



Facultat de Ciències

Memòria del Treball Final de Grau

Metabolisme ecosistèmic i l'estat ecològic en llacunes costaneres

Doble titulació de Biologia i Ciències Ambientals

Estudiant: Arnau Farguell Bosch

Correu electrònic: arnaufb96@gmail.com

Tutor: Dr. Xavier Quintana Pou

Empresa/Institució: Universitat de Girona

Vistiplau tutor:

Nom del tutor: Dr. Xavier Quintana Pou

Empresa/Institució: Universitat de Girona

Correu electrònic: xavier.quintana@udg.edu

Data de dipòsit de la memòria a secretaria de coordinació: 1/6/2021

RESUM

Les llacunes costaneres són nuclis de biodiversitat i tenen un paper ecològic molt important. Moltes d'aquestes es troben en zones amb molta pressió antròpica i, conseqüentment, estan molt amenaçades. És per això que cal tenir coneixement sobre el funcionament d'aquests ecosistemes, així com disposar d'indicadors de qualitat ecològica per poder fer un seguiment i una gestió adequada.

S'estudien tres llacunes costaneres del Baix Ter (NE Península Ibèrica): les Basses d'en Coll, el Rec del Molí i el Ter Vell amb l'objectiu d'entendre el seu funcionament. A més a més, s'investiga si l'ús del metabolisme és adequat com a indicador de qualitat ecològica.

Els resultats mostren un comportament molt variat de les tres llacunes a causa de les diferències en aspectes com el flux de l'aigua o les pertorbacions que fa necessari l'anàlisi per separat de cada bassa. En fer-ho, s'observa com a les Basses d'en Coll, el funcionament ve determinat per les entrades d'aigua que generen un "efecte rentat" millorant-ne la qualitat ecològica. El Rec del Molí, en canvi, funciona com un canal més que una llacuna, i la qualitat ecològica ve determinada per l'entrada de nutrients. Per últim, el Ter Vell té un funcionament que respon al patró d'inundació-confinament, per tant, les condicions meteorològiques són les que determinen el seu estat ecològic.

Es considera que l'ús de les taxes metabòliques com a indicador de qualitat ecològica no és adequat si no es té en compte la resta de factors que condicionen el funcionament de la llacuna.

RESUMEN

Las lagunas costeras son núcleos de biodiversidad i tienen un importante papel ecológico. Muchas de estas se encuentran en zonas con una gran presión antrópica i, consecuentemente, están muy amenazadas. Es por eso que hace falta entender el funcionamiento de estos ecosistemas, así como tener indicadores de calidad ecológica para poder hacer un seguimiento y una gestión adecuada.

Se estudian tres lagunas costeras del Bajo Ter (NE Península Ibérica): Basses d'en Coll, Rec del Molí i Ter Vell con el objetivo de entender su funcionamiento. Además, se investiga si el uso del metabolismo como indicador ecológico es adecuado.

Los resultados muestran un comportamiento muy variado de las tres lagunas a causa de las diferencias en aspectos como el flujo de agua o las perturbaciones que hace necesario el análisis por separado de cada laguna. En hacerlo, se observa que a Basses d'en Coll, el funcionamiento viene determinado por las entradas de agua que generan un "efecto lavado" mejorando la calidad ecológica. El Rec del Molí, en cambio, tiene un funcionamiento más parecido al de un canal que al de una laguna, i la calidad ecológica viene determinada por la entrada de nutrientes. Por último, el Ter Vell tiene un funcionamiento que responde al patrón de inundación-confinamiento, por consiguiente, las condiciones meteorológicas son las que determinan su estado ecológico.

Se considera que el uso de las tasas metabólicas como indicadores de calidad ecológica no es adecuado si no se tienen en cuenta la resta de factores que condicionan el funcionamiento de la laguna.

ABSTRACT

Coastal lagoons are biodiversity cores and play an important ecological role. Many of these are found in areas with high anthropic pressure and are consequently highly threatened. Thus, it is necessary to understand the dynamics of these ecosystems, as well as to have ecological quality indicators to be able to track and apply a suitable management.

We study three coastal lagoons of the Baix Ter (NE Iberian Peninsula): Basses d'en Coll, Rec del Molí and Ter Vell with the main objective to understand their dynamics. In addition, determine whether the use of metabolism is suitable as an indicator of ecological quality.

The results show an unlike behaviour of the three lagoons due to differences in aspects such as water flow or disturbances that require separate analysis of each pond. Accordingly, it is observed that Basses d'en Coll, dynamics are determined by the water inputs that generate a "flushing effect" improving the ecological quality. Rec de Molí, on the other hand, operates as a channel rather than a lagoon, and the ecological quality is determined by the nutrient inputs. Finally, Ter Vell dynamics responds to the flooding-confinement pattern, therefore, the weather conditions are what determine its ecological status.

It is considered that the use of metabolic rates as an ecological quality indicator is not suitable if other factors that condition the lagoon dynamics are not taken into account.

INDEX

1.	INTRODUCCIÓ	1
2.	OBJECTIVES	2
3.	MATERIALS I MÈTODES	2
3.1	Zona d'estudi	3
3.1.1	Basses d'en Coll	4
3.1.2	Ter Vell.....	4
3.1.3	Rec del Molí	5
3.2	Metodologia	5
3.2.1	Obtenció de les taxes metabòliques	5
3.2.2	Anàlisi de dades	7
3.2.3	Criteris ètics i de sostenibilitat	8
4.	RESULTATS.....	8
4.1	Taxes metabòliques com a indicadors.....	8
4.2	Factors que modifiquen la qualitat de l'aigua	11
4.3	Anàlisi detallada de cada llacuna.....	15
4.3.1	Rec del Molí	16
4.3.2	Basses d'en Coll	17
4.3.3	Ter Vell.....	20
5.	DISCUSSIÓ.....	23
5.1	Variació estacional de les taxes metabòliques	23
5.2	Influència de la taxa de renovació	23
5.3	Relació entre el metabolisme i la qualitat	25
6.	CONCLUSIONS	26
7.	BIBLIOGRAFIA	27

1. INTRODUCCIÓ

Les llacunes costaneres són zones d'una gran importància, ja que són nuclis de biodiversitat. Molts estudis s'han realitzat destacant-ne el paper ecològic (Gopal & Junk, 2000; Gibbs, 2000). Tot i això, es troben en zones molt humanitzades i, per tant, estan molt amenaçades (contaminació, eutrofització, desaparició per urbanització, etc.) (Tockner & Stanford, 2002). És per això que estan protegides per diverses directives com la Directiva Marc de l'Aigua (WFD, Directive 2000/60/EC) o la Directiva hàbitats (Directive 92/43/CEE). A més a més, són zones molt variables en funció dels fluxos d'aigua o la influència marina, creant un ventall de llacunes que van des de llacunes d'aigua dolça fins d'hipersalines (Kjerfve, 1994). És per això que cal conèixer el seu funcionament i cal disposar d'indicadors per a la seva gestió.

El metabolisme aquàtic és un descriptor fonamental del funcionament ecosistèmic que permet una millor comprensió dels processos que controlen els balanços del carboni orgànic en els ecosistemes costaners (Kemp & Testa, 2012). El balanç entre la producció bruta i la respiració, la producció neta, permet saber si un sistema és autotròfic o heterotròfic. A més a més, cada cop hi ha més recerca en tècniques basades en les taxes metabòliques per a saber-ne més del funcionament del sistema (Obrador & Pretus, 2013). Avui en dia, és estès l'ús de sondes en continu que donen informació detallada al minut de manera automàtica i ho permet relacionar amb nutrients eutrofització, estat tròfic, etc. (Staehr et al., 2012).

La relació entre el metabolisme de les basses i la qualitat també ha estat àmpliament analitzada. Articles indiquen que hi ha una relació directa entre la producció primària bruta (GPP) o la respiració ecosistèmica (ER) i la qualitat de l'aigua (Uehlinger, 2006; Garnier & Billen, 2007). D'altres, en canvi, remarquen que extreure conclusions amb el simple ús de les taxes de metabolisme com la GPP és extremadament difícil, ja que canvia ràpidament i no té en compte factors com la temperatura, la radiació solar o la hidrologia (Tuttle et al., 2008). Sembla que aquest segon raonament s'està estenent. És per això, que s'investiguen nous indicadors de la qualitat ecològica més enllà de la producció i respiració com la relació entre el fòsfor sedimentat i el dissolt (Serrano et al.,

2017). Altres factors també han sigut relacionats amb la qualitat ecològica, com la taxa de renovació o la variació estacional. Estudis indiquen que l'intercanvi d'aigua de la llacuna afecta positivament, netejant els nutrients i millorant-ne la qualitat dels llacs sempre que aquesta entrada no suposi un focus de contaminació important (Kudelska, 1989). Pel que fa a la variació estacional, s'ha observat que hi pot haver un desacoblament entre l'entrada dels nutrients i el potencial de productivitat a causa dels efectes de la temperatura i de la radiació solar que cal tenir en compte (Bas-Silvestre et al., 2020). Tot i això, el metabolisme pot ser una eina útil si es tenen en compte tots els elements que l'afecten, ja que permetria obtenir dades de qualitat de manera contínua amb un cost molt reduït.

Les llacunes del Baix Ter mostren un ventall molt variat de funcionament, varien molt en aspectes com la salinitat deguda a intrusions marines, taxa de renovació, fluxos o nutrients disponibles, que són importants per a la biodiversitat (D. Boix et al., 2008). A més a més, es troben en una zona molt humanitzada i en una àrea de gran interès turístic que exerceix molta pressió antròpica. És per això que estan protegides dins del Parc Natural del Montgrí, Medes i Baix Ter. Tot i això, es troben alteracions en el règim hídric (principalment pel regadiu) i de contaminació o eutrofització per l'activitat humana (Montaner et al., 2010). És per això que és necessari cercar indicadors de fàcil obtenció.

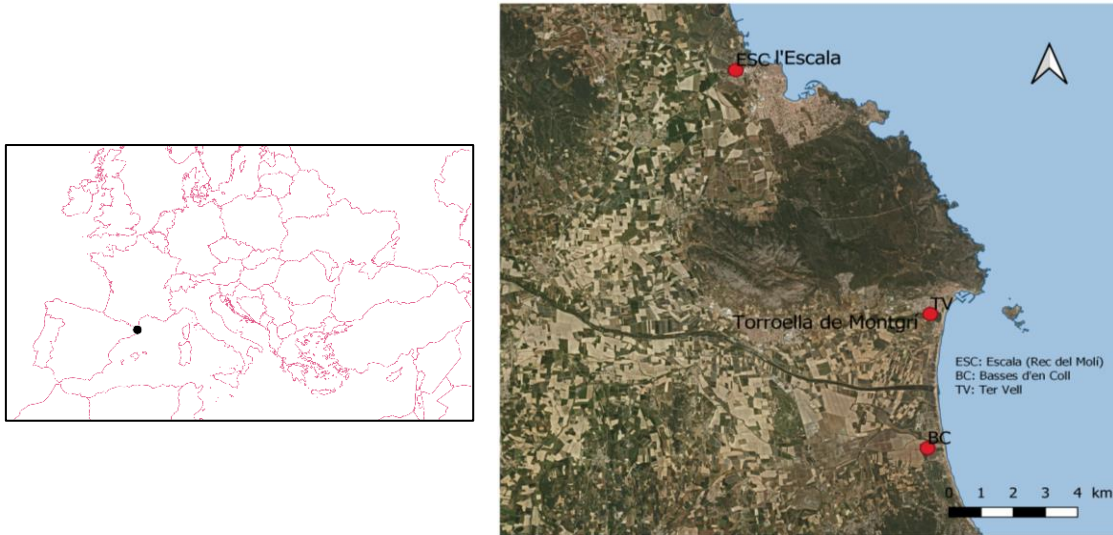
2. OBJECTIVES

The main purpose of this study is to understand the metabolism of three coastal lagoons: Basses d'en Coll, Ter Vell and Rec del Molí lagoons, which have different water turnover.

