitats i la biomassa, no hi ha un patró clar entre el dia i la nit (taula 4, fig. 9 i fig. 10). S'ha de tenir en compte que les dades de densitat presenten heterogeneïtat de variàncies molt marcada (fig. 9) per les diferències en la dispersió de les dades diürnes i nocturnes, i a més es disposa d'un número de mostres baix per a aquest anàlisi (3 mostres integrades de dia i 3 mostres integrades de nit).

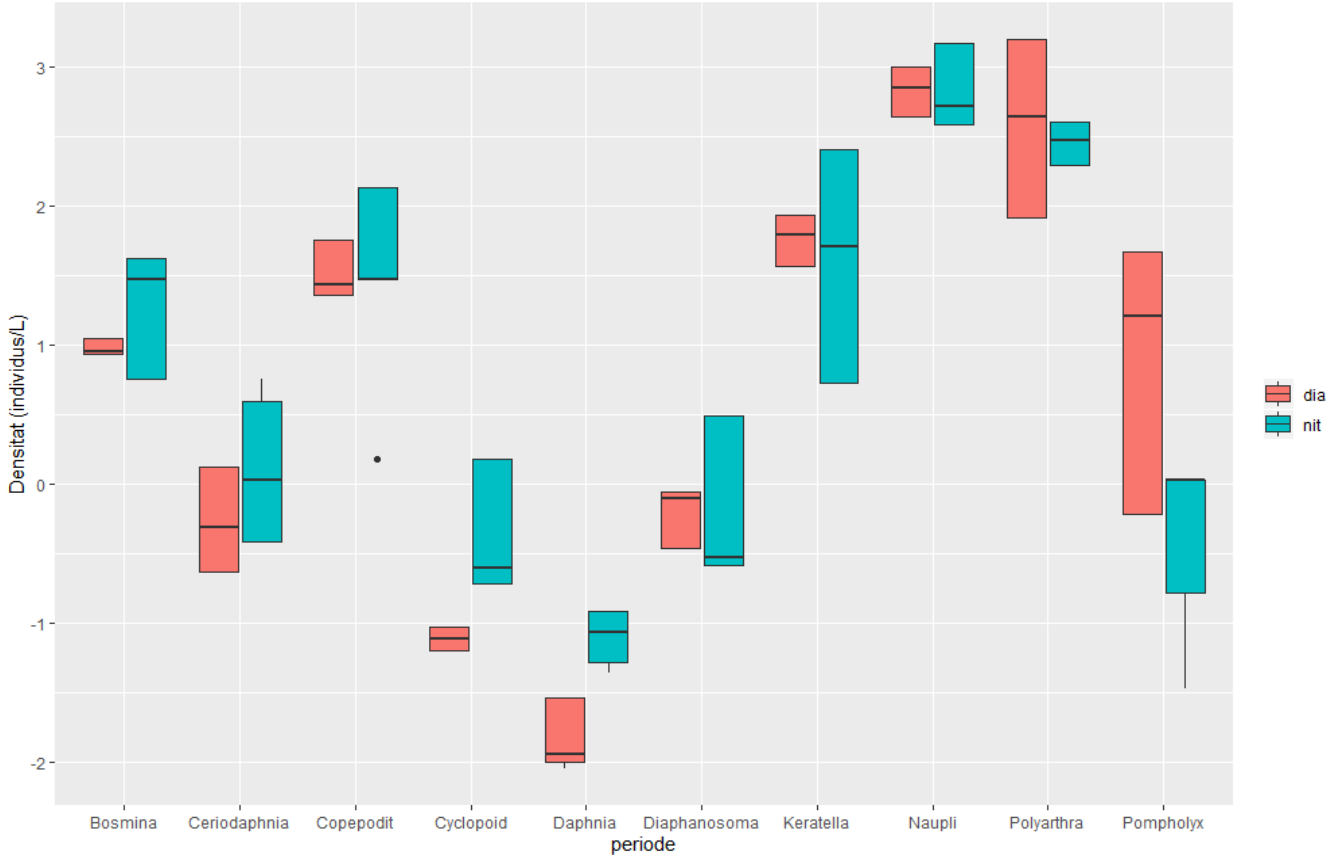


Fig. 9 Diagrama de caixes de les mitjanes de densitat (individus/L) dels resultats obtinguts durant el dia i durant la nit.

