

Títol del treball:

Comparativa de la utilització de sondes *in situ* i sondes úniques en el càlcul del metabolisme ecosistèmic de llacunes costaneres del Baix Ter

Estudiant: Aleix Benavent Torres

Grau en Biologia

Correu electrònic: aleixbenavent@gmail.com

Tutor: Dr. Xavier Quintana i Pou

Cotutor*:

Empresa / institució:

Vistiplau tutor (i cotutor*):

Nom del tutor:

Nom del cotutor*:

Empresa / institució:

Correu(s) electrònic(s):

*si hi ha un cotutor assignat

Data de dipòsit de la memòria a secretaria de coordinació:

Agraïments

La realització d'aquest estudi ha estat possible gràcies al meu tutor, el Dr. Xavier Quintana, que m'ha guiat i assessorat durant tot el procés i m'ha ajudat a resoldre tots els obstacles que han anat sorgint. Vull agrair-li especialment que sempre hagi estat disponible i receptiu a ajudar-me, i també la paciència que ha tingut en els moments en què estava més perdut.

També vull agrair a la Maria Anton el seu suport al llarg de tot el projecte, sobretot pel que fa referència al tractament de dades i al funcionament de JAGS.

Per últim, també vull agrair a la Neus, al Roger, al Jaume i a la Júlia que m'hagin donat suport i hagin cregut cegament en mi en els moments més difícils. Moltes gràcies.

Resum

Les llacunes costaneres constitueixen ecosistemes sensibles fortament lligats a les dinàmiques fluvials, al mar, a la meteorologia i a l'activitat humana, i han sigut objecte d'estudi de la comunitat científica degut a la seva riquesa i diversitat. Una de les maneres de caracteritzar de forma general les llacunes costaneres és fer una valoració del metabolisme ecosistèmic que presenten, per tal de disposar d'un punt de partida a l'hora de determinar-ne l'estat ecològic o proposar estratègies de gestió. De totes les tècniques disponibles per a estudiar el metabolisme d'una llacuna, una de les més utilitzades és el mètode "Diel oxigen", el qual es basa en l'ús de sondes d'alta freqüència per mesurar variables físiques i químiques i obtenir valors de la producció primària bruta i la respiració ecosistèmica. Si bé aquest mètode presenta moltes avantatges respecte d'altres, també té certs inconvenients derivats de la utilització de sondes *in situ*. Aquest estudi s'ha realitzat sobre quatre llacunes de la zona del Baix Ter (Catalunya, Espanya, NE Península Ibèrica) de les quals s'han obtingut mesures de radiació PAR i vent mitjançant sondes de camp, per observar quines diferències entre llacunes s'obtenen amb la utilització d'aquestes sondes i avaluar la viabilitat d'utilitzar una sola sonda que englobi totes les llacunes de la zona d'estudi. També s'han mesurat altres variables que requereix el mètode "Diel oxigen" per determinar si aquest error es transmet de forma significativa al utilitzar les dades d'una llacuna per a calcular el metabolisme ecosistèmic d'una altra llacuna diferent. Es conclou que la radiació i el vent es comporten de forma molt diferent. Mentre que la radiació és similar a totes les sondes independentment de la distància que les separa, el vent depèn de molts altres factors i no és igual entre llacunes. A més, l'error observat en les mesures de radiació i vent es transmet entre llacunes, però el percentatge respecte al metabolisme total que depèn d'aquestes dues variables, és petit i poc significatiu. En última instància, depèn de les característiques de cada estudi i del criteri dels investigadors determinar quina és la millor estratègia per a abordar un estudi sobre el metabolisme ecosistèmic de llacunes costaneres, utilitzant aquest mètode, de forma concloent i explicativa.

Resumen

Las lagunas costeras constituyen ecosistemas sensibles fuertemente ligados a las dinámicas fluviales, al mar, a la meteorología y a la actividad humana, y han objeto de estudio de la comunidad científica debido a su riqueza y diversidad. Una de las formas de caracterizar de forma general las lagunas costeras es hacer una valoración del metabolismo ecosistémico que presentan, para así disponer de un punto de partida a la hora de determinar su estado ecológico o proponer estrategias de gestión. De todas las técnicas disponibles para estudiar el metabolismo de una laguna, una de las más utilizadas es el método "Diel oxígeno", el cual dispone de sondas de alta frecuencia para medir variables físicas y químicas y obtener valores de la producción primaria bruta y la respiración ecosistémica. Si bien este método presenta muchas ventajas respecto a otros, también tiene ciertos inconvenientes derivados de la utilización de sondas *in situ*. Este estudio se ha realizado sobre cuatro lagunas de la zona del Baix Ter (Cataluña, España, NE Península Ibérica) de las cuales se han obtenido medidas de radiación PAR y viento mediante sondas de campo, para observar qué diferencias entre lagunas se obtienen con la utilización de estas sondas y evaluar la viabilidad de utilizar una sola sonda que englobe todas las lagunas de la zona de estudio. También se han medido otras variables que requiere el método "Diel oxígeno" para determinar si este error se transmite de forma significativa al utilizar los datos de una laguna para calcular el metabolismo ecosistémico de otra laguna diferente. Se concluye que la radiación y el viento se comportan de forma muy diferente. Mientras que la radiación es similar en todas las sondas independientemente de la distancia que las separa, el viento depende de muchos otros factores y no es igual entre lagunas. Además, el error observado en las medidas de radiación y viento se transmite entre lagunas, pero el porcentaje respecto al metabolismo total que depende de estas dos variables es pequeño y poco significativo. En última instancia, depende de las características de cada estudio y del criterio de los investigadores determinar cuál es la mejor estrategia para abordar un estudio sobre el metabolismo ecosistémico de lagunas costeras, utilizando este método, de forma concluyente y explicativa.