A second applied objective is to determine if the use of metabolic rates is a suitable method to assess the water ecological quality.

3. MATERIALS I MÈTODES

3.1 Zona d'estudi



Il·lustració 1 i 2.. Situació de la zona d'estudi. Font: pròpia amb QGIS.

La plana del Baix Ter està situada al nord-est de Catalunya, a la comarca gironina del Baix Empordà. S'estén entre els massissos de Begur i el Montgrí, i és dividida en dos pel riu Ter que recorre tota la plana fins a la seva desembocadura, la Gola del Ter, a la Mar Mediterrània. El funcionament del riu en aquest tram final és el típic d'un estuari mediterrani, on la barreja d'aigua dolça amb el mar crea condicions de salinitat i nutrients molt variables (Quintana et al., 2009).

Pel que fa a l'aspecte hidrològic, l'aigua que hi arriba prové fonamentalment de les aportacions d'aigües subterrànies, entrades del mar quan hi ha llevantades, dels recs i les séquies que canalitzen les aigües per al reg agrícola i de diversos torrents naturals que col·lecten l'escolament superficial fins a la plana litoral (Montaner et al., 2010).

L'estudi s'ha realitzat, més concretament, en tres llacunes costaneres d'aigua dolça situades en aquesta plana: Basses d'en Coll, Ter Vell i Rec del Molí. Sistemes costaners que formen part dels *Aiguamolls del Baix Ter* que s'estén al llarg de la costa de la zona dels deltes dels rius Ter i Daró. Les tres llacunes representen el tram final dels principals cursos d'aigua de la plana derivats del riu, els que es coneixen com a recs històrics, de

sud a nord: el rec del Molí de Pals, el rec Vell i el rec de Sentmenat (Montaner et al., 2010).

3.1.1 Basses d'en Coll

Les Basses d'en Coll (a partir d'ara BC a les figures) és la llacuna costanera situada més al sud, Aquesta llacuna en concret, es troba a la desembocadura del riu Daró i actua com a sistema receptor d'una xarxa de canals que distribueix l'aigua per al regadiu dels arrossars i en recullen l'escorrentia superficial. La sortida d'aigua de la llacuna es dona al riu Daró a través de la canalització del *Rec del Molí de Pals*. El conjunt d'arrossars, la llacuna, la zona de dunes i la desembocadura formen l'Espai Natural de Basses d'en Coll, àrea protegida pel PEIN (Badosa et al., 2006) i que, l'any 2010, va rebre la qualificació de Reserva Natural Parcial en formar part del Parc Natural del Montgrí, Medes i Baix Ter.

El règim hídric d'aquesta llacuna és artificial i depèn en gran part del cultiu d'arròs, com a resultat s'observen creixements del cabal a partir del mes de maig, quan s'inicia el cultiu. Tot i això, no s'observen augments significatius en la profunditat de la columna d'aigua, per tant, aquest augment de cabals d'entrada resulten en un augment del cabal de sortida i no acaba afectant el volum de la llacuna (Badosa et al., 2006).

3.1.2 Ter Vell

El Ter Vell (a partir d'ara TV a les figures) és una llacuna costanera d'origen fluvial situada al sud de l'Estartit, dins el terme municipal de Torroella de Montgrí. Antigament era la desembocadura del riu Ter fins que l'any 1792 fou desviat cap a la desembocadura actual, més al sud (Quintana & Comín, 1989). A partir d'aquest desviament, el Ter Vell es va convertir en una llacuna costanera d'aigua dolça amb entrades puntuals d'aigua de mar i aportacions més o menys contínues d'aigua dolça pels canals que drenen la plana de regadiu. També cal destacar que durant la segona meitat del segle XX, fins a la creació de l'estació depuradora de Torroella-l'Estartit l'any 1997 (*EDAR Torroella de Montgrí - Aigües de La Costa Brava*, n.d.), s'hi abocaven aigües residuals parcialment

depurades, que van fer disminuir notablement la qualitat de les seves aigües (Quintana et al., 2009).

El Ter Vell va patir un canvi en el règim hídric entre els anys 2001 i 2002 que va comportar una disminució de les aportacions d'aigua dolça a la llacuna i un increment del temps de residència de l'aigua. Va passar de dependre dels regadius, amb un comportament semblant al de les Basses d'en Coll, a dependre més d'entrades per causes meteorològiques (Badosa et al., 2008).

3.1.3 Rec del Molí

El Rec del Molí o canal de Sentmenat (a partir d'ara ESC a les figures) és un rec obert que es troba al marge esquerre del Ter. La captació d'aigua se situa a Colomers, a una resclosa del segle XV-XVI, i passa pels municipis de Colomers, Jafre, Verges, la Tallada, Bellcaire d'Empordà i l'Escala (Ribas et al., 2010). És en aquest últim municipi on es realitza el monitoreig.

El règim hídric del canal està lligat amb la demanda de reg agrícola, que resulten amb el cabal més elevat en el període maig-setembre, i també depèn en gran part de les condicions meteorològiques (Montaner et al., 2010). Cal destacar que aquest punt de mostreig no es comporta com una llacuna, sinó com un canal.

3.2 Metodologia

3.2.1 Obtenció de les taxes metabòliques, cabal i càrrega d'entrada

La recol·lecció de dades es va fer des del novembre del 2018 fins al juny del 2020. Aquest recull va consistir en la disposició de sondes òptiques (MiniDot, PME, USA) al canal d'entrada i a un punt central de les llacunes, sobre una boia i a uns 30 cm de profunditat, per a proporcionar dades diàries sobre variables químiques (metabolisme), així com de variables físiques com el nivell de l'aigua, temperatura, salinitat, radiació

fotosintèticament activa (PAR) i velocitat del vent. Un cop disposades, un cop al mes, un equip es dirigia a la zona per a descarregar les dades dels aparells, netejar les sondes i per fer mesures in situ de la secció i de la velocitat del corrent.

Un cop les dades obtingudes, es van calcular els valors de metabolisme, GPP (Gross Primary Production) i ER (Ecosystem Respiration) a partir de l'oxigen dissolt amb el sistema BASE (BAYesian Single-station Estimation) (Grace et al., 2015):

$$GPP = \sum_{t=1}^{mesures} A \times PAR_t^p$$

$$ER = ER_{\bar{T}} \times 144$$

A = Constant que representa producció primària per unitat de radiació.

PAR = Radiació fotosintèticament activa. (400 – 700 nm). p = coeficient que reflecteix l'habilitat dels productors en utilitzar la llum.

$ER_{\bar{T}}$ = respiració Arrhenius termo-dependent. \bar{T} = mitjana diària de la temperatura de l'aigua.

144 = nombre intervals de 10 minuts en un dia.

En obtenir aquests dos valors va ser possible calcular també el NEP (Net Ecosystem Production) a partir de l'operació: $NEP = GPP - ER$. (Bas-Silvestre et al., 2020)

Posteriorment es va estandarditzar la respiració per tal d'eliminar l'efecte de la temperatura, R_{20} corresponen a la ER que hi hauria en un moment determinat si la temperatura fos 20 °C:

$$R_{20} = ER \times (\theta^{20-\bar{T}})$$

θ = coeficient de dependència de la temperatura.

Per últim, es va calcular maxGPP₂₀, que correspon a la producció que hi hauria en un moment determinat si la radiació fos màxima i a una temperatura constant de 20C (Bas-Silvestre et al., 2020).

$$\text{maxGPP}_{20} = A \times \text{maxPAR}^p \times (\theta^{20-\bar{T}}) \times 72$$

72 = nombre intervals de 10 minuts durant mig dia, s'estipula que les hores de llum són 12.

Les unitats, en tots els casos, són mil·ligrams per litre i per dia (mg l⁻¹ dia⁻¹).

El cabal es va obtenir a partir de regressions amb el nivell i es van estipular els següents càlculs per a cada bassa:

$$\text{cabal BC} = 6.609 * (\text{nivell del canal}) - 114.808 * (\text{nivell de la llacuna}) + 145.641 * (\text{nivell del mar}) + 1366.698$$

$$\text{cabal ESC} = -1226.2 * (\text{nivell del canal}) + 1561.4 * (\text{nivell de la llacuna}) - 46.5 * (\text{nivell del mar}) + 12725.3$$

$$\text{cabal TV} = 8.535 * (\text{nivell del canal}) - 2.031 * (\text{nivell de la llacuna}) - 2.300 * (\text{nivell del mar}) - 425.383$$

Les càrregues d'entrada es van obtenir a partir del següent càlcul:

$$\text{Càrrega d'entrada} = \text{Cabal d'entrada} * R20$$

3.2.2 Anàlisi de dades

Amb les dades preses, es va procedir a analitzar-les mitjançant l'entorn RStudio.

Per a estudiar l'estat ecològic de les llacunes s'ha utilitzat el mètode QAELS, que basat en la composició i la riquesa d'invertebrats. Els resultats es classifiquen en 5 grups: qualitat alta (color blau), qualitat bona (color verd), qualitat moderada (color groc), qualitat pobra (color taronja), qualitat dolenta (color vermell) (Boix et al., 2005; Quintana et al., 2016).

Per a la comparativa de les llacunes s'ha utilitzat en primera instància el test de Kruskal Wallis, ja que hi ha més de dos grups i no es compleixen els supòsits de normalitat homoscedasticitat. Per a saber quines són les llacunes significativament semblants o diferent s'ha utilitzat el test de Dunn (Dinno, 2017).

Per a la comparativa entre variables contínues (com les taxes metabòliques i el cabal) s'han utilitzat models de regressió lineals (G . N . Wilkinson & C . E . Rogers, 1973).

3.2.3 Criteris ètics i de sostenibilitat

Durant el transcurs de l'estudi he treballat exclusivament amb el tractament de dades a través d'eines informàtiques, només puntualment he realitzat treball de camp per a fer mostrejors. Les dades han sigut proporcionades amb el coneixement i vistiplau dels que les han recollides i analitzades. A més a més, cal remarcar que aquestes persones han ajudat a la interpretació dels resultats.

Per altra banda, el projecte PECT contribueix a la conservació dels espais naturals i a la seva gestió adaptativa, ja que es poden aplicar els resultats en la gestió de l'espai i corregir criteris de gestió.

4. RESULTATS

4.1 Taxes metabòliques

El primer que es va realitzar és una anàlisi comparatiu de les diferents taxes metabòliques per tal de seleccionar les més idònies per a prosseguir amb l'estudi entre les taxes de producció (GPP) i respiració (ER) o les respectives estandarditzades (maxGPP20 i R20).