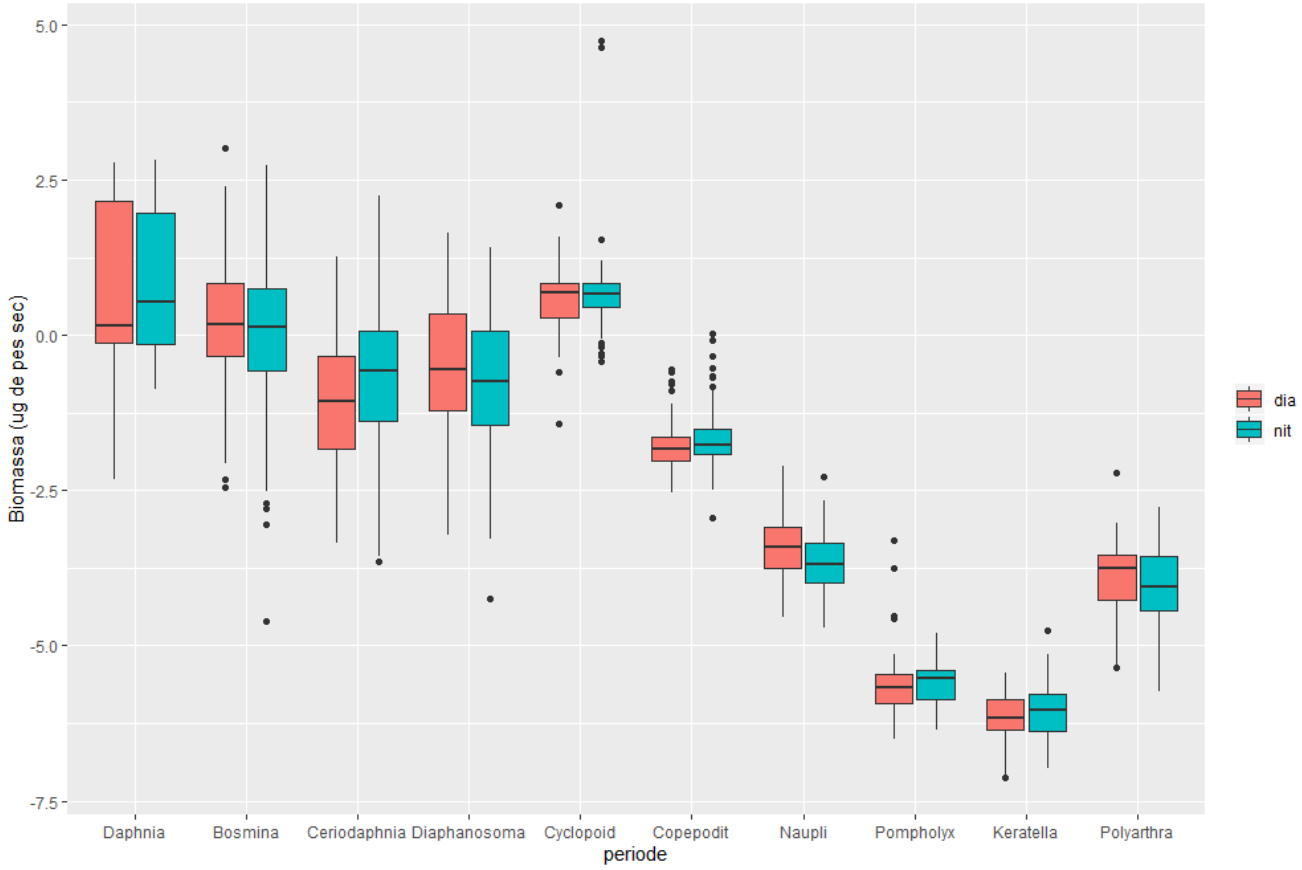


Fig. 10 Diagrama de caixes de les mitjanes de biomassa (µg de pes sec) dels resultats obtinguts durant el dia i durant la nit.

Les espècies que presenten densitats superiors durant la nit, són *Daphnia sp., Bosmina sp*, *Ceriodaphnia sp*., i les formes adultes i juvenils de l'ordre dels Cyclopoids (Wilcoxon-Mann Whitney, p-valor<0.05, taula 4, fig. 9). Per el contrari, les espècies *Diaphanosoma* sp., *Pompholyx* sp. i *Polyarthra* sp. mostren densitats més elevades durant el dia (Mann-Whitney, p-valor<0.05, taula 4, fig. 9).

Si ens referim a la biomassa, *Ceriodaphnia sp*. és la única espècie que la mostra més elevada a la nit (Wilcoxon-Mann Whitney, p-valor <0.05, taula 4, fig 10). En canvi, *Polyarthra sp.* i el grup de copèpodes en desenvolupament inicial, els naupli, presenten una biomassa mitjana superior durant el dia (Wilcoxon-Mann Whitney, p-valor <0.05, taula 4, fig. 10).

Taula 4. Les tres primeres columnes de l'esquerre mostren les densitats (individus/L) mitjanes ± la desviació estàndard (SE) i el P-valor resultat de la comparació de les mitjanes de densitat del dia i la nit per a cada espècie. Les tres columnes següents mostren el mateix però per les dades de Biomassa (µg de pes sec). P-valor significatiu indicat amb ** (test de Wilcoxon Mann-Whitney).

	Densitat (ind/L) mitjana ± SE		p-valor de densitat	**Biomassa(ug pes sec) mitjana ± SE**		**p-valor de biomassa**
TAXON	**DIA**	**NIT**		**DIA**	**NIT**	
Daphnia	0,17 ± 0.23	0,35 ± 0.18	<0.001**	4.7 ± 1.45	4,1 ± 1.09	0,81
Bosmina	2,84 ± 0.05	3,84 ± 0.38	<0.001**	2,04 ± 1.01	1,73 ± 1.17	0,25
Ceriodaphnia	0,82 ± 0.3	1,19 ± 0.41	<0.001**	0.5 ± 0.49	0.81 ± 1.04	<0.001**
Diaphanosoma	0,84 ± 0.18	0,99 ± 0.51	0.001**	0,95 ± 1.14	0,85 ± 1.15	0,29
Cyclopoid	0,33 ± 0.07	0,78 ±0.4	<0.001**	2 ± 0.53	1.94 ± 0.37	0,86
Copepodit	4,7 ± 0.18	5,74 ± 0.31	<0.001**	0,2 ± 0.48	0,22 ± 0.49	0,15
Naupli	17,02 ± 0.15	17,2 ± 0.25	0.14	0,04 ± 0.43	0,03 ± 0.49	<0.001**
Pompholyx	3,19 ± 0.8	0,77 ± 0.55	<0.001**	0,004 ± 0.5	0,004 ± 0.35	0,3
Keratella	5,87 ± 0.15	6,32 ± 0.69	0.38	0,002 ± 0.38	0,003 ± 0.44	0,19
Polyarthra	15,34 ± 0.52	11,85 ± 0.12	<0.001**	0,02 ± 0.55	0,02 ± 0.6	0,03 **

4.3.2.2 Espectres de mida del zooplàncton

Els espectres de mida permeten veure la relació entre la biomassa dels individus i la seva abundància donant com a resultat un model lineal entre aquestes dues variables. S'observa com s'estableix aquesta relació d'abundància i mida per a cadascuna de les rèpliques analitzades (fig. 11). A la part superior hi trobem les tres rèpliques diürnes i a la part inferior les tres rèpliques nocturnes. Podem observar com en tots els casos es forma un patró lineal clar de relació negativa entre les variables de biomassa i abundància, donant evidència de que els individus més petits, són els que presenten abundàncies superiors.