Abstract

Coastal lagoons constitute sensitive ecosystems strongly related to fluvial dynamics, to sea, to meteorology and to human activity, and have been subject matter of scientific community due to their richness and diversity. One of the methods of typifying coastal lagoons in a general way is to estimate its ecosystem metabolism, in order to have a starting point from where to determine its ecologic status or to suggest management strategies. From all available techniques to study the metabolism of a lagoon, one of the more commonly used is the Diel oxygen technique, which uses high frequency loggers to measure physical and chemical variables and obtain gross primary production and ecosystem respiration values. While this method offers plenty of advantages in front of others, it is known to have certain issues product of *in situ* logger usage. This study has been made on four coastal lagoons from Baix Ter (Catalonia, Spain, NE Iberian Peninsula) from which measurements of PAR radiation and wind have been obtained to analyse what differences are observed between lagoons with the use of these loggers and evaluate the viability of using one logger alone that comprises all lagoons in the study zone. Other variables required by the Diel oxygen technique have also been measured to determine if this error is significantly transmitted when using data from a lagoon to calculate ecosystem metabolism in a different lagoon. The study concludes that radiation and wind have very different behaviours. While radiation is similar for all loggers independently of distance between them, wind depends of few other factors and different between lagoons. Furthermore, error observed in radiation and wind measurements is transmitted between lagoons, but the percentage regarding total metabolism that depends on these two variables has little significance. In last instance, depends on the characteristics of each study and on researchers criterium to determine which is the best strategy to conduct a lagoon ecosystem metabolism study, regarding this method, in a concluding and explicative way.

Índex

1. Introducció	1
2. Objectives	3
3. Mètodes	4
3.1. Àrea d'estudi	4
3.2. Sondes utilitzades	6
3.3. Metabolisme de les llacunes. Tècnica "diel oxigen"	7
3.4. Anàlisi de dades	7
4. Resultats	9
4.1. Règim d'intensitat PAR	9
4.2. Règim de vent	11
4.3. Producció primària bruta	12
4.4. Respiració ecosistèmica	14
5. Discussió	16
5.1. Avantatges i inconvenients en l'ús de sondes <i>in situ</i> o la unificació de sondes per zones	16
5.2. Influència de l'error de les sondes en la mesura del metabolisme	18
6. Conclusions	19
7. Bibliografia	20

1. Introducció

Les zones costaneres tenen molta importància a nivell mundial, ja que fan d'ecotò entre el medi marí i terrestre i són font de serveis ecosistèmics, com l'abastiment d'aliment, la regulació climàtica o la conservació de la biodiversitat (Costanza, R. 1997). L'ésser humà ha experimentat un fort creixement demogràfic en aquestes zones, contribuint a la davallada de la biodiversitat global (Regan et al., 2001), ja que les zones humides costaneres representen al voltant del 13% dels ecosistemes costaners i presenten una gran diversitat, però també una gran sensibilitat a les pertorbacions (Kjerfve, 1994). Aproximadament el 40% dels nuclis urbans més importants del planeta es troben molt propers a la costa, el que comporta una gran pressió antròpica sobre les zones humides que ha anat creixent amb el creixement i desplaçament de les comunitats humanes (Small & Nicholls, 2003). La regió climàtica Mediterrània és una de les regions amb major riquesa i diversitat del planeta (Myers et al., 2000), però també una de les més poblades, el que ha comportat processos de regressió i pèrdua de diversitat en hàbitats costaners, uns dels més afectats (Serrano et al., 2006; Zhai et al., 2020). És per això que ha crescut l'interès científic per a l'estudi d'aquests hàbitats per a tal de poder fer-ne una caracterització i gestió, més tenint en compte que els estudis sobre zones humides mediterrànies siguin encara poc nombrosos en comparativa amb altres zones del món (Alvarez Cobelas et al., 2005).

Una de les principals maneres de caracteritzar zones humides, en especial llacunes i maresmes, és estudiar-ne el metabolisme, el que permet donar una idea general de l'estat de la llacuna. Al llarg dels anys s'han desenvolupat diversos mètodes per a establir el metabolisme d'una llacuna, mètodes que, lluny de ser perfectes, obtenen uns resultats molt fiables, encara que tots tinguin avantatges i inconvenients respecte d'altres (Kemp & Testa, 2011; Staehr et al., 2012). A més, encara no és clar quin és el millor indicador per a calcular el metabolisme de llacunes. Habitualment s'havien utilitzat indicadors fisicoquímics, principalment en llacunes nord-temperades (Farnaz Nojavan et al., 2019), però també existeixen molt estudis que proposen un càlcul del metabolisme a partir d'indicadors de grups zooplànctònics, macròfits o invertebrats bentònics (Badosa et al., 2006; Boix et al., 2005; Brucet et al., 2005).

El mètode del cicle de l'oxigen, emprat en aquest estudi, utilitza sondes d'alta freqüència per a calcular el metabolisme d'una llacuna a partir dels canvis en la concentració i saturació d'oxigen en l'aigua, i requereix de dades atmosfèriques per restar els efectes físics d'intercanvi amb l'atmosfera (Giling et al., 2017). S'ha volgut avaluar quines problemàtiques comporta l'ús d'aquestes sondes, calculant els errors de mesura entre llacunes i observant com aquests errors es transmeten als càlculs de metabolisme. També s'ha tingut en compte les limitacions de les sondes i les possibilitats que pot oferir l'àrea d'estudi per a determinar la conveniència d'utilitzar sondes *in situ* per a totes les llacunes, que pot resultar en problemes derivats de les sondes i la variabilitat de les variables físiques de vent i radiació, contra la possibilitat d'utilitzar sondes úniques per a totes les llacunes, que pot resultar en errors i poca precisió.

Aquest estudi s'ha dut a terme a quatre llacunes del Baix Ter (NE Península Ibérica), on s'han instal·lat sondes *in situ* en el marc del projecte PECT *Girona, regió sensible a l'aigua*, projecte que pretén reduir la inestabilitat hidrològica de la zona i afavorir el desenvolupament socioeconòmic de la regió a través d'una gestió integrada de l'aigua com a recurs. Aprofitant el desplegament de medis del projecte, s'han utilitzat les sondes i les dades recollides per avaluar els avantatges i inconvenients que presenten els dos models d'utilització de sondes i veure quin pot ser més adient per a estudis limnològics futurs.