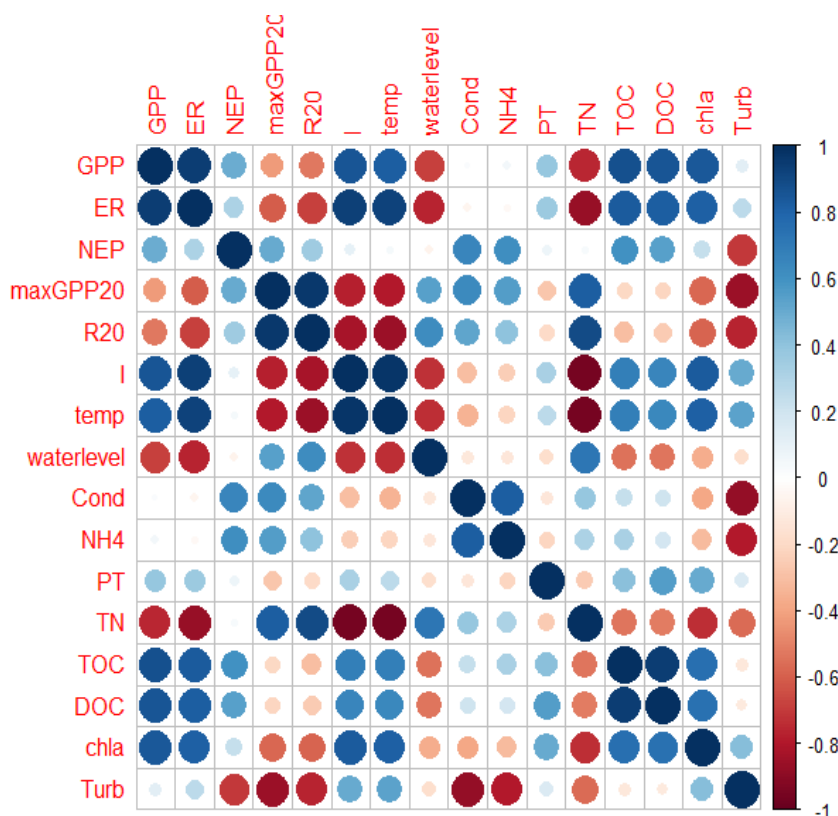


Figura 1. Matriu de correlacions de les taxes metabòliques amb els nutrients i condicions físiques.

La Figura 1 mostra que les taxes metabòliques brutes tenen correlació positiva amb el carboni orgànic total (TOC) i el dissolt (DOC) i negativa amb el nitrogen total (TN), amb les condicions físiques la relació és positiva amb la radiació solar (I) i la temperatura; i negativa amb el nivell de l'aigua.

Per altra banda, les taxes estandarditzades tenen una correlació feble amb el TOC i el DOC i forta i positiva amb el TN. La relació amb la temperatura i la radiació solar és negativa. Si es comparen les taxes entre si s'observa que la relació és negativa, és a dir, quan puja la producció baixa la producció estandarditzada, el mateix passa entre la respiració i la R20.

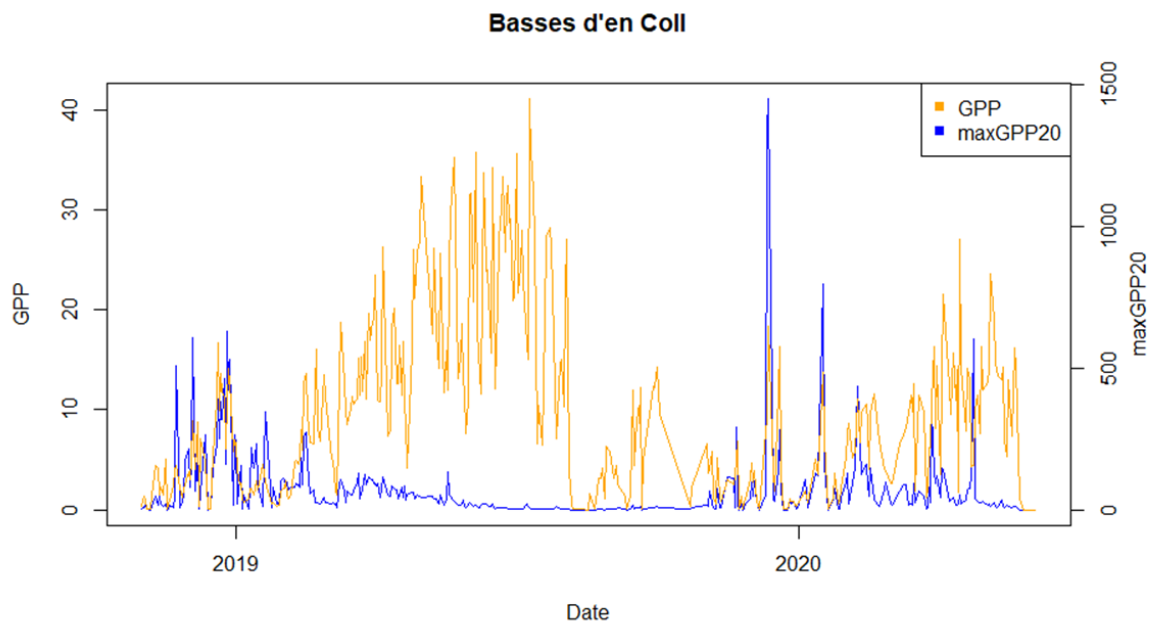


Figura 2. Comportament de la GPP i maxGPP20 al llarg del temps a les Basses d'en Coll.

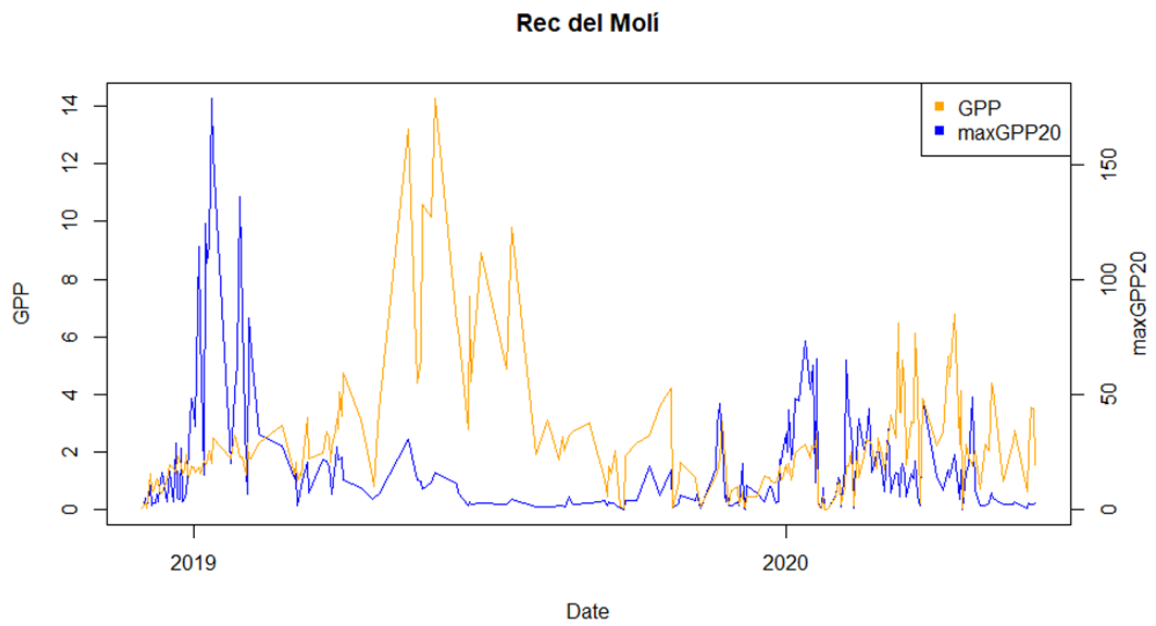


Figura 3. Comportament de la GPP i maxGPP20 al llarg del temps al Rec del Molí.

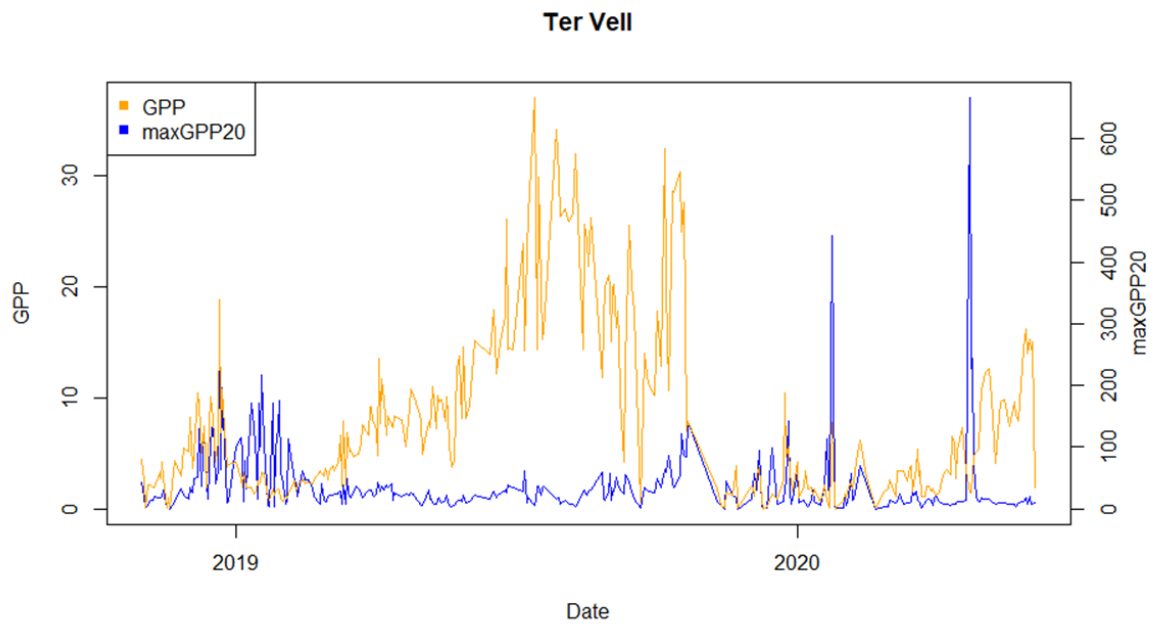


Figura 4. Comportament de la GPP i maxGPP20 al llarg del temps al Ter Vell.

El comportament de la producció bruta i l'estandarditzada al llarg del temps a les tres llacunes (Figures 2, 3 i 4) és completament diferent: la GPP és elevada als mesos d'estiu i baixa a l'hivern mentre que la maxGPP20 és elevada a l'hivern i baixa a l'estiu.

4.2 Relació entre les taxes metabòliques i l'estat ecològic

Es procedeix amb una anàlisi comparatiu del les taxes metabòliques entre les basses: maxGPP20 (producció primària bruta estandarditzada) i R20 (respiració estandarditzada).