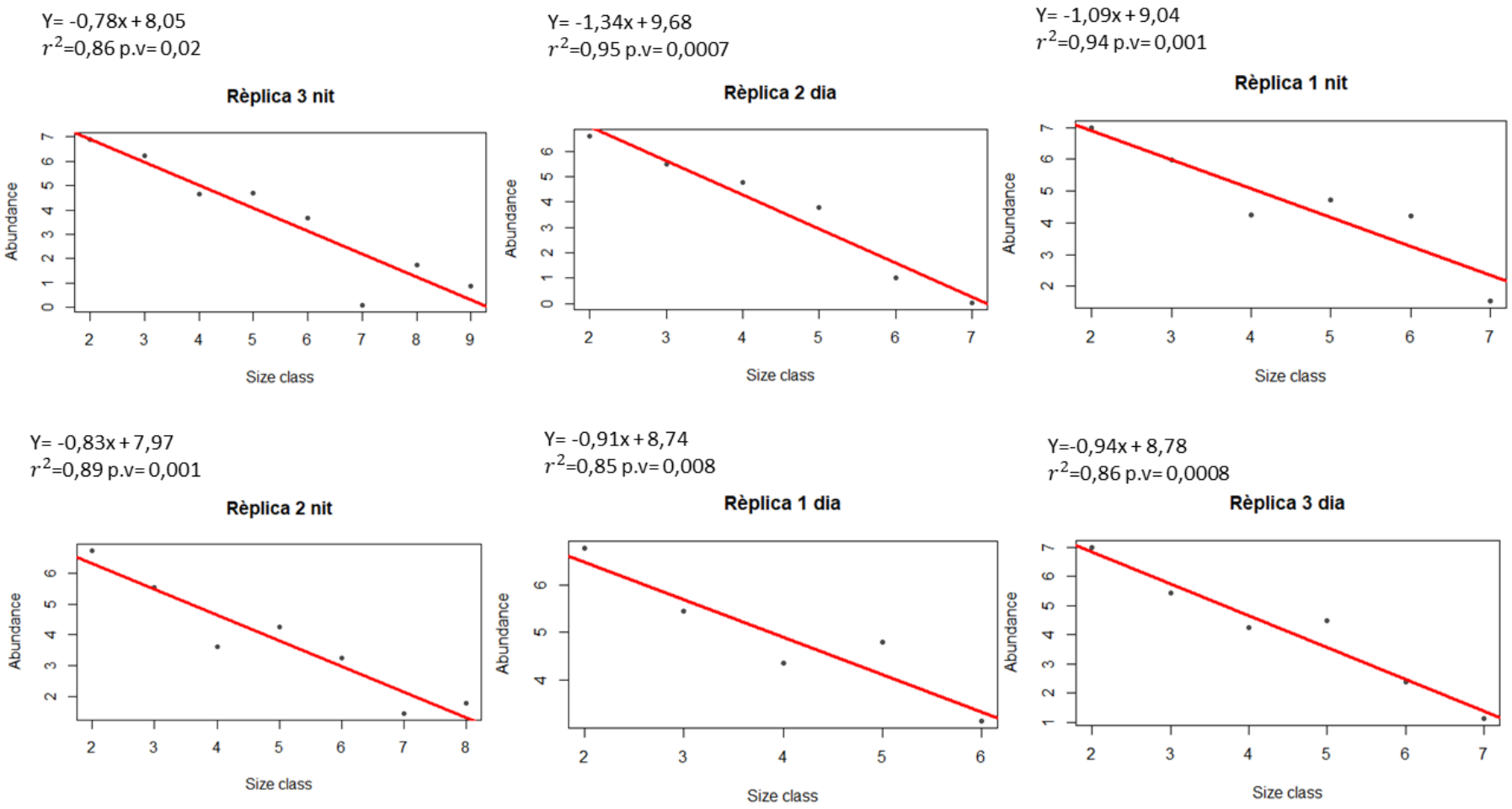


Fig. 11 Espectres de mida que relacionen les biomasses normalitzades amb les classes de mida establertes. Les tres gràfiques de dalt corresponen a les rèpliques diürnes, i les tres gràfiques de baix a les rèpliques nocturnes. A dalt a l'esquerre de cada gràfic podem veure l'equació de la recta corresponent, el coeficient r^2 i el p-valor resultat de la regressió lineal.

Per altre banda, hi ha una tendència a tenir una pendent mitjana més elevada en les rèpliques diürnes que en les nocturnes (fig. 12B) malgrat les diferències no siguin significatives (t-test, p-valor > 0.05), i de la mateixa manera un valor en l'origen o "intercept" més petit durant la nit que durant el dia però sense diferències significatives (t-test, p-valor > 0.05) (fig.12A).

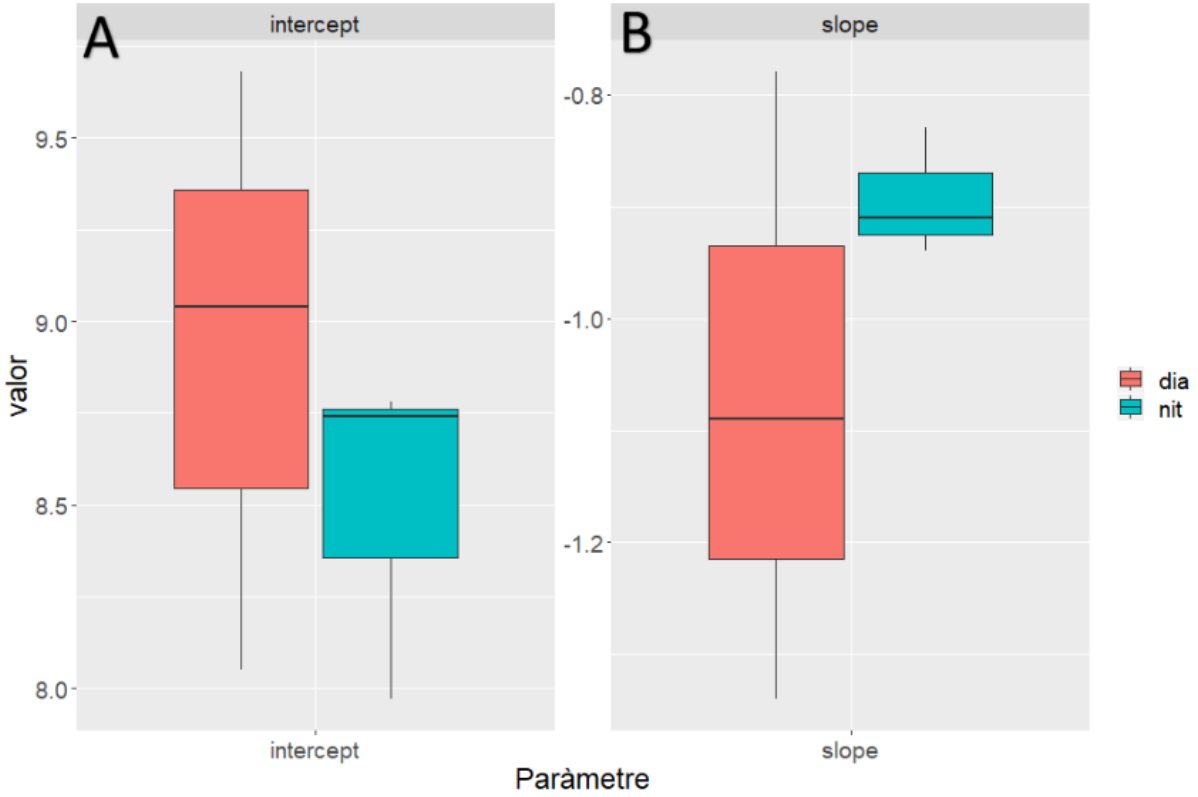


Fig. 12 A l'esquerre, boxplot dels valors mitjans de pendent (slope) i a la dreta, boxplot de l'ordenada a l'origen (intercept), resultants dels espectres de mida de la figura 11.