2. Objectives

This study was carried out thanks to an existing project on Baix Ter's coastal lagoons and salt marshes. In order to analyse the advantages and disadvantages of different ways to apply the usage of loggers in ecosystem metabolism modelling, the following objectives have been proposed:

- 1- To determine whether it is more recommendable to use *in situ* loggers or zonal loggers to measure physical parameters on different coastal lagoons and salt marshes.
- 2- To evaluate how the error found upon physical parameter measurements in different loggers is transmitted when using such data to calculate ecosystem metabolism in the lagoons.

3. Mètodes

3.1 Àrea d'estudi

Aquest estudi s'ha realitzat a quatre llacunes costaneres situades a la plana deltaica dels rius Ter i Daró. Les llacunes estudiades, localitzades al llarg de la costa compresa entre les municipis de Pals i l'Escala, a la comarca del Baix Empordà (Catalunya, Espanya), han estat, de sud a nord: Basses d'en Coll, Pletera, Ter Vell i rec de Setmenat (*Figura 1*). Aquestes llacunes formen part del Aiguamolls del Baix Empordà i es troben dins de la Reserva Natural Parcial del Parc Natural del Montgrí i Illes Medes, inclòs dins la Xarxa Natura 2000 (ES5120016 El Montgrí - Les Medes – El Baix Ter). La conca fluvial del Baix Ter i el riu Daró és una zona planera i fàcilment inundable, de clima mediterrani, amb pluviometria distribuïda de forma irregular al llarg de l'any i molta variabilitat en els episodis de vent, afectada sobretot pel vent de gregal i tramuntana (Muntaner, 2010). És una zona amb una gran influència agrícola i ha sigut objecte de pertorbacions i modificacions del curs hídric del riu Ter i els seus afluents al llarg del temps.



Figura 1: Mapa i localització de la zona d'estudi, al Baix Ter, amb les llacunes estudiades marcades. També apareixen les estacions meteorològiques de la Tallada d'Empordà i l'Estartit. **Font:** Modificació a partir de Google Earth.

Basses d'en Coll

La llacuna de les Basses d'en Coll (BC) es troba a pocs metres de la desembocadura del riu Daró, separada del mar per un sistema de dunes litorals, i conforma, juntament amb les dunes litorals i els arrossars de la zona, l'Espai Natural de Basses d'en Coll, una àrea protegida pel PEIN (Pla d'Espais d'Interès Natural, llei orgànica autonòmica 12/1985). Està comunicada amb el riu Daró per un canal que aporta la major part del volum d'aigua, mentre que la majoria de nutrients provenen de dos canals secundaris que recullen l'aigua d'escorrentia i la utilitzada pel regadiu camps d'arròs de la zona. Té un únic canal de sortida principal, que retorna l'aigua al riu Daró. La qualitat de l'aigua, segons l'índex de qualitat QAELS, és "bona" o "molt bona" durant el cicle de l'arròs, i oscil·la entre "mediocre" i "bona" la resta de l'any (Badosa et al., 2006).

La Pletera

La maresma de La Pletera (PLETERA) està situada al nord de la Gola del Ter, separada del mar per un sistema dunar. Es tracta d'un conjunt de llacunes i prats inundables de naturalesa halòfila i de característiques ecològiques molt irregulars, típiques de les maresmes mediterrànies (Badosa et al., 2006, 2007). No rep aigua superficial provinent del flux fluvial del riu Ter, però sí que rep aportacions subterrànies. Tan sols rep intrusions superficials d'aigua en episodis de temporal, des del mar, i en episodis d'alta precipitació. Hi destaquen poblacions *Juncetalia maritimi* i *Sarcocornetea fruticosae*, és un lloc de pas i repòs per moltes aus, i s'hi troba el fartet (*Aphanius iberus*), un peix de la família dels cipronodòntids amenaçat (Doadrio et al., 2002). La Pletera ha passat de ser una zona parcialment urbanitzada a la dècada dels 80, a ser restaurada i formar part del PEIN. Ha rebut les actuacions de restauració ambiental de dos projectes LIFE: *Restauració i ordenació de les llacunes i dels sistemes costaners del Baix Ter* (LIFE 99/NAT/E/006386) entre 1999 i 2003, i *Desurbanització i recuperació de la funcionalitat ecològica en els sistemes costaners de la Pletera* (LIFE13 NAT/ES/001001) entre 2014 i 2018.

Ter Vell

La llacuna de Ter Vell (TV) està situada entre la zona urbana de l'Estartit i l'àrea urbanitzada dels Griells. Es tracta d'una llacuna que fins a la primera meitat del segle XIX era l'antiga desembocadura del riu Ter, quan aquest va ser desviat cap a la seva desembocadura actual (Barriocanal, 2004). És una llacuna que ha anat rebent els efectes de l'acció urbanística i l'activitat agrícola de la zona al llarg dels anys, servint de lloc de besament d'aigües residuals agrícoles i urbanes, el qual feien que la llacuna fos eutròfica i amb processos de reblliment accelerats (Quintana, 1989). Actualment, la llacuna rep aigua dolça procedent de la plana i els vessants del Montgrí, aigua salada en episodis de temporal marítim (Badosa et al., 2007). La llacuna va ser objecte de dos projectes LIFE: *Restauració i ordenació de les llacunes i dels sistemes costaners del Baix Ter* (LIFE 99/NAT/E/006386) entre 1999 i 2003 i *Recuperació de l'hàbitat d'amfibis i Emys orbicularis al Baix Ter* (LIFE04 NAT/ES/000059) entre 2005 i 2009.