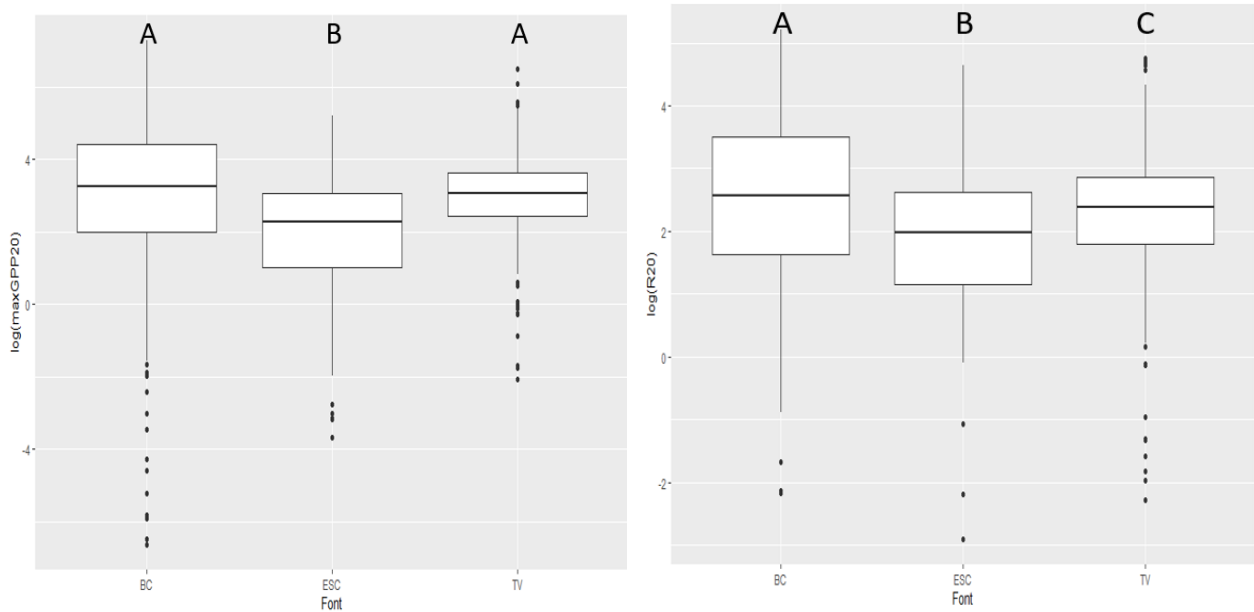


Figura 5. Diagrames de caixa dels logaritmes de la maxGPP20 i R20 respectivament per cada llacuna. Les lletres (A, B i C) representen les semblances entre llacunes en funció del resultat del test de Dunn.

Els resultats dels tests indiquen que hi ha diferències significatives entre els grups: per maxGPP20 p-valor = 6.732e-15 per 2 graus de llibertat, per R20 p-valor = 6.354e-09 per 2 graus de llibertat. En analitzar més en profunditat aquestes diferències, s’observa que no hi ha diferències significatives entre la producció primària de les llacunes de Basses d’en Coll i del Ter Vell, però sí que n’hi ha d’ambdues respecte al Rec del Molí, que té valors més baixos (Figura 5). Per altra banda, en la respiració totes les basses resulten significativament diferents (Figura 5). Cal remarcar que, altre cop, l’Escala té les mitjanes més baixes.

Taula 1. Valors de QAELS a cada llacuna al llarg del temps. En blau: qualitat alta, verd: bona, groc: moderada, taronja: pobre, vermell: dolenta.

	gen-19	abr-19	jul-19	nov-19	gen-20	Mitjana
BC	0.40	0.38	0.67	0.45	0.46	0.47
ESC	0.38	0.34	0.38	0.36	0.42	0.38
TV	0.72	0.46	0.59	0.69	0.72	0.64

Es pot observar que en aquest cas la llacuna amb una qualitat més dolenta és la del Rec del Molí, on la qualitat és dolenta tot l'any. A continuació trobem Basses d'en Coll amb una mitjana de qualitat pobre. Per últim, Ter Vell, amb una qualitat bona de mitjana. Els valors baixos de QAELS no coincideixen amb valors alts de producció, especialment al Rec del Molí, on es troba la mitjana més baixa de maxGPP20, malgrat que el QAELS és sempre dolent (Figura 5, Taula 1).

Per analitzar l'aparent incongruència dels resultats obtinguts entre metabolisme i QAELS es procedeix a estudiar quins paràmetres del metabolisme es relacionen amb el QAELS.

	beta	Adj R ²	P-value
GPP	-	-	0.1906 (n.s.)
ER	-	-	0.2339 (n.s.)
maxGPP20	-	-	0.9946 (n.s.)
R20	-	-	0.5783
Càrrega (Kg/dia)	-5.147e-01	0.2212	0.0496 *
Log (Càrrega (Kg/dia))	-0.05382	0.4317	0.00637 **

Taula 2. Matriu de regressions dels valors de metabolisme amb el QAELS.

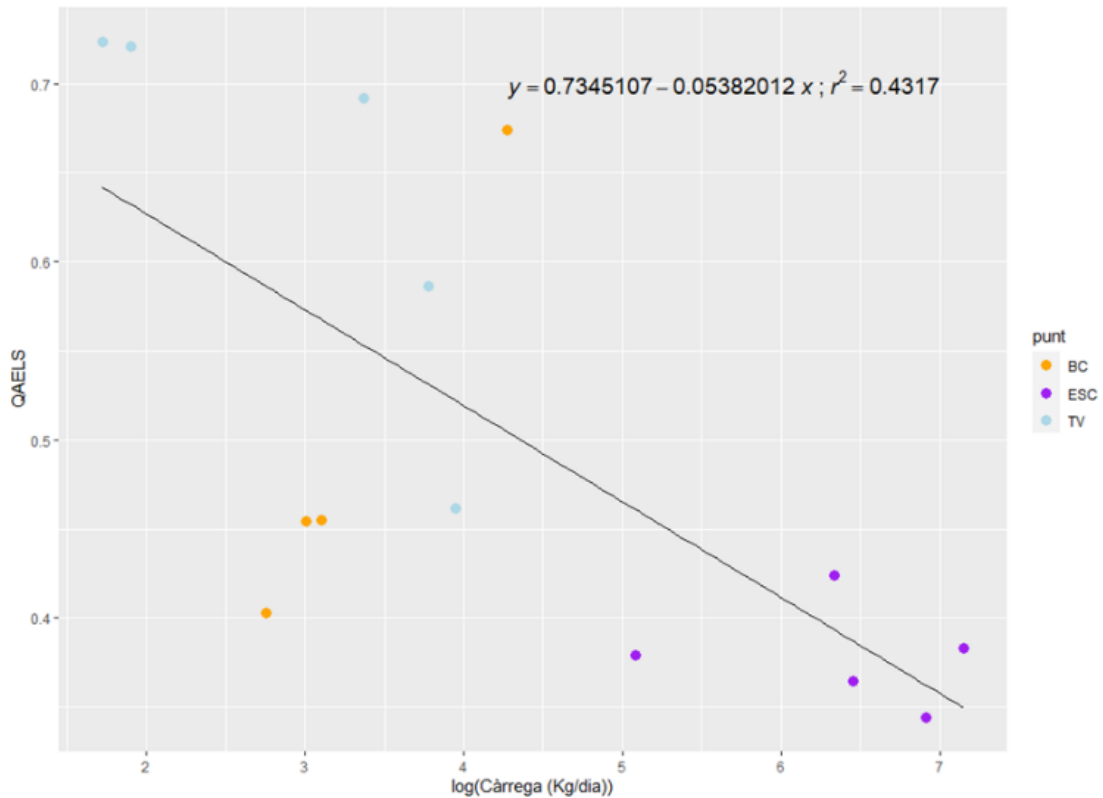


Figura 6. Representació gràfica de la correlació entre el logaritme de la càrrega i QAELS, amb distinció de colors per llacuna.

Els resultats obtinguts a la Taula 2 indiquen que no hi ha relacions significatives entre la producció i la respiració (tan estandarditzades com sense estandarditzar) i la qualitat de l'aigua. Per contra, es va trobar una relació significativa entre la càrrega i el QAELS, amb un p-valor just per sota del llindar de 0.05, però amb l' R^2 ajustada baixa, de 0.2212. Per últim, es va estudiar la relació entre la qualitat de l'aigua i el logaritme de la càrrega i va resultar significativa amb un millor ajustament, amb un p-valor de 0.00637 i R^2 ajustada de 0.4317.

Al realitzar el gràfic (Figura 6) d'aquesta relació s'observa com els punts referents a la llacuna del Rec del Molí (ESC) es troben separats dels de les altres llacunes, per tant, es pot concloure que hi ha un efecte bassa. En conseqüència, es procedirà a analitzar les llacunes per separat.

4.3 Anàlisi detallada de cada llacuna

Es va procedir a estudiar la relació entre la càrrega i els valors de producció i respiració per a copsar quin impacte té aquesta entrada de nutrients amb el metabolisme de la bassa.

Taula 3. Anàlisi de les regressions entre la càrrega d'entrada de cada llacuna i els valors de producció (MaxGPP20) i respiració (R20). Els valors corresponen als p-valors respectius de cada relació.

Llacuna	MaxGPP20			R20		
	p-valor	Adj R ²	beta	P-valor	R ²	beta
Rec del Molí	1.03e-07 ***	0.1864	2.248e-2	3.303e-06 ***	0.1442	9.576e-03
Basses d'en Coll	0.2449 (n.s.)	-	-	0.5880 (n.s.)	-	-
Ter Vell	0.8639 (n.s.)	-	-	0.3959 (n.s.)	-	-

S'observa com la relació entre la càrrega i el metabolisme de l'Escala és significativa amb un p-valor de 1.03×10^{-7} per maxGPP20 i 3.303×10^{-6} per la R20. A més a més, aquesta relació és positiva, quan la càrrega augmenta, també ho fan els valors de metabolisme. Per altra banda, a Basses d'en Coll i Ter Vell no s'observa cap relació.

4.3.1 Rec del Molí

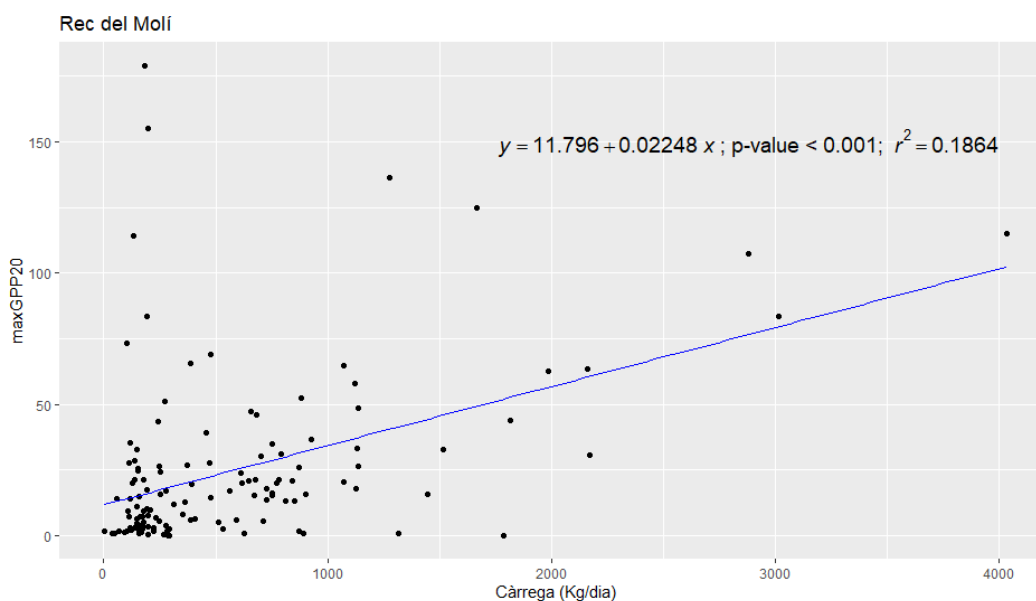


Figura 7. Regressió entre la càrrega i la producció estandarditzada (maxGPP20) al Rec del Molí.