5. DISCUSSIÓ

L'embassament de Sau presenta una forta estratificació durant l'estiu, en la qual es formen diferents capes d'aigua amb propietats fisicoquímiques i biològiques diferents. Aquesta estratificació es veu determinada pels canvis de densitat de l'aigua, en els quals l'aigua més densa ocupa les parts profundes o hipolímnion, i la menys densa les capes superficials o epilímnion. La densitat de l'aigua, alhora, està estretament lligada a la temperatura de l'aigua, ja que les aigües més fredes presenten major densitat i s'ubiquen a les parts més profundes, i les més càlides una densitat menor i ocupen les parts superficials de l'embassament per donar com a resultat la capa metalímnion o termoclina, que forma una capa de transició entre l'hipolímnion i l'epilímnion. De la mateixa manera, la densitat i temperatura que presenta l'aigua de l'embassament també influeix en com els inputs del riu Ter s'hi incorporen (Armengol et al., 2000; Marcé et al., 2006).

Durant l'època anterior a l'estiu, la primavera, l'aigua que arriba amb el riu és més càlida i menys densa que l'aigua de l'embassament, ja que la quantitat d'aigua per superfície que presenta el riu és inferior a la de l'embassament i s'escalfa amb anterioritat. Com que l'aigua del riu és més càlida, aquesta s'incorpora i es barreja amb les aigües superficials, aportant una gran quantitat de matèria orgànica a la capa superior que es tradueix en un increment de l'activitat fotosintètica. Això fa que a finals de la primavera, l'embassament presenti una alta càrrega de matèria orgànica i d'oxigen dissolt a les capes superficials, que en arribar l'estiu i produir-se l'estratificació, vagi disminuint amb la profunditat a causa de la respiració animal, la descomposició bacteriana i l'absència de barreja de l'aigua.(Ordóñez Salinas, 2010).

Així doncs, els canvis de densitat, els quals es troben determinats per les variables de temperatura i composició química i orgànica de l'aigua, són el factors principal que determinen la ubicació de la termoclina en l'embassament i el règim de barreja de la columna d'aigua.

L'estratificació en l'embassament, que fa impossible la barreja de la totalitat de la columna d'aigua, i l'alta incidència de la llum durant l'estiu, fa que observem com una alta biomassa fitoplanctònica ocupa les capes superiors de l'embassament (fig. 5), on podem trobar les seves principals forces conductores com son la disponibilitat de llum i de nutrients. La presència del fitoplàncton és pràcticament nul·la a partir dels 15 metres de fondària, coincidint amb l'esgotament de la llum i també de l'oxigen. Els cloròfits són el grup dominant durant aquest període i evidencien l'increment de matèria orgànica que pateix l'embassament durant l'estiu (Becker et al., 2010). Aquesta alta productivitat fitoplanctònica, entre altres factors com per exemple els sòlids en suspensió, es troba relacionada amb la terbolesa, de tal manera que l'augment de la biomassa del fitoplàncton limita el

pas de la llum a les capes inferiors. Pel que fa les cianofícies, podem veure com presenten major concentració als 5 metres de fondària, i al contrari que la resta de fitoplàncton no s'observen els seus màxims a la superfície de l'aigua. Després dels 5 metres la seva concentració disminueix amb l'augment de la profunditat.

Tal i com passa amb la biomassa total de fitoplàncton, el zooplàncton presenta un patró al llarg de la columna d'aigua si ens referim a la densitat d'individus per litre. S'observa com hi ha una estratificació en les densitats de zooplàncton al llarg de la columna d'aigua, el qual es troba marcat per la disponibilitat d'oxigen. Aquest fenomen queda reflectit en el PCA (fig. 8), que separa les espècies en dos blocs en els quals aquestes es troben associades a profunditats superiors als 10 metres, zona per sobre de la qual hi trobem l'augment en la concentració d'oxigen i també les floracions de biomassa fitoplanctònica. La hipòxia en les aigües més profundes farien que la major part del zooplàncton es trobés concentrat en l'oxiclina, dels 5 als 10 metres, durant el període diürn (M. R. Roman, Pierson, Kimmel, Boicourt, & Zhang, 2012; Michael R. Roman, Brandt, Houde, & Pierson, 2019).

En aquesta capa òxica, els cladòcers i copèpodes més grans (*Daphnia* sp. i Cyclopoids) es troben distribuïts majoritàriament als 0 i 10 metres de profunditat. Aquest fet es podria donar per la competència que s'estableix entre aquestes espècies més grans i les més petites pels recursos. Aixi doncs, el fet de trobar màxima densitat de copèpodes, cladòcers petits i rotífers als 5 m podria estar determinat per una major competència amb *Daphnia* sp. i copèpodes grans en les altres capes òxiques de l'embassament (0 i 10m), on aquestes espècies més grans serien més competitives, per exemple, per la alta capacitat de filtració que presenta *Daphnia*. D'aquesta manera, podria explicar-se l'associació de *Filina* sp. amb profunditats d'uns 30 metres, en ser més petita, podria resistir millor les baixes concentracions d'oxigen als 30m de profunditat i evitar la competència. (Conde-Porcuna et al., 2004; Ordóñez Salinas, 2010). Aquesta competència entre les espècies grans i les petites, per exemple entre *Daphnia* sp. i *Bosmina* sp., la trobem descrita en la hipòtesi d'eficiència de mida (Hall, Threlkeld, Burns, & Crowley, 1976), on es defineix la relació negativa que s'estableix entre el zooplàncton herbívor de mida gran i de mida petita. Aquesta hipòtesi planteja que en ambients amb poca pressió d'espècies planctívores, el zooplànncton de mida gran es trobarà en posició dominant per la seva major capacitat filtradora (ja que la mida i la capacitat filtradora són proporcionals), no obstant, en ambients amb presència de peixos planctívors hi ha un incerement relatiu d'espècies de mida petita. La dismniució de l'espècie *Daphnia* sp. acompanyada de l'augment de l'espècie *Bosmina* sp., s'ha pogut observar en un estudi realitzat a l'embassament de Sau entre els anys 1999 i 2007 (Ordóñez Salinas, 2010), essent un indicador de la competència interespecífica entre aquestes dues espècies.

Per altre banda, als 5m de profunditat hi trobem també un pic de cianofícies, que no suposen un aliment de qualitat per als cladòcers i copèpodes herbívors (Lampert, 1987). Així, com s'ha observat en altres estudis, l'abundància de cianofícies està relacionada amb una baixa densitat de zooplàncton herbívor de mida gran, per el seu baix valor nutricional, perquè físicament interfereix amb l'òrgan de filtració del zooplàncton o perquè els cianobacteris generen toxines. Aquests afectes es veuen disminuïts en zooplàncton de mida petita, com rotífers i cladòcers petits (Bartrons et al., 2015).