Rec de Setmenat a l'Escala

El rec de Setmenat (ESC) és una canal de rec artificial que ressegueix el riu Ter per la seva part esquerra i proveeix d'aigua els camps de conreu que l'envolten. Té el seu origen a la població de Colomers i es desvia cap al nord a la població de Belcaire per acabar el seu recorregut a l'Escala, on desemboca al mar. És un canal de rec de tipus sèquia i és l'eix vertebrador de tot el sistema de recs de la zona nord de la conca del Baix Ter. No hi ha més informació bibliogràfica disponible que les estimacions del cabal circulant (Muntaner, 2010), ni constància que s'hi hagin fet estudis ambientals prèviament, més enllà d'alguns textos de caire històric.

3.2 Sondees utilitzades

Les dades recopilades per a la realització d'aquest estudi van ser 3 diferents. Per una banda, es van fer mesures d'intensitat de radiació PAR i de vent a les 4 llacunes estudiades, a més d'incorporar les dades de radiació proporcionades per l'estació meteorològica situada al municipi de la Tallada d'Empordà, propietat del Servei català de Meteorologia. També es van recollir dades de vent, oxigen, temperatura de l'aigua i temperatura ambiental per a realitzar els càlculs de GPP i ER a les llacunes de Ter Vell i el rec de Setmenat.

Les sondees utilitzades per a la mesura de temperatura ambient i intensitat lumínica van ser les *Pendant MX 2202*, de la casa comercial *Hobo*. Aquestes sondees permeten la mesura d'alta freqüència (cada 10 segons) d'aquests factors, i són especialment indicades per a mesures a l'aire lliure ja que són impermeables. Degut a que no tenen cap sistema de modificació de l'angle per a adaptar-se a l'angle d'incidència de la llum solar, tenen un error de mesura del $\pm 10\%$ (Onset Computer, 2020).

Per a les dades de vent es van utilitzar mesuradors ambientals *Kestrel 5000*, de la casa comercial *Kestrel*. Aquests aparells són resistents a l'aigua i als cops. Permeten mesures de mitja freqüència amb un error del $\pm 3\%$ i tenen una sensibilitat de 0.1 m/s. Disposen d'un sistema de vela que els hi permet orientar-se a la direcció del vent (KestrelMeters, 2020).

Per últim, les sondees utilitzades per a la mesura de la concentració d'oxigen i la temperatura dins l'aigua van ser les *MiniDOT oxygen logger* de la casa comercial *PME*. Són sondees submergibles que permeten mesures d'alta freqüència de fins a un registre per minut (PME, 2020), i són àmpliament utilitzades per a estudis limnològics, lacustres i marins (Benson & Krause, 1984; D'Avanzo et al., 1996).

3.3 Metabolisme de les llacunes. Tècnica “diel oxygen”.

En la segona part d'aquest estudi es van realitzar càlculs de la producció primària bruta (GPP, de les seves sigles en anglès: Gross Primary Production) i la respiració ecosistèmica (ER, de les seves sigles en anglès: Ecosystem Respiration) adaptant el mètode dels cicles dia-nit de l'oxigen. Aquest mètode utilitza dades d'alta freqüència (interval mínim de 30 minuts) de la concentració d'oxigen en l'aigua d'una llacuna per establir els valors metabòlics de GPP i ER, basant-se en la fórmula general per estimar el metabolisme ecosistèmic a partir dels canvis en la concentració d'oxigen establerta per Howard T. Odum (1956)(Staehr et al., 2010). Es va dur a terme el tractament de dades i els càlculs de GPP i ER segons una adaptació d'aquest mètode que utilitza dades de vent, temperatura, radiació PAR, oxigen dissolt i el nivell de l'aigua i n'estableix un model Bayesià mitjançant JAGS i RStudio (Giling et al., 2017), segons la fórmula:

$$[DO]_{t+1} = [DO]_t + A \times PAR_t^p - R_T(\theta^{T_t - \bar{T}}) - k_t \frac{(DO_{eq_t} - DO_t)}{Z_{mix}} \pm Adv$$

on $[DO]_t$ i $[DO]_{t+1}$ corresponen als canvis en la concentració d'oxigen entre dos intervals de temps consecutius. La GPP s'expressa com a $A \times PAR_t^p$, on A és una constant diària que representa la producció primària per unitat de llum, PAR és la radiació fotosintèticament activa (400-700 nm de longitud d'ona, expressat en $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ i l'exponent p és un exponent que reflecteix l'habilitat dels productors primaris d'utilitzar la llum incident. El terme $R_T(\theta^{T_t - \bar{T}})$ és la taxa de respiració termo-depenent d'Arrhenius, on θ és el coeficient de dependència de la temperatura, T_t és la temperatura a l'interval de temps corresponent i \bar{T} és la mitjana diària de la temperatura. L'expressió $k_t \frac{(DO_{eq_t} - DO_t)}{Z_{mix}}$ correspon a l'intercanvi de gasos amb l'atmosfera, on k_t és la velocitat de transferència del gas, DO_{eq_t} és la concentració d'oxigen dissolt en equilibri a una salinitat, temperatura i pressió baromètrica concretes, i DO_t és la concentració d'oxigen dissolt. Adv fa referència als processos d'advecció i es considera negligible.

3.4 Anàlisi de dades

Per a realitzar les anàlisis estadístiques i obtenir els gràfics i figures utilitzades en aquest estudi es va fer servir el programari estadístic RStudio.

Règim i comportament de la radiació PAR i el vent.

Amb la finalitat de veure quin comportament seguien les variables de radiació PAR i de vent, es van disposar les dades en gràfics lineals, representades en funció del temps. Tot seguit, es van realitzar càlculs de les mitjanes i anàlisis de correlació de Pearson per veure quines diferències hi havia entre llacunes. També es va utilitzar una anàlisi de la variància (ANOVA) per determinar si les diferències observades entre les sondes eren

significatives. En el cas de la radiació i un cop observats els resultats inicials, es va realitzar també una anàlisi de regressió entre els coeficients de determinació obtingut de la correlació entre llacunes i la distància que les separa. Per aprofundir en com es desenvolupava aquest es van realitzar comparacions a través de les anàlisis de residus.