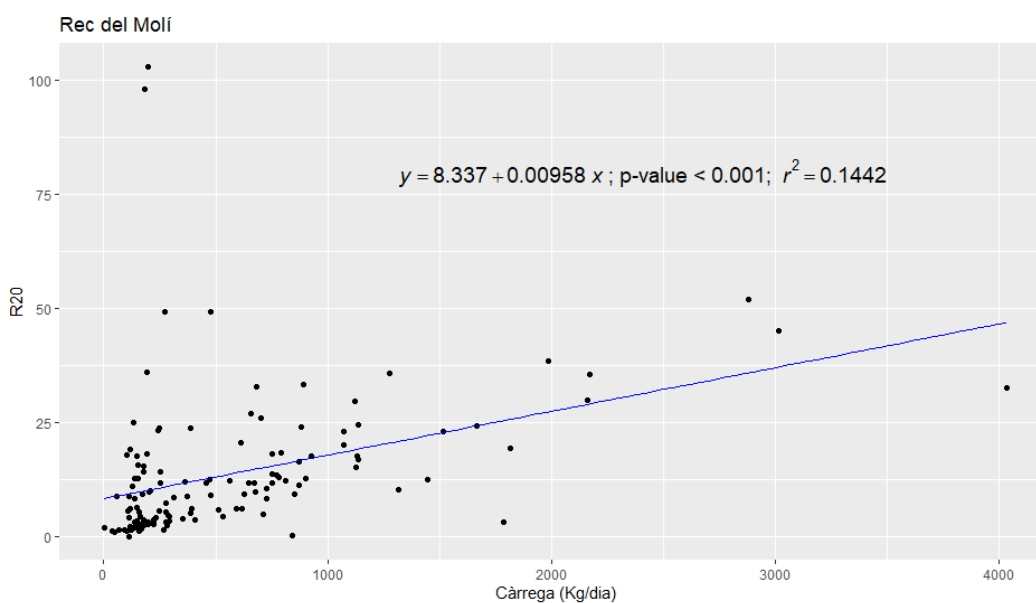


Figura 8. Regressió entre la càrrega i la respiració estandarditzada (R20) al Rec del Molí.

Les Figures 7 i 8 mostren més detalladament el que indicava la Taula 3: la relació entre la càrrega d'entrada i el metabolisme del Rec del Molí és significativa amb p-valors inferiors a 0.001. També es mostra que la relació és positiva, és a dir, com més elevada és la càrrega d'entrada, més elevats són els valors de producció i respiració. S'observa unes R^2 de 0.1864 per la maxGPP20 i de 0.1442 per l'R20.

4.3.2 Basses d'en Coll

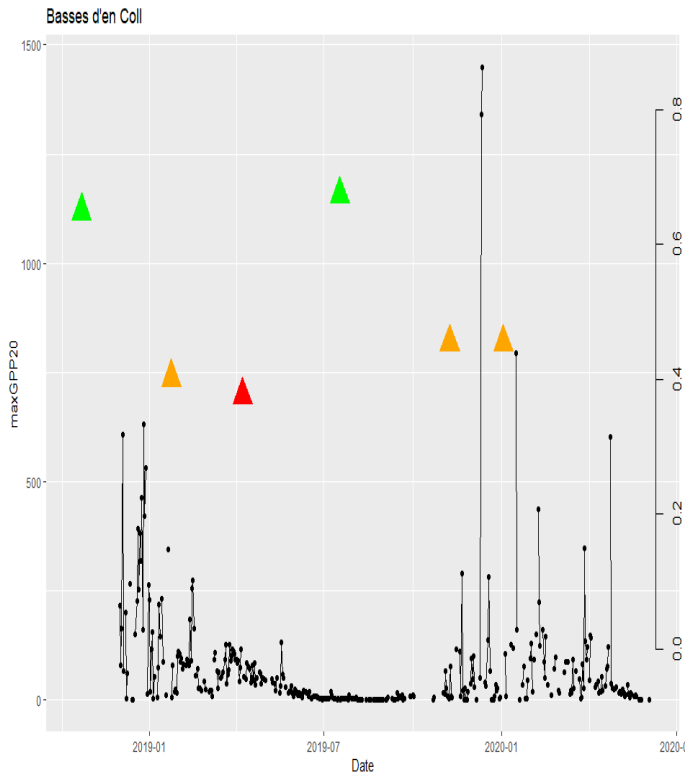


Figura 9. Producció (maxGPP20) i QAELS al llarg del temps a les Basses d'en Coll.

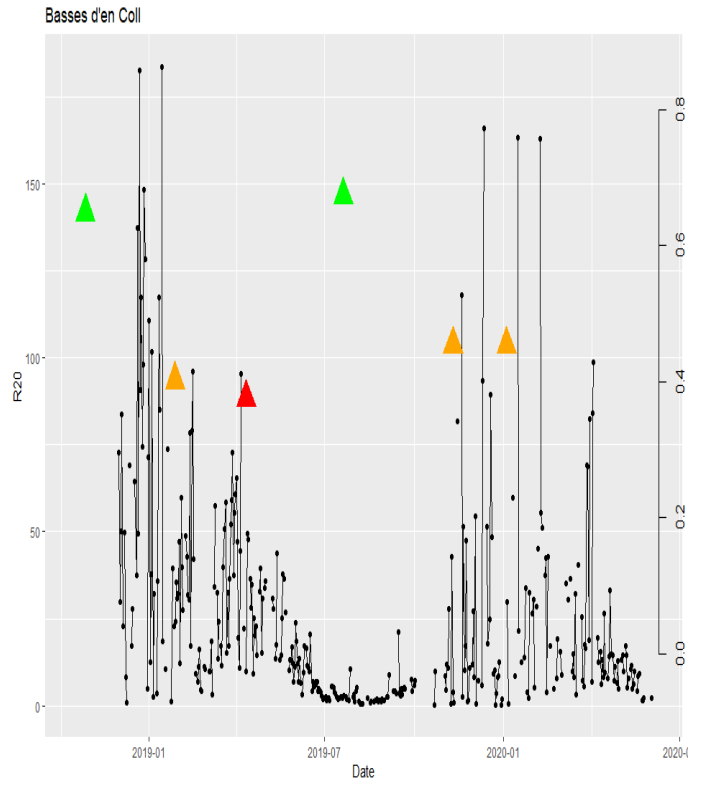


Figura 10. Respiració (R20) i QAELS al llarg del temps a les Basses d'en Coll.

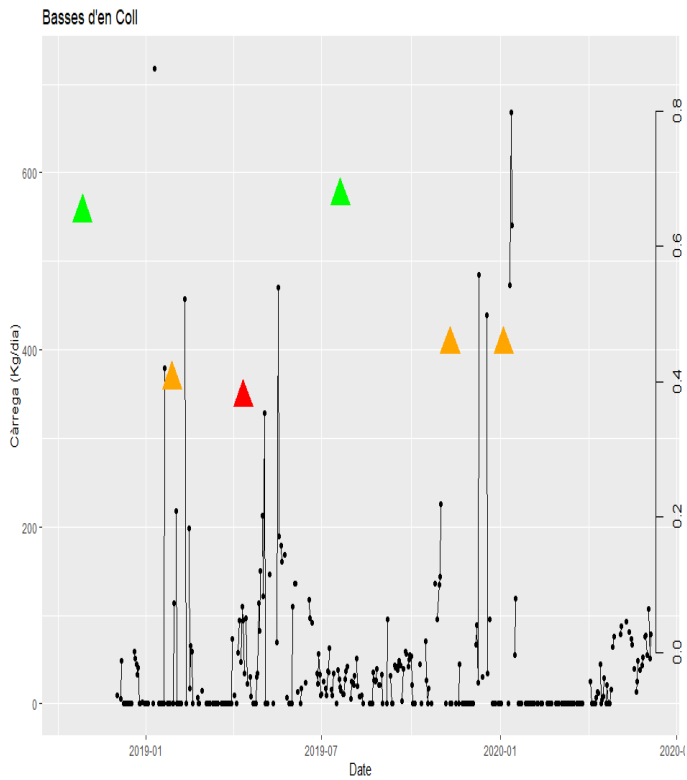


Figura 11. Càrrega i QAELS al llarg del temps a les Basses d'en Coll.

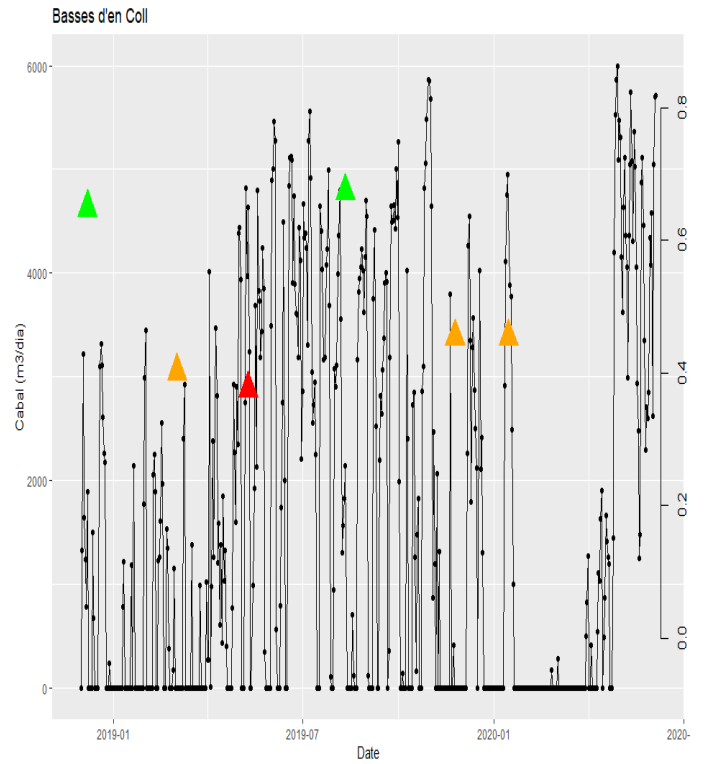


Figura 12. Cabal i QAELS al llarg del temps a les Basses d'en Coll.

A les Basses d'en Coll, s'observen valors elevats tant de les taxes metabòliques a l'hivern coincidint amb cabals baixos. La maxGPP20 i la R20 van disminuint progressivament durant la primavera a mesura que els cabals van augmentant coincidint amb l'inici de la temporada de rec dels arrossars. Els valors de metabolisme segueixen baixant fins a assolir els més baixos durant els mesos d'estiu que coincideixen amb els valors màxims de cabal (Figures 9, 10 i 12). La càrrega té un comportament irregular mostrant valors residuals amb pics puntuals durant l'hivern, que és quan s'obtenen valors de cabal baixos i uns valors baixos, però superiors als valors residuals de l'hivern durant l'estiu, aquests pics poden ser deguts als tancaments del canal, resultant amb una concentració elevada de nutrients a la zona de mostreig del canal que no resulta en un augment d'aquests dins la llacuna (Figura 10).