A més a més, i seguint amb els patrons de distribució del zooplàncton, les espècies de copèpodes són més resistents a la forta radiació ultraviolada de les capes superficials de l'embassament per la capacitat d'acumular carotenoides (Hansson & Hylander, 2009), fet que donaria més arguments a la major presència de copèpodes en aquestes capes (Roman, Brandt, Houde, & Pierson, 2019; Roman et al., 2012).

Com s'ha esmentat anteriorment, la migració del zooplàncton es dona de manera diària segons la llum i per tal d'evitar els depredadors. Aquests habitualment realitzen desplaçaments verticals en la columna d'aigua en les quals descendeixen durant el dia per refugiar-se i ascendeixen durant la nit per alimentar-se, no obstant, si el desplaçament vertical no es pot portar a terme bé sigui per la manca de profunditat o bé perquè les condicions a l'hipolímnion són adverses, com en el cas dels llacs i embassaments eutròfics on s'hi produeix un esgotament de l'oxigen, podria donar lloc a la migració horitzontal. És important que els anàlisis en relació a aquest fenomen siguin específics per a cada espècie o bé segons els diferents grups ecològics, ja que cada espècie o grup ecològic de zooplàncton presentarà diferents tendències a l'hora de migrar segons les seves preferències tròfiques, la seva capacitat nedadora o la seva mida (Sprules, 1984).

Pel que fa les diferències en la comunitat de zooplàncton del dia i la nit, no podem dir que aquestes no siguin significatives ni que no responguin a l'atzar. Tot i que alguns resultants pel que fa la biomassa i la densitat han resultat ser significatius, aquests s'han d'agafar amb pinces, ja que haguessin calgut més dades per portar a terme tests estadístics comparatius de mitjanes per evitar la falta de normalitat i les diferències en la dispersió de les dades. Per tant, no podem dir que a la zona lacustre de l'embassament de Sau hi hagi diferències rellevants en densitat i biomassa de zooplàncton del dia i la nit (fig. 9 i fig. 10). Si ens fixem en la densitat, podem apreciar un lleuger augment d'aquesta en les espècies de major mida durant la nit, com és el cas de *Daphnia* sp., *Bosmina* sp., *Ceriodaphnia* sp. i els Cyclopoids adults, i en canvi, una lleugera tendència a l'alça durant el dia en les espècies de mida menor, com en el cas dels rotífers i els nauplis, fet que coincideix amb la major capacitat de moviment de les espècies grans de zooplàncton i amb la major facilitat per ser depredades pels peixos (depredadors visuals). Per altra banda, no trobem diferències importants de biomassa entre el dia i la

nit, per tant, semblaria que la biomassa no és una variable que en aquest estudi es vegi afectada per les diferències de lluminositat i el que aquesta comporta. La biomassa en aquest estudi rau en la diferent mida dels organismes dins la mateixa espècie. Així doncs, quan dins de cada espècie tenim en compte la mida dels diferents individus les diferències entre dia i nit esdevenen pràcticament inexistents.

Tot i això, com s'ha esmentat, caldrien més dades per tal de comprovar si realment hi ha un desplaçament cap a les vores de l'embassament per part de les espècies de mida més gran durant el dia en resposta a la pressió dels depredadors, i si hi ha una tendència de les espècies de mida menor a desplaçar-se cap al centre de l'embassament seguint un patró de migració inversa per evitar el zooplàncton carnívor i la competència per els recursos.

Per altre banda, els espectres de mida han permès valorar globalment les diferències entre el dia i la nit a nivell de la comunitat. Podem destacar un pendent més pla durant la nit, que correspondria a una comunitat amb més quantitat de zooplàncton de mida gran, i un pendent més acusat durant el dia, indicant que hi ha una major quantitat d'individus de mida petita, resultat esperat en relació a la capacitat del zooplàncton de mida més gran per migrar i per ser susceptible a ser depredats pels peixos. Tot i això els resultats no han estat concloents un cop s'han comparat els pendents del dia i la nit i, per tant, tampoc podem dir que la composició de la comunitat pel que fa les classes de mida establertes sigui significativament diferent d'un període a l'altre.

Així doncs, en l'embassament de Sau, segons les dades recol·lectades en aquest projecte no podem dir que s'hi doni la migració horitzontal, doncs caldrien més estudis per esbrinar quines són les tendències migratòries que segueix el zooplàncton en l'embassament.

El fet de que a l'embassament de Sau no s'hi dona una migració horitzontal com a tal podria ser degut, en primer lloc, a la llarga distància que trobem entre el centre de l'embassament i les seves vores, en el cas del punt de mostreig escollit per aquest projecte, aquest es troba just al mig de l'embassament, aproximadament a 500 metres del litoral. Per altra banda, la variabilitat pel que fa el nivell de l'aigua de l'embassament, el qual es troba fortament condicionat per les avingudes del riu Ter i les pluges, i per les extraccions d'aigua per el subministrament d'aigua a la ciutats de Barcelona i Girona, no farien possible el creixement i conservació de macròfits en el litoral els quals servirien com a refugi pel zooplàncton en front a la depredació pels peixos. Per últim, i tenint en compte els arguments anteriors, el zooplàncton podria buscar refugi en zones de la columna d'aigua amb poca arribada de la llum a causa de l'alta productivitat de l'embassament, la qual es tradueix en una major terbolesa. Aquest fet podria donar condicions favorables a profunditats mitjanes de l'embassament amb suficient

concentració d'oxigen, per exemple als 10 metres, sense haver d'aplicar un gran esforç en el desplaçament cap a les vores per buscar un refugi millor. De fet, en altres estudis en els quals s'ha estudiat la distribució del zooplàncton en ambients amb hipòxia en aigües profundes i falta de litorals amb macròfits, s'ha pogut veure que el zooplàncton tolera baixes concentracions d'oxigen dissolt (Kimmel, Boicourt, Pierson, Roman, & Zhang, 2010; Roman, Brandt, Houde, & Pierson, 2019; Roman et al., 2012), per aquesta raó caldrien dades a diferents profunditats durant la nit que ens permetessin comprovar la distribució del zooplàncton en l'embassament de Sau en absència de llum.

Finalment, també cal esperar als resultats de la resta d'embassaments, llacs i estanys d'arreu del món que participen en el projecte Gleon "*Day 'N' NightZ",* amb els quals esperem, es pugui elaborar una descripció detallada de com es donen els patrons de migració tenint en compte propietats fisicoquímiques i biològiques dels embassaments i llacs. Però sobretot, poder observar la capacitat de la migració horitzontal en aquests sistemes lenítics tenint en compte les condicions d'anòxia en funció de la profunditat.