Anàlisis de GPP i ER.

Per determinar l'efecte que pot tenir sobre els resultats del metabolisme ecosistèmic l'ús de sondes de llum i vent situades lluny de les llacunes, es va mesurar la GPP i ER, a les llacunes ESC i TV, amb les dades de radiació i vent de les sondes instal·lades a la mateixa llacuna, i es va comparar amb el mateix càlcul amb les dades de radiació i vent de les sondes instal·lades a l'altra llacuna (ESCTV i TVESC), simulant una situació en la que no es disposa de sondes *in situ* per a cada llacuna, sinó només en una d'elles. Per quantificar els resultats d'aquests models, es van calcular les mitjanes diàries de cada cas i es va realitzar una correlació de Pearson per veure quin tipus de relació presentaven les parelles ESC – ESCTV i TV – TVESC. Tot seguit es va realitzar una ANOVA per veure si aquesta relació era significativa. Per últim, es van obtenir gràfics d'error entre les diferents parelles de casos.

4. Resultats

4.1 Règim d'intensitat PAR

El comportament de la radiació PAR seguia un règim estacional marcat per les característiques de lluminositat de cada època de l'any, amb més llum durant els mesos d'estiu i menys durant els mesos d'hivern (*Figura 2*). Al calcular la mitjana diària de radiació PAR que rebia cada sonda, es va observar que mentre que la sonda situada a la llacuna de Ter Vell rebia una radiació mitjana diària de 317,22 ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), la resta de sondes rebien una radiació mitjana diària superior, d'entre 349,07 ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) i 350,31 ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). A més, la sonda de l'estació meteorològica de La Tallada

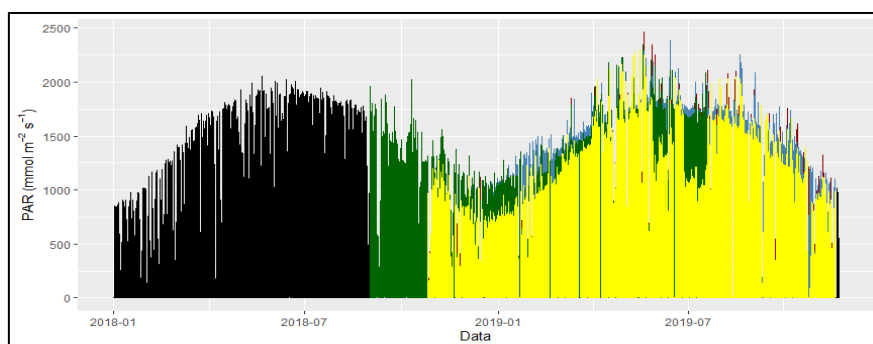


Figura 2: Gràfic lineal representant el conjunt de dades recollides per cada sonda al llarg de l'estudi. Les sondes representades són: BC (Vermell), ESC (blau), PLETERA (verd), TALLADA (negre) i TV (groc).

d'Empordà, mostrava una mitjana diària encara superior, de 389,19 ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) (*Taula 1*). L'anàlisi ANOVA va mostrar que aquesta variació era significativa

($p < 2e^{-16}$) i per tant hi havia diferències en la radiació mitjana diària entre diferents punts. Un cop quantificades les diferències en les mitjanes, es va realitzar una anàlisi de correlació de Pearson per determinar la variabilitat explicada i l'error màxim que hi podia haver d'una llacuna a una altra. En la matriu de correlacions obtinguda es va observar que les sondes instal·lades a les diferents llacunes donaven valors similars pel que fa la radiació PAR incident, obtenint R^2 entre 0.765 i 0.934 (*Taula 2*).

Sonda	BC	ESC	PLETERA	TALLADA	TV
Mitjana PAR	350.31	349.48	349.07	389.19	317.22

Taula 1: Valors de mitjana diària de radiació PAR per a cada sonda.

(R^2)	BC	ESC	PLETERA	TALLADA	TV
BC	1.000	-	-	-	-
ESC	0.814	1.000	-	-	-
PLETERA	0.882	0.882	1.000	-	-
TALLADA	0.934	0.849	0.851	1.000	-
TV	0.888	0.765	0.846	0.883	1.000

Taula 2: Coeficients de correlació de Pearson (R^2) entre sondes.

Es va realitzar una anàlisi dels residus de la regressió entre la sonda de TV i la sonda ESC, per tal de veure en quins períodes de temps les dades s'allunyaven molt del model de la recta estimada (*Figura 3*). La distribució dels residus de la regressió TV-ESC mostrava

valors molt positius els mesos de juliol i octubre del 2019. En aquests períodes, es va veure que la radiació captada per la sonda de TV era inferior a la que captava la sonda ESC. Tot i la diferència, no es van observar canvis bruscos de radiació en la sonda TV, sinó que els valors enregistrats per aquesta sonda seguien el mateix comportament lineal que els de la sonda ESC, però en una magnitud inferior.