Per altra banda, si s'analitza el comportament de la qualitat de l'aigua a partir dels valors de QAELS, s'observen valors de qualitat bona a l'estiu coincidint amb cabals elevats i valors de qualitat ecològica pobre a l'hivern i a la tardor, quan els cabals són més baixos. A la primavera del 2019 s'observen cabals elevats però el QAELS d'abril resulta amb una qualitat dolenta (0.38).

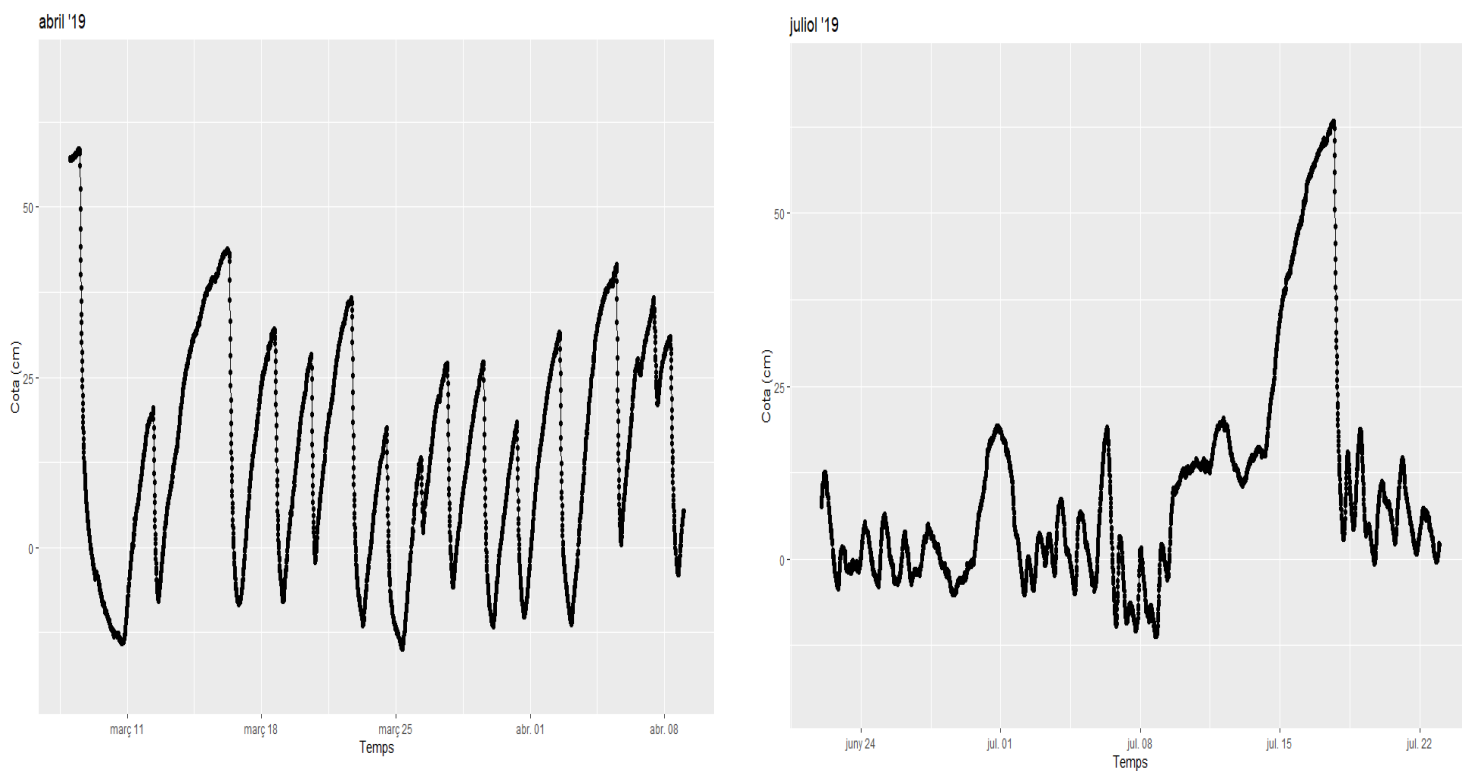


Figura 13. Nivell de cota de les Bases d'en Coll en cm durant els mesos anteriors als mostrejos del QAELS de l'abril (esquerra) i del juliol (dreta) del 2019.

En analitzar el comportament del nivell de cota de les Bases d'en Coll del mes anterior a la valoració de QAELS d'abril (amb una qualitat dolenta) i del juliol del 2019 (qualitat bona), s'observa com en el primer apareixen més de 10 oscil·lacions de més de 20 centímetres, mentre que al segon dominen oscil·lacions petites de menys de 5 cm i només puntualment se'n donen de més de 20 cm (Figura 13). Per tant, el nivell basal de l'aigua és molt més irregular a la primavera que a la tardor.

4.3.3 Ter Vell

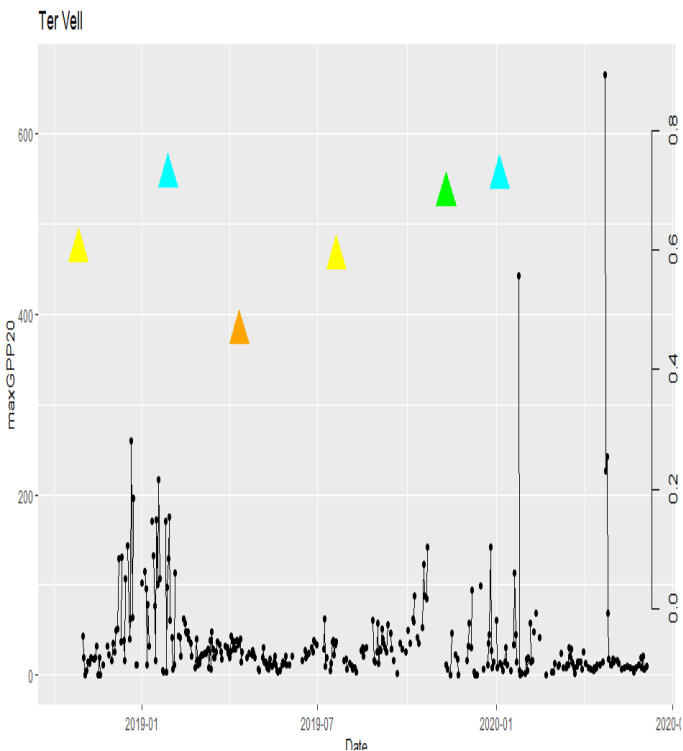


Figura 14. Producció (maxGPP20) i QAELS al llarg del temps al Ter Vell

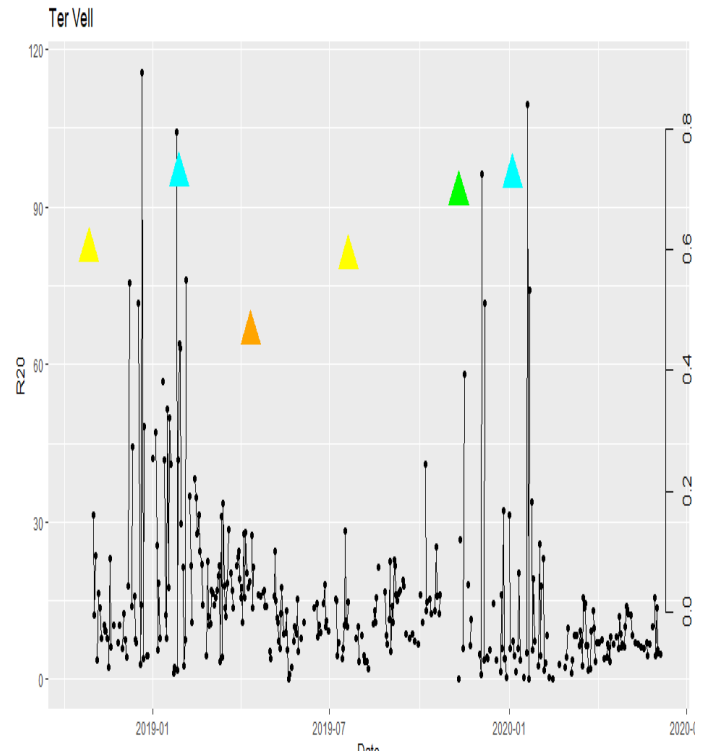


Figura 15. Respiració (R20) i QAELS al llarg del temps al Ter Vell

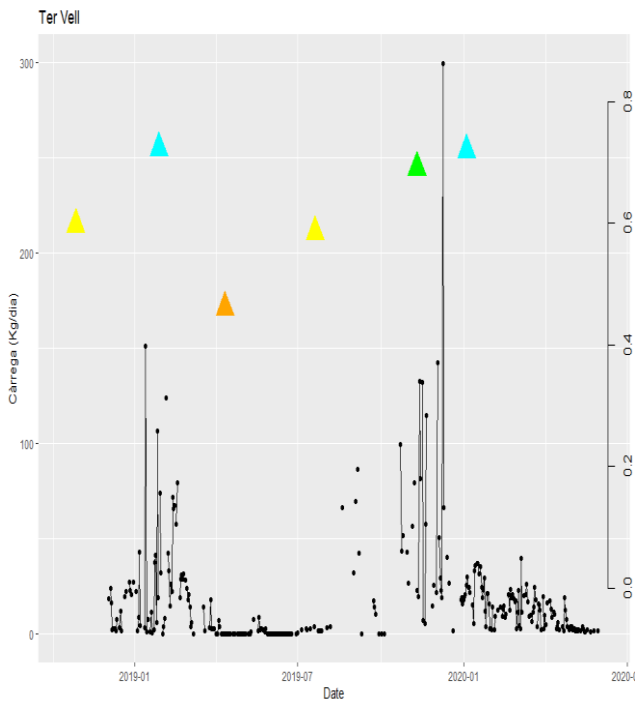


Figura 16. Càrrega i QAELS al llarg del temps al Ter Vell.

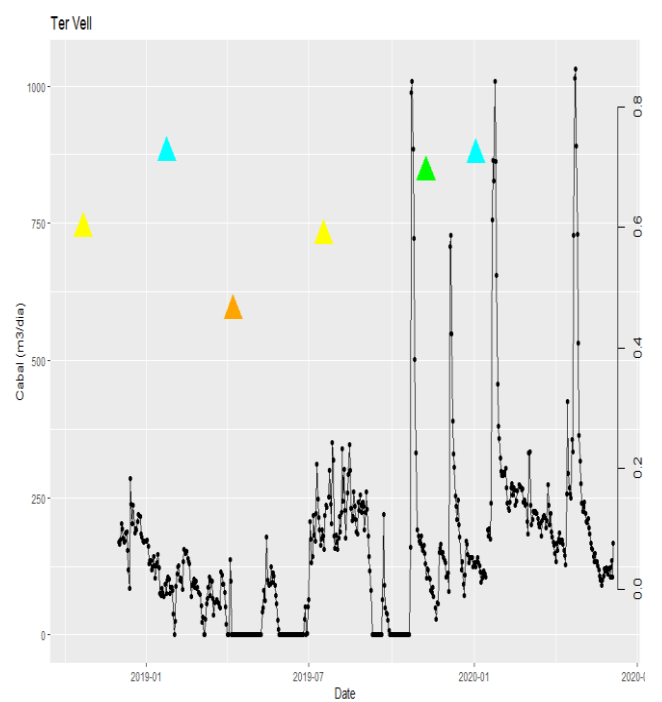


Figura 17. Cabal i QAELS al llarg del temps al Ter Vell.