6. CONCLUSIONS

- L'estratificació de l'oxigen en l'embassament es troba marcat per una forta disminució d'aquest a partir dels 10 metres de fondària, coincidint amb el descens dels valors de densitat del zooplàncton.
- La comunitat de fitoplàncton es troba dominada per els cloròfits, amb màxima abundància a la superfície, coincidint amb la zona on s'ha trobat màxima presència de *Daphnia* sp.
- La comunitat de zooplàncton de l'embassament està formada per una alta proporció de rotífers, entre els més abundants els del gènere *Polyarthra*, *Keratella*, *Pompholyx* i *Filina*, seguit per els copèpodes, tots de l'ordre dels Cyclopoids, i amb menys abundància, els Cladòcers, del gènere *Diaphanosoma*, *Bosmina*, *Ceriodaphnia* i *Daphnia*.
- La distribució vertical diürna del zooplàncton es troba determinada per l'oxigen i la composició del fitoplàncton, així com també per la competència interespecífica. La densitat màxima de zooplàncton es troba als 5 metres de fondària, a excepció de *Daphnia* sp. que es troba als 0 i 10 metres de fondària i els Cyclopoids que es troben amb més densitat a la superfície.
- No hi ha resultats concloents entre el dia i la nit pel que fa la biomassa i la densitat, així que no podem dir que a l'embassament de Sau s'hi doni migració horitzontal de zooplàncton a causa de l'anòxia. Caldrien més estudis per acabar d'entendre els fenòmens de migració horitzontal i vertical a l'embassament de Sau en relació al grau d'anòxia d'aquest.

7. BIBLIOGRAFIA

ACA, A. C. de l'Aigua. (2003). Proposta d'Estudi dels embassaments Catalans segons la directiva 2000/60/CE del Parlament Europeu. Retrieved from https://www.llobregatdigital.cat/noticia/18650/l-aca-te-previst-destinar-mes-de-sis-milions-deuros-per-a-restaurar-la-vegetacio-de-ribera

Armengol, J., Carlos Garcia, J., Comerma, M., Roura, M., Dolz, J., & Straskraba, M. (2000). The thermal structure of Sau Reservoir (NE: Spain): A simulation approach. *Ecological Modelling*, *125*(2–3), 109–122. https://doi.org/10.1016/S0304-3800(99)00176-3

Armengol, J., & Dolz, J. (2004). *La gestión a corto plazo del agua de los embalses*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/228903435

Bartrons, M., Einarsson, Á., Nobre, R. L. G., Herren, C. M., Webert, K. C., Brucet, S., … Ives, A. R. (2015). Spatial patterns reveal strong abiotic and biotic drivers of zooplankton community composition in Lake Mývatn, Iceland. *Ecosphere*, *6*(6), 1–20. https://doi.org/10.1890/ES14-00392.1

Becker, V., Caputo, L., Ordóñez, J., Marcé, R., Armengol, J., Crossetti, L. O., & Huszar, V. L. M. (2010). Driving factors of the phytoplankton functional groups in a deep Mediterranean reservoir. *Water Research*, *44*(11), 3345–3354. https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.03.018

Bernardi, R. D. E. (2007). Methods for the estimation of zooplankton abundance. *Environmental Science*, 59–86.

Brucet, S. B. (2004). *Zooplankton structure and dynamics in Mediterranean marshes (Empordà Wetlands): a size-based approach*.

Burks, R. L., Lodge, D. M., Jeppesen, E., & Lauridsen, T. L. (2002). Diel horizontal migration of zooplankton: Costs and benefits of inhabiting the littoral. *Freshwater Biology*, *47*(3), 343–365. https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2002.00824.x

Conde-Porcuna, J. M., Ramos-Rodríguez, E., & Morales-Baquero, R. (2004). El zooplancton como integrante de la estructura trófica de los ecosistemas. *Ecosistemas*, *13*(2), 23–29.

Cormema, M., García, J., Armengol, J., & Simek, K. (2003). *Heterotrophic microbal processes in the Sau Reservoir*.

Custodio Gimena, E. (2011). *Els recursos hídrics a Catalunya. Dades i conceptes bàsics*.

Doubek, J. P., Goldfarb, S. K., & Stockwell, J. D. (2020). Should we be sampling zooplankton at night? *Limnology and Oceanography Letters*. https://doi.org/10.1002/lol2.10151

Fryer, G. (1957). The Food of Some Freshwater Cyclopoid Copepods and its Ecological Significance. *The Journal of Animal Ecology*, *26*(2), 263. https://doi.org/10.2307/1747

Fusé, V. S., Priano, M. E., Juliarena, M. P., & Guzmán, S. A. (2019). La Barrancosa. Una invitación a conocer lagunas pampeanas. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/338115643

Gómez-Gómez, M., Danglot-Banck, C., & Vega-Franco, L. (2003). Sinopsis de pruebas estadísticas no paramétricas. Cuándo usarlas. *Neurosurgery*, *10*(3), 301–307. https://doi.org/10.1227/00006123-198203000-00001

Hall, D. J., Threlkeld, S. T., Burns, C. W., & Crowley, P. H. (1976). The Size-Efficiency Hypothesis and the Size Structure of Zooplankton Communities. *Annual Review of Ecology and Systematics*,

7(1), 177–208. https://doi.org/10.1146/annurev.es.07.110176.001141

Hansson, L. A., & Hylander, S. (2009). Effects of ultraviolet radiation on pigmentation, photoenzymatic repair, behavior, and community ecology of zooplankton. *Photochemical and Photobiological Sciences*, *8*(9), 1266–1275. https://doi.org/10.1039/b908825c

Kimmel, D. G., Boicourt, W. C., Pierson, J. J., Roman, M. R., & Zhang, X. (2010). The vertical distribution and diel variability of mesozooplankton biomass, abundance and size in response to hypoxia in the northern Gulf of Mexico USA. *Journal of Plankton Research*, *32*(8), 1185–1202. https://doi.org/10.1093/plankt/fbp136

Lampert, W. (1987). Laboratory studies on zooplankton-cyanobacteria interactions. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, *21*(3), 483–490. https://doi.org/10.1080/00288330.1987.9516244

Lauridsen, T. L., Pedersen, L. J., Jeppesen, E., & Søndergaard, M. (1996). The importance of macrophyte bed size for cladoceran composition and horizontal migration in a shallow lake. *Journal of Plankton Research*, *18*(12), 2283–2294. https://doi.org/10.1093/plankt/18.12.2283

Marcé, R., Moreno-Ostos, E., Ordóñez, J., Feijoó, C., Navarro, E., Caputo, L., & Armengol, J. (2006). Nutrient fluxes through boudaries in the hypolimnion of Sau reservoir: expected patterns and unanticipated processes. *Limnetica*.