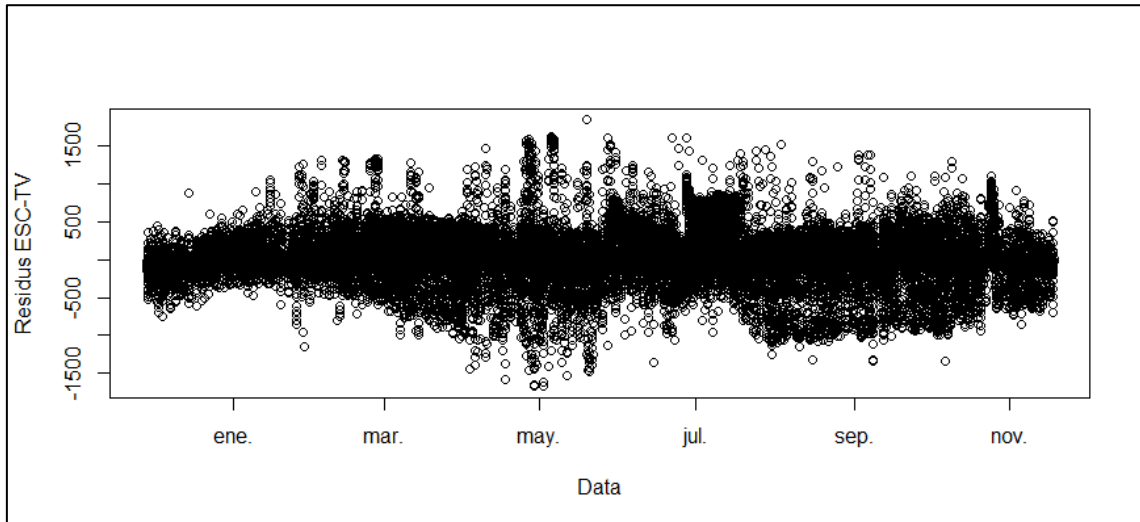


Figura 3: Residus de la regressió entre les sondes ESC i TV per les mesures de radiació, representades segons la data.

Per veure si les diferències observades entre sondes augmenten amb la distància entre sondes es va realitzar una anàlisi de regressió entre els coeficients de determinació que relacionaven cada parella de sondes i la distància geogràfica que les separava (*Figura 4*), el qual va determinar que no hi havia relació significativa entre aquestes dues variables ($R^2 = 0.091$, $p > 0.05$)

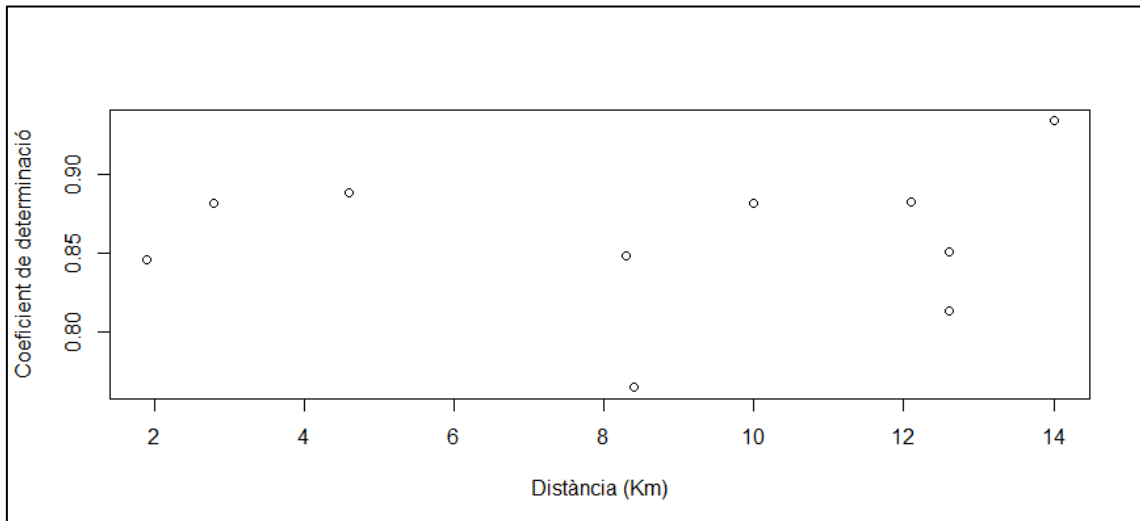


Figura 4: Gràfic de punts de la correlació de Pearson dels coeficients de determinació segons la distància entre sondes.

4.2 Règim de vent

Es va obtenir un gràfic lineal amb les mesures de vent de les sondes TV i ESC (*Figura 5*), en el qual no es va observar cap patró determinat, sinó molta variabilitat en els episodis de vent, amb màxims i mínims no distribuïts regularment al llarg del cicle anual. També es van calcular les mitjanes diàries per cada sonda (*Taula 3*) i es va veure que la sonda

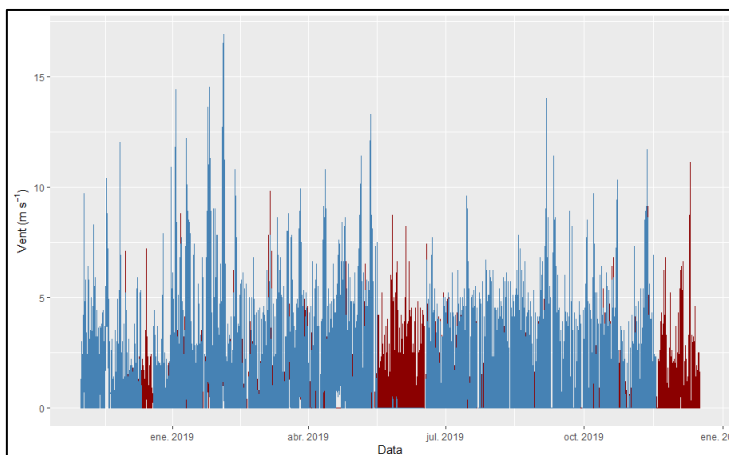


Figura 5: Gràfic lineal de les mesures de vent ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) a les sondes ESC (vermell) i TV (blau).

TV enregistrava valors superiors que la sonda ESC. Per determinar si aquesta diferència era significativa, es va realitzar una test ANOVA entre ambdues sondes, el qual va confirmar que les variàncies de les dues sondes eren diferents ($p < 2e^{-16}$). Fent una anàlisi de correlació de Pearson entre les dues sondes, es va obtenir un valor de $R^2 = 0.488$, definint la variabilitat explicada en les mesures de vent entre llacunes en un 48.8%.

Sonda	ESC	TV
Mitjana diària de vent ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	0.847	1.301

Taula 3: Mitjanes diàries de vent ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) de les sondes ESC i TV.