Al Ter Vell s'observen uns valors baixos de càrrega i metabolisme a la primavera i a l'estiu, a la tardor augmenten i mostren els seus màxims a l'hivern (Figures 14, 15 i 16). En canvi, el cabal mostra un patró irregular amb pics sobtats a partir de la tardor del 2019 (Figura 17).

Per altra banda, els valors de qualitat ecològica mostren valors de qualitat alta a l'hivern i bona a la tardor del 2019 coincidint amb taxes metabòliques i càrrega d'entrada elevades i valors de QAELS moderats a l'estiu i pobre a la primavera, quan la producció, la respiració i la càrrega són baixes (Figures 14, 15 i 16).

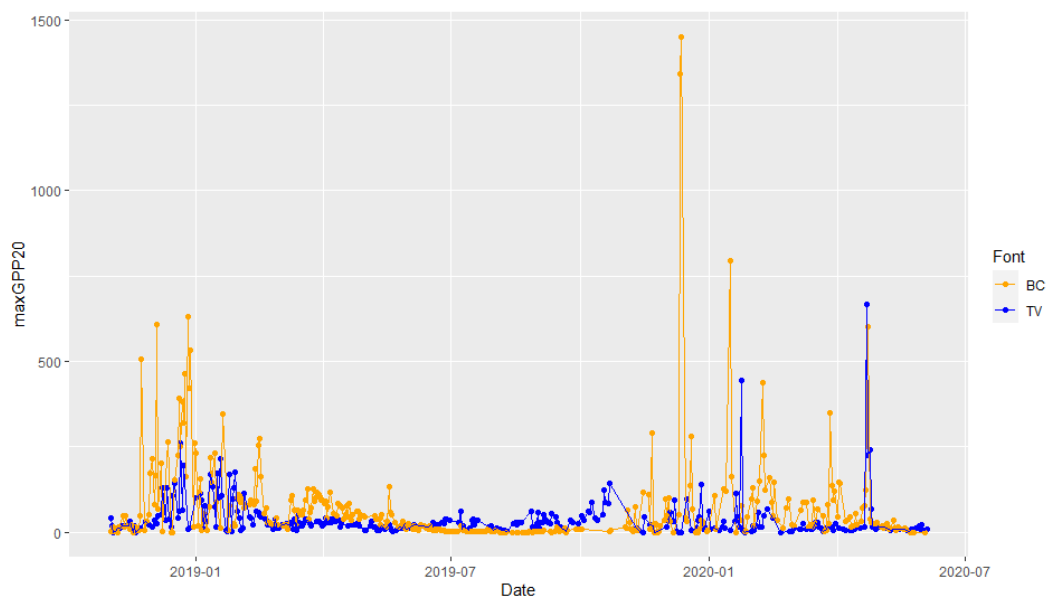


Figura 18. Producció (maxGPP20) al llarg del temps a Basses d'en Coll i al Ter Vell.

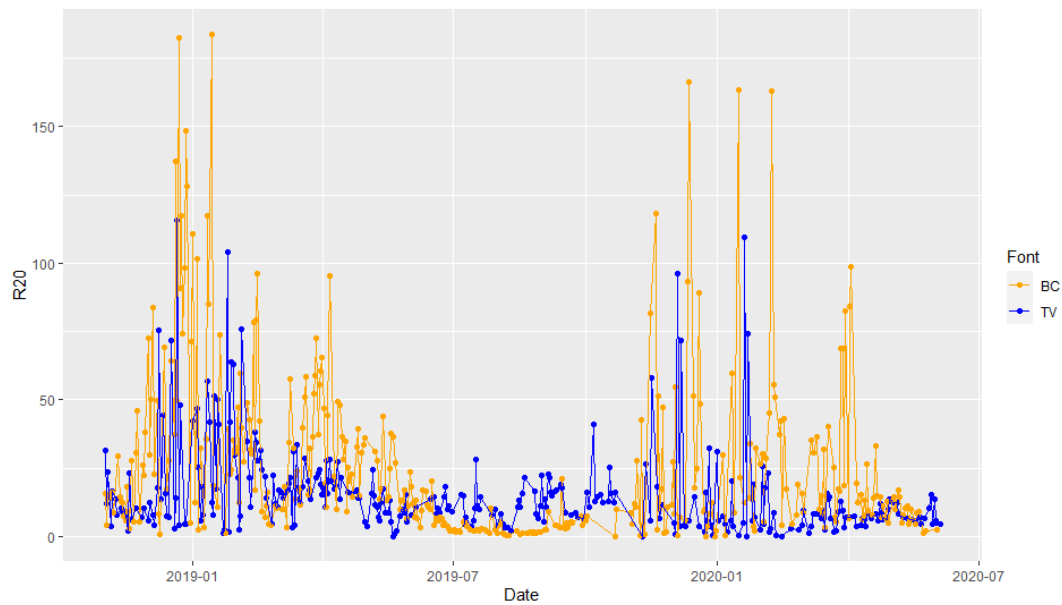


Figura 19. Respiració (R20) al llarg del temps a Bases d'en Coll i al Ter Vell.

Tot i les aparents semblances en les dinàmiques del metabolisme a les Bases d'en Coll i les del Ter Vell en les Figures 9, 10, 14 i 15, en projectar-ho a la mateixa escala (Figures 18 i 19) s'observa que, tot i tenir el mateix comportament, els valors són més baixos al Ter Vell.

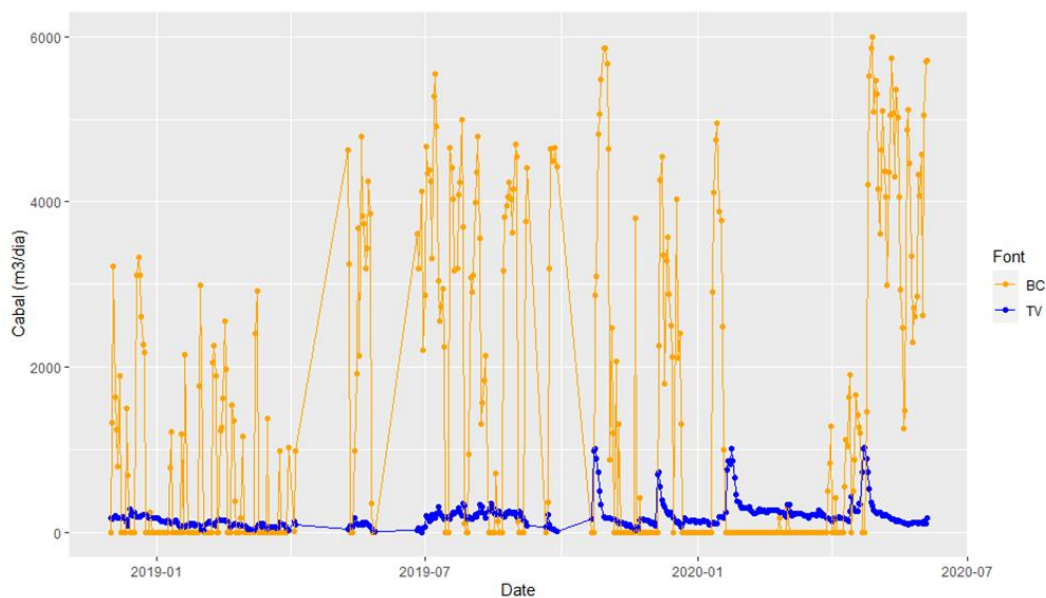


Figura 20. Cabal al llarg del temps a Bases d'en Coll i al Ter Vell.

La Figura 20 indica que també hi ha una gran diferència de magnitud entre els valors de cabal de les Basses d'en Coll i el Ter Vell.

5. DISCUSSIÓ

5.1 Variació estacional de les taxes metabòliques

La Figura 1 mostra que hi ha relació positiva significativa entre les taxes metabòliques brutes i els nutrients principals (DOC i TOC). D'aquesta manera, les dinàmiques de les taxes a les Figures 2, 3 i 4 serveixen per entendre quina és la dinàmica d'aquests nutrients al llarg del temps. Per tant, observant la dinàmica de la GPP es dedueix que l'entrada de nutrients és elevada a l'estiu i baixa a l'hivern. En canvi, el potencial per a metabolitzar-ho, representat pel maxGPP20, és elevat a l'hivern i baix a l'estiu. Això provoca un desacoblament que cal tenir en compte.

Segons un estudi realitzat a la llacuna de La Pletera, de condicions semblants a les tres llacunes utilitzades en aquest estudi, es descriu un comportament dels nutrients estacional lligat al clima Mediterrani i la dinàmica d'inundació-confinament típic de les llacunes costaneres. A més a més, les taxes metabòliques són elevades durant l'estiu i les estandarditzades (amb el mateix procés realitzat en aquest estudi), que corresponen al potencial de productivitat, a l'hivern, quan l'entrada d'aigua permet l'augment de la càrrega d'entrada (Bas-Silvestre et al., 2020).

5.2 Influència de la taxa de renovació

A Badosa et al., (2006) s'indica que hi ha una relació estreta entre la qualitat ecològica de la llacuna i el cultiu dels arrossars: les principals entrades d'aigua es donen durant els mesos de la primavera i estiu (el triple del cabal mitjà de la resta del cicle hidrològic), coincidint amb el cicle de l'arròs que li confereix un patró hidrològic invertit a l'esperat a les llacunes costaneres mediterrànies. És en aquesta època quan es troben els valors de QAELS més elevats. Aquest fet suggereix que l'augment de la circulació de l'aigua

durant el cicle de l'arròs provoca un "efecte rentat" de components inorgànics i això millora la qualitat ecològica. Un altre estudi comenta que aquest efecte rentat és positiu pels llacs amb una contaminació baixa, en canvi, no s'observa que sigui beneficiós quan els rius que aporten aigua a les llacunes tenen una contaminació elevada (Kudelska, 1989).

Les tres llacunes analitzades tenen un comportament totalment diferent pel que fa a les taxes de renovació: el Rec del Molí que té una taxa de renovació molt elevada tot l'any, ja que es comporta com un canal; les Basses d'en Coll que té el règim hídric marcat pels arrossars de manera que la taxa de renovació augmenta els mesos de cultiu; i el Ter Vell, on el règim hídric va marcat per les condicions climatològiques que li confereixen una dinàmica d'inundació-confinament.

La Figura 12 confirma el comportament de les Basses d'en Coll estudiat anteriorment (Badosa et al., 2006). Quan els cabals són baixos es dona una situació de concentració de nutrients, quan l'entrada d'aigua augmenta a causa del cultiu dels arrossars. Cal tenir en compte, que aquests camps d'arrossos podrien funcionar com a filtre verd, depurant l'aigua, resultant amb un cabal d'entrada elevat i baix en nutrients (Garcia et al., 1997). Aquest augment del volum d'entrada resulta en un augment de les sortides de la bassa, arrossegant els nutrients i millorant-ne la qualitat ecològica. La Figura 17, en canvi, no mostra cap patró entre el cabal i els valors del QAELS del Ter Vell. Aquest fet pot ser degut a les grans diferències de magnitud de cabal entre les Basses d'en Coll i el Ter Vell (Figura 20), és a dir, els cabals al Ter Vell són massa baixos perquè resultin en un "efecte rentat". Per tant, els augments de cabal d'entrada no resulten amb un augment de les sortides, sinó amb una inundació seguida d'un període de confinament. Per últim, el cas del Rec del Molí que, en comportar-se com un canal, té una taxa de renovació molt elevada, però a la vegada també comporta que no hi hagi en cap moment una situació de concentració dels nutrients. En aquest cas, els nutrients que trobem són els que entren (Figures 7 i 8). La qualitat dolenta trobada durant tot el transcurs de l'estudi es pot explicar per la contaminació elevada del canal d'entrada, com s'explica a Kudelska (1989).