Mondéjar, S. (2009). *Estudi de les pressions ambientals de la conca del Ter i disseny de les instal· lacions per al seu control*.

Ordóñez Salinas, J. (2010). *LIMNOLOGÍA DEL EMBALSE DE SAU Relaciones del zooplancton , la clorofila y los sólidos en suspensión con el clima lumínico del agua zooplancton , la clorofila y los sólidos en suspensión con el clima lumínico del agua*.

Preisendorfer, R. W. (1986). Secchi disk science: Visual optics of natural waters. *Limnology and Oceanography*, *31*(5), 909–926. https://doi.org/10.4319/lo.1986.31.5.0909

Ramos-Jiliberto, R., Carvajal, J. L., Carter, M., & Zúñiga, L. R. (2004). Diel vertical migration patterns of three zooplankton populations in a Chilean lake. *Revista Chilena de Historia Natural*, *77*, 29–41.

Roman, M. R., Brandt, S. B., Houde, E. D., & Pierson, J. J. (2019). Interactive effects of Hypoxia and temperature on coastal pelagic zooplankton and fish. *Frontiers in Marine Science*, *6*(MAR), 1–18. https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00139

Roman, M. R., Pierson, J. J., Kimmel, D. G., Boicourt, W. C., & Zhang, X. (2012). Impacts of Hypoxia on Zooplankton Spatial Distributions in the Northern Gulf of Mexico. *Estuaries and Coasts*, *35*(5), 1261–1269. https://doi.org/10.1007/s12237-012-9531-x

Sabater, S., Guasch, H., Martí, E., Armengol, J., Vila, M., & Sabater, F. (1992). The Ter, a Mediterranean river system in Spain. *Limnetica*, *8*, 141–149.

Shaw, A. K. (2016). Drivers of animal migration and implications in changing environments. *Evolutionary Ecology*, *30*(6). https://doi.org/10.1007/s10682-016-9860-5

Sprules, W. G. (1984). Towards an optimal classification of Zooplankton for lake ecosystem studies. *SIL Proceedings, 1922-2010*, *22*(1), 320–325. https://doi.org/10.1080/03680770.1983.11897309

Tavşanoğlu, Ü. N., Brucet, S., Levi, E. E., Bucak, T., Bezirci, G., Özen, A., … Beklioğlu, M. (2015). Size-based diel migration of zooplankton in Mediterranean shallow lakes assessed from in situ

experiments with artificial plants. *Hydrobiologia*, *753*(1), 47–59. https://doi.org/10.1007/s10750-015-2192-6

Thorton, K., Kimmel, B., & Payne, F. (1990). Reservoir Limnology: Ecological Perspectives. In *Reservoir Limnology: Ecological Perspectives* (pp. 9–10). Retrieved from https://books.google.es/books?id=0Iq-jeJHGBIC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false

Turner, J. T. (1984). Zooplankton feeding ecology: contents of fecal pellets of the copepods Eucalanus pileatus and Paracalanus quasimodo from continental shelf waters of the Gulf of Mexico. *Marine Ecology*, *15*, 27–46.

Vidal i Celma, A. (2006). Evolució d'un poblament. El llac artificial de Sau. *Treballs de La Societat Catalana de Biologia*, *0*(31), 14-26–26. https://doi.org/10.2436/tscb.v0i31.6269

White, E. P., Ernest, M., Kerkhoff, A. J., & Enquist, B. J. (2007). Relationship between body size and abundance in ecology. *Trends in Ecology and Evolution*, *22*(6), 323–330. Retrieved from http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf

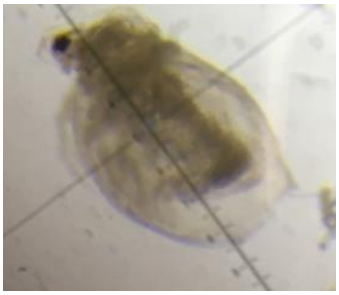
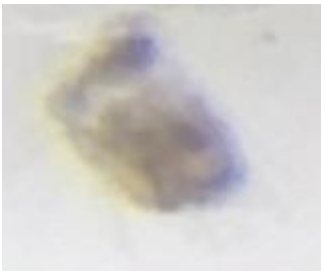
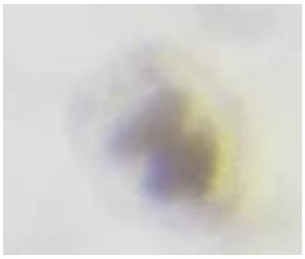
Wojtal, A., Frankiewicz, P., Izydorczyk, K., & Zalewski, M. (2003). Horizontal migration of zooplankton in a littoral zone of the lowland Sulejow Reservoir (Central Poland). *Hydrobiologia*, *506–509*, 339–346. https://doi.org/10.1023/B:HYDR.0000008627.55462.e1

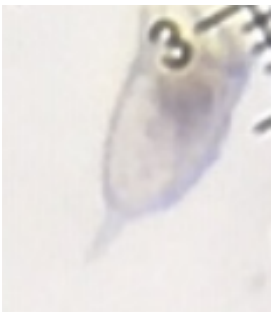
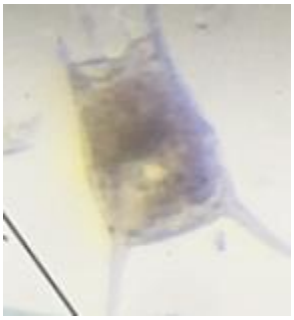
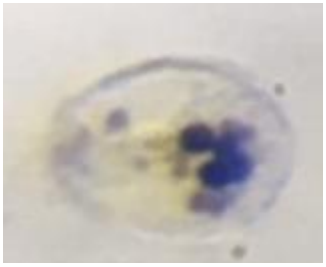
Zarauz, L., & Irigoien, X. (2008). Effects of Lugol's fixation on the size structure of natural nano-microplankton samples, analyzed by means of an automatic counting method. *Journal of Plankton Research*, *30*(11), 1297–1303. https://doi.org/10.1093/plankt/fbn084

8. ANNEXES

8.1 ESPÈCIES DE ZOOPLÀNCTON

Taula annex 1 Fotografies d'espècies identificades en les diferents mostres de l'embassament de Sau. Font pròpia

Copèpodes	
Cyclopoid	Naupli
Cladòcers	
Daphnia sp.	*Diaphanosoma* sp.
Bosmina sp.	 *Ceriodaphnia* sp.
Rotífers	
 *Polyarthra* sp.	 *Pompholyx* sp.