Posteriorment, es van analitzar els residus de la regressió per veure si hi havia algun període de temps on les dades no s'ajustaven al model de la recta estimada (*Figura 6*). Es van distingir principalment dos períodes on es donava aquest desajust, els quals eren entre maig i juny de 2019 i a l'octubre de 2019. El que s'observa en aquests períodes és que la sonda ESC enregistra valors superiors als enregistrats per la sonda TV, que en alguns casos s'acosten o són iguals a $0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (*Figura 7*).

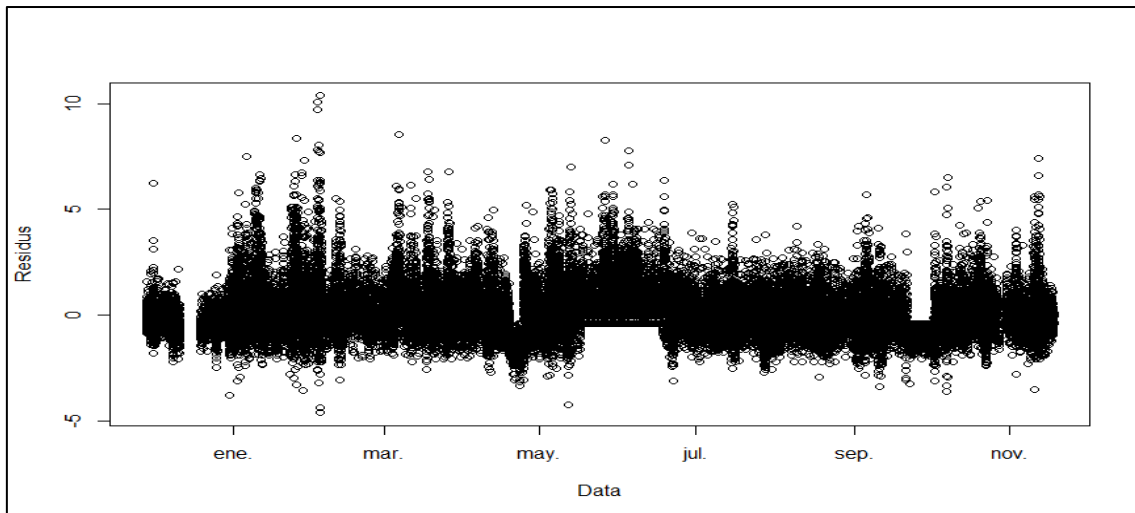


Figura 6: Residus de la regressió entre les sondes ESC i TV per les dades de vent, representades segons la data.

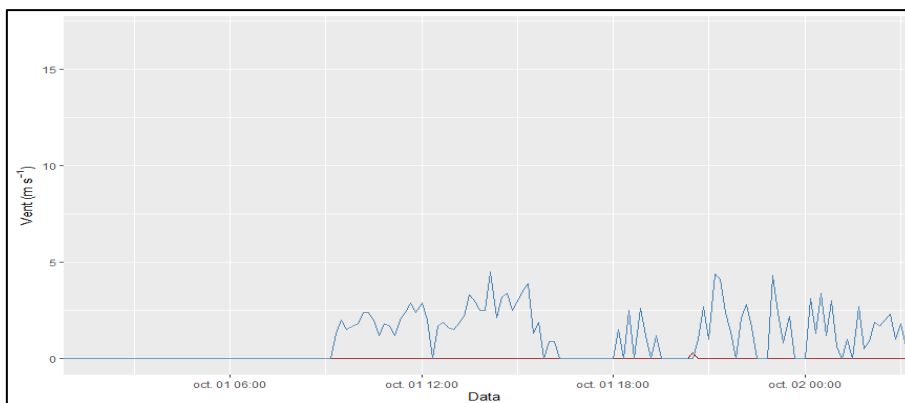


Figura 7: Gràfic lineal del vent enregistrat el dia 1 d'octubre del 2019 a les sondes ESC (vermell) i TV (blau).

4.3 Producció primària bruta

Es van obtenir dos gràfics que comparen la GPP estimada a cada llacuna (ESC i TV) amb la GPP estimada de les mateixes llacunes intercanviant les dades de vent i llum de cada llacuna per les enregistrades per les sondes de l'altra llacuna (ESCTV i TVESC) (*Figura 8*). Les anàlisis ANOVA realitzades sobre ESC-ESCTV i TV-TVESC van mostrar que les diferències entre aquestes parelles de casos no eren significatives ($p > 0.05$) (*Taula 4*). Els coeficients de determinació, productes de les correlacions ESC-ESCTV i TV-TVESC van indicar una relació del 98.5% en el primer cas, i del 98.9% en el segon. L'error estimat entre les diferents anàlisis va donar valors baixos (*Figures 9 i 10*).