5.3 Relació entre el metabolisme i la qualitat

En els nostres resultats, com que es partia amb dades de taxes metabòliques i dades de qualitat ecològica amb l'indicador QAELS, s'ha pogut analitzar si la producció i la respiració van lligades a la qualitat de les llacunes. Els resultats obtinguts no mostren relació significativa entre els valors de maxGPP20 i R20 amb el QAELS, però sí amb la càrrega d'entrada. Tot i això, cal remarcar que la mida de la mostra és petita (15 valors de QAELS repartits per les 3 llacunes) i les diferències significatives de les mitjanes de maxGPP20 i R20 entre les basses (Figura 5) dificulta una anàlisi del conjunt. Per tant, es procedeix a estudiar cada llacuna per separat.

En fer-ho, s'observa com al Rec del Molí, en tenir un comportament com un canal, la càrrega d'entrada és el que repercuteix en el metabolisme de la llacuna (Taula 3 i Figures 7 i 8). Per altra banda, a les Basses d'en Coll és el cabal el que determina la dinàmica de la llacuna: els valors elevats de QAELS coincideixen amb els valors elevats de cabal per l'"efecte rentat". Per últim, al Ter Vell, les taxes metabòliques elevades coincideixen amb valors QAELS elevats, que és el contrari de l'esperat si es pren el metabolisme com a indicador de qualitat ecològica (Uehlinger, 2006).

Les taxes metabòliques han sigut estudiades com a indicador de la qualitat de l'aigua, tot i no ser tan evident amb la GPP, sí que s'han trobat patrons entre la ER i la qualitat ecològica al llarg del temps (Uehlinger, 2006). D'altres, en canvi, diferencien entre els processos naturals de concentració de nutrients i els d'origen antròpic i busquen nous indicadors d'estat ecològic (Serrano et al., 2017; Boix et al., 2005).

En resum, a les llacunes estudiades no és adequat prendre les taxes metabòliques com a indicadors de la qualitat ecològica si no es té en compte el funcionament del sistema. Tot i l'avantatge de la facilitat de treballar amb les dades metabòliques, no s'ha trobat en cap cas relació entre la producció i la respiració i els valors del QAELS. El desavantatge que comporta aquest mètode és, principalment, que no reflecteix de manera adequada factors com la taxa de renovació o la pertorbació (Figura 13) o el possible desacoblament en el temps entre l'entrada de nutrients i els moments de màxim potencial de producció. A més a més, els resultats poden mostrar valors de producció baixos, que es podrien

interpretar com una qualitat bona, en condicions d'anòxia, és a dir, amb una qualitat ecològica dolenta. Aquests factors sí que es reflecteixen en el QAELS, però és un mètode lent i costós. Caldria estudiar la possibilitat de combinar els valors de taxes metabòliques per observar canvis sobtats, mesures de QAELS trimestrals per tal de veure el progrés a llarg termini i amb coneixements previs de la dinàmica de nutrients i anàlisi de fluxos d'aigua per entendre el funcionament del sistema.

6. CONCLUSIONS

Rec del Molí has lower metabolic rates than basses d'en Coll or Ter Vell, but, at the same time, has the worst ecological status among the three lagoons.

No evidence of significant relation between metabolism and ecological status was found.

Results on Basses d'en Coll show that other factors such as turnover rate and the physical disturbance (change in water level) may play an important role in ecological status. Results also show higher inputs resulting in lower production in summer on Basses d'en Coll. Meanwhile Ter Vell reveal the opposite.

To summarise, the use of GPP and ER can befit as a nutrient indicator, but is unsuitable as an ecology quality indicator if other factors related to ecosystem functioning, such as water turnover or water level irregularity, are not considered.

7. BIBLIOGRAFIA

- Badosa, A., Barriocanal, C., Compte, J., López-Flores, R., & Quintana, X. D. (2006). *Balance hídrico y de nutrientes y evaluación de la calidad del agua de la laguna "les Basses d'en Coll". Informe de Seguimiento científico*. Technical report of the Life Project (LIFE 04 NAT/ES/000059), University of Girona, Girona.
- Badosa, A., Quintana, X., & Boix, D. (2008). Short-term variation in the ecological status of a Mediterranean coastal lagoon (NE Iberian Peninsula) after a man-made change of hydrological regime. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 15(6), 636–656. <https://doi.org/10.1002/aqc>
- Bas-Silvestre, M., Quintana, X. D., Compte, J., Gascón, S., Boix, D., Antón-Pardo, M., & Obrador, B. (2020). Ecosystem metabolism dynamics and environmental drivers in Mediterranean confined coastal lagoons. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 245(September). <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106989>
- Boix, D., Gascón, S., Sala, J., Badosa, A., Brucet, S., López-Flores, R., Martinoy, M., Gifre, J., & Quintana, X. D. (2008). Patterns of composition and species richness of crustaceans and aquatic insects along environmental gradients in Mediterranean water bodies. *Hydrobiologia*, 597(1), 53–69. <https://doi.org/10.1007/s10750-007-9221-z>
- Boix, Dani, Gascón, S., Sala, J., Martinoy, M., Gifre, J., & Quintana, X. D. (2005). A new index of water quality assessment in Mediterranean wetlands based on crustacean and insect assemblages: The case of Catalunya (NE Iberian peninsula). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 15(6), 635–651. <https://doi.org/10.1002/aqc.750>
- Dinno, A. (2017). Package 'dunn.test.' *CRAN Repository*, 1–7. <https://cran.r-project.org/web/packages/dunn.test/dunn.test.pdf>
- EDAR Torroella de Montgrí - Aigües de la Costa Brava. (n.d.). Retrieved March 22, 2021, from <http://www.aigüescb.com/web/edar-torroellaMontgri.html>

- G . N . Wilkinson, & C . E . Rogers. (1973). *Symbolic Description of Factorial Models for Analysis of Variance* Author (s): G . N . Wilkinson and C . E . Rogers Published by : Blackwell Publishing for the Royal Statistical Society Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/2346786>. 22(3), 392–399.
- García, J., Ruíz, A., & Junqueras, X. (1997). Depuració d'aigües residuals mitjançant aiguamolls al Parc natural del Montseny. *Lauro: revista del Museu de Granollers*, 37-37.
- Garnier, J., & Billen, G. (2007). Production vs. Respiration in river systems: An indicator of an “ecological status.” *Science of the Total Environment*, 375(1–3), 110–124. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.12.006>
- Gibbs, J. P. (2000). Wetland loss and biodiversity conservation. *Conservation Biology*, 14(1), 314–317. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.98608.x>
- Grace, M. R., Giling, D. P., Hladyz, S., Caron, V., Thompson, R. M., & Mac Nally, R. (2015). Fast processing of diel oxygen curves: Estimating stream metabolism with base (B)ayesian single-station estimation). *Limnology and Oceanography: Methods*, 13(3), 103–114. <https://doi.org/10.1002/lom.10011>
- Kemp, W. M., & Testa, J. M. (2012). Metabolic Balance between Ecosystem Production and Consumption. In *Treatise on Estuarine and Coastal Science* (Vol. 7). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374711-2.00706-3>
- Kjerfve, B. (1994). Coastal lagoons. In *Elsevier oceanography series* (Vol. 60, pp. 1-8). Elsevier. <https://doi.org/10.2307/634562>
- Kudelska, D. M. (1989). Lake renewal rate and water quality implications. *Water Quality Research Journal*, 24(2), 255-264.
- Montaner, J., Quintana, X., Heras, R., Roviras, A., Julià, R., Marquès, M. A., Solà, J., Pons, P., López, J., Viñals, E., & Bayés, C. (2010). *El flux hidrològic de la plana litoral del baix ter* (2.^a ed.). Càtedra d’Ecosistemes Litorals Mediterranis

Museu de la Mediterrània.

<https://www.museudelamediterrania.cat/ca/artistes/1/1072-recerca-i-territori.html>

Obrador, B., & Pretus, J. L. (2013). Carbon and oxygen metabolism in a densely vegetated lagoon: Implications of spatial heterogeneity. *Limnetica*, 32(2), 321–336. <https://doi.org/10.23818/limn.32.25>

Quintana, X., Cañedo-Argüelles, M., Nebra, A., Gascón, S., Rieradevall, M., Caiola, N., Sala, J., Ibàñez, C., Sánchez-Millaruelo, N., & Boix, D. (2016). New Tools to Analyse the Ecological Status of Mediterranean Wetlands and Shallow Lakes. *Handbook of Environmental Chemistry*, 42(November 2015), 171–199. <https://doi.org/10.1007/698-2015-391>

Quintana, X., & Comín, F. (1989). Introducció a l'estudi limnològic de la llacuna del Ter vell (Baix Empordà). *Butlletí de La Institució Catalana d'Història Natural*, 57, 23–34. <https://doi.org/10.2436/bichn.vi.8771>

Quintana, X. D., Feo, C., Crous, A., Alemany, F., Torallas, J., Perich, J. G., ... & i Rovira, Q. P. (2009). Actuacions i reptes en la conservació dels aiguamolls del Baix Ter. *Papers del Montgrí*.

Ribas, A., Llausàs, A., Roset, D., & Alba-Ter, C. (2010). El paper dels recs de Sentmenat i del Molí de Pals en la configuració de la plana agrícola del Baix Ter. *Estudis d'Història Agrària*, 23(March 2019), 319–333.

Serrano, L., Reina, M., Quintana, X. D., Romo, S., Olmo, C., Soria, J. M., Blanco, S., Fernández-Aláez, C., Fernández-Aláez, M., Caria, M. C., Bagella, S., Kalettka, T., & Pätzig, M. (2017). A new tool for the assessment of severe anthropogenic eutrophication in small shallow water bodies. *Ecological Indicators*, 76, 324–334. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.01.034>

Staehr, P. A., Testa, J. M., Kemp, W. M., Cole, J. J., Sand-Jensen, K., & Smith, S. V. (2012). The metabolism of aquatic ecosystems: History, applications, and future challenges. *Aquatic Sciences*, 74(1), 15–29. <https://doi.org/10.1007/s00027-011->

0199-2

Tockner, K., & Stanford, J. A. (2002). Riverine flood plains: Present state and future trends. *Environmental Conservation*, 29(3), 308–330. <https://doi.org/10.1017/S037689290200022X>

Tuttle, C. L., Zhang, L., & Mitsch, W. J. (2008). Aquatic metabolism as an indicator of the ecological effects of hydrologic pulsing in flow-through wetlands. *Ecological Indicators*, 8(6), 795–806. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2007.09.005>

Uehlinger, U. (2006). Annual cycle and inter-annual variability of gross primary production and ecosystem respiration in a floodprone river during a 15-year period. *Freshwater Biology*, 51(5), 938–950. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2006.01551.x>