 *Keratella* sp. I	 *Keratella* sp. II
Filina sp. Font: Center for Freshwater Biology (2003-2013)	 *Ascomorpha* sp.

8.2 DADES DE DENSITAT DEL ZOOPLÀNCTON.

Taula annex 2. Dades de densitat (individus/L) total per als diferents grups taxonòmics i per el conjunt d'aquests en funció de la profunditat.

Profunditat (m)	Suma de densitat(ind/L)				
	Cladocera	Copepoda	Rotifera	Naupli	Total
0	15,4	116	199,2	108,8	439,4
5	75,2	115,2	497,6	403,2	1091,2
10	33,2	32,8	89,6	249,6	405,2
15	5	4,2	17,2	23,8	50,2
25	1,4	3,6	2,6	4,2	11,8
30	2,2	0,6	16,2	2,6	21,6
42	1,4	1	1,4	2,2	6

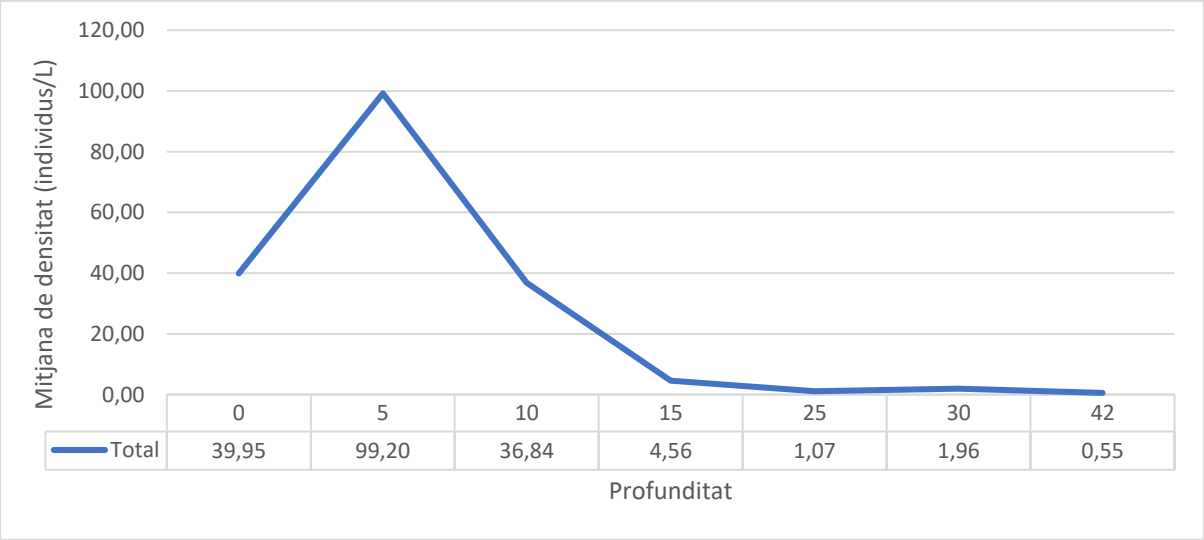


Fig. Annex 1. Mitjana de densitat (individus/L) dels diferents grups taxonòmics en la columna d'aigua.

Taula annex 3. Dades de densitat total (individus/L) per a cada espècie identificada, segons la profunditat.

Profunditat (m)	***Bosmina***	**Copepodit**	**Cyclopoid**	***Daphnia***	***Diaphanosoma***	***Keratella sp.I***	**Naupli**	***Polyarthra***	***Pompholyx***	***Ceriodaphnia***	***Fillina***
0	14	109,6	6,4	1,4	0	12,8	108,8	181,6	4,8	0	0
5	65,6	110,4	4,8	0	9,6	192	403,2	296	8	0	1,6
10	23,6	30,4	2,4	0,8	1,2	36,8	249,6	48	4,8	7,6	0
15	4,8	0,2	4	0,2	0	2,4	23,8	14,2	0,6	0	0
25	1,2	2,4	1,2	0	0	0,6	4,2	1,8	0	0,2	0,2
30	1,2	0,4	0,2	0,2	0	1,4	2,6	3,6	0	0,8	11,2
42	1	0,2	0,8	0	0	0,6	2,2	0,6	0	0,4	0,2

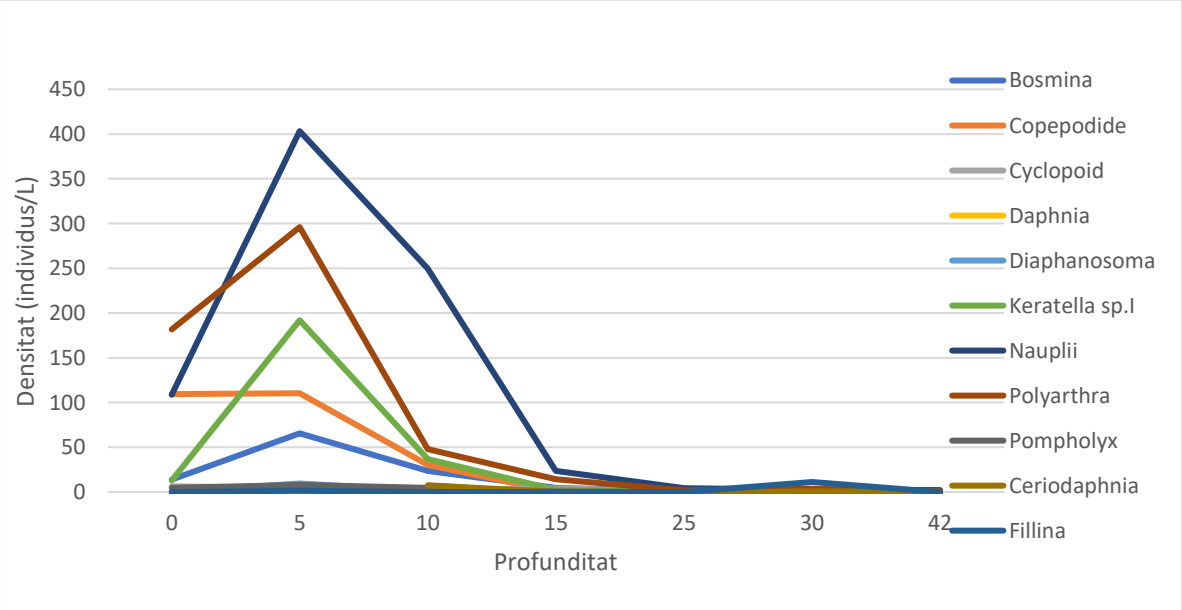


Fig. Annex 2. Densitat (individus/L) total observada durant el dia per a cada espècie identificada, segons la profunditat