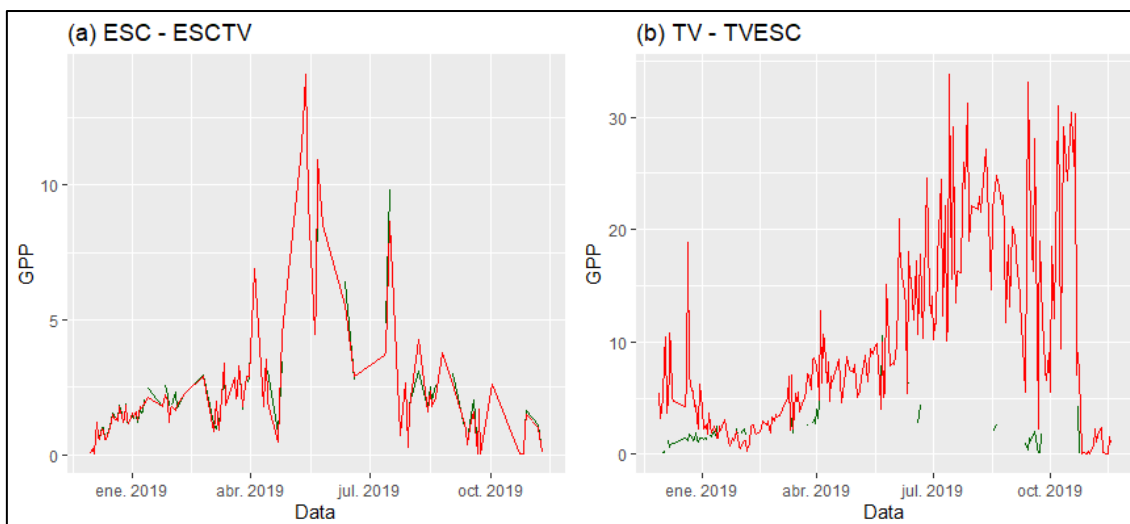


Figura 8: Gràfiques lineals dels càlculs obtinguts de GPP. (a) - Dades originals de la sonda ESC (verd) i resultats amb dades de vent i llum intercanviades ESCTV (Vermell). (b) - Dades originals de la sonda TV (verd) i resultats amb dades de vent i llum intercanviades TVESC (Vermell).

ANOVA	ESC - ESCTV	TV - TVESC
p-valor	0.843	0.698

Taula 4: p-valors obtinguts per a les anàlisis de variància de la GPP.

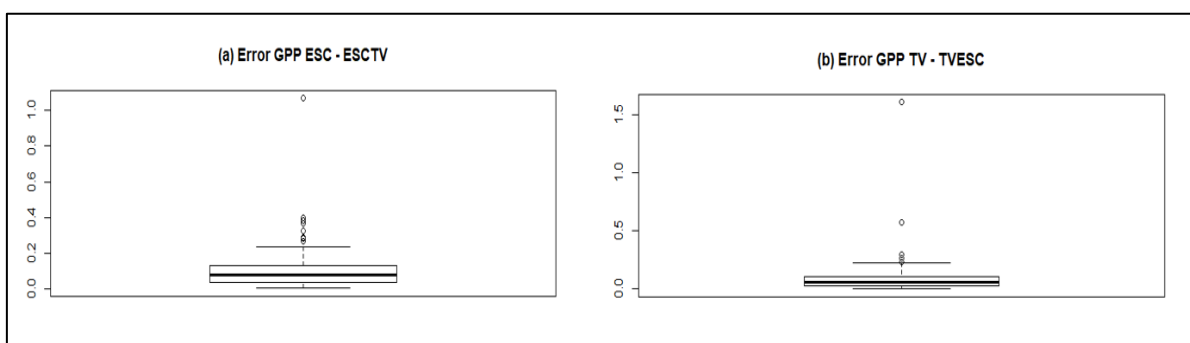


Figura 9: Gràfics de caixa de l'error en els càlculs de GPP. (a) - Error obtingut per als càlculs de GPP entre ESC i ESCTV. (b) - Error obtingut per als càlculs de GPP entre TV i TVESC.

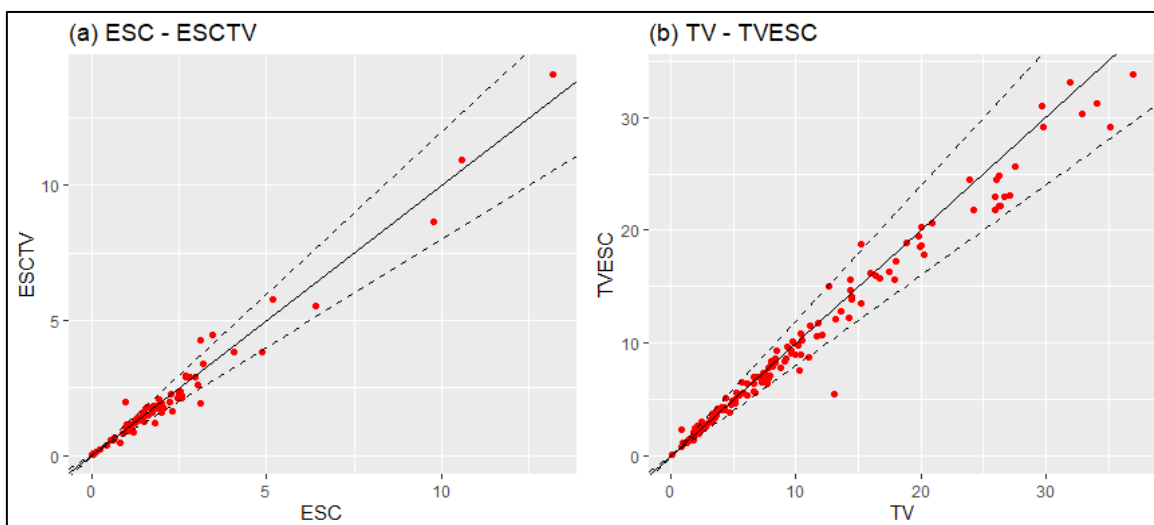


Figura 10: Gràfic lineal que representa els valors de GPP obtinguts per ESCTV respecte els obtinguts per ESC (a), i els obtinguts per TV respecte TVESC (b). Les línies de referència representen l'ajustament perfecte (línia contínua) i l'error del $\pm 25\%$ (línies discontinues).

4.4 Respiració ecosistèmica

Els gràfics de respiració ecosistèmica (ER) obtinguts per a cada llacuna (ESC i TV), amb els respectius intercanvis de dades de vent i llum entre llacunes (ESCTV i TVESC), mostren un comportament similar de la ER respecte la GPP (*Figura 11*). Les mitjanes obtingues per les dues llacunes mostraven valors superiors quan s'utilitzaven els valors de llum i vent procedents de l'altra llacuna. Els resultats de les ANOVA realitzades per a ambdues situacions, ESC-ESCTV i TV-TVESC, van donar un resultat de p-valor superior a 0.05, indicant que les variàncies entre els casos no eren significativament diferents (*Taula 5*). Els coeficients de determinació obtinguts de les respectives correlacions realitzades indicaven una relació del 98.7% en el cas de ESC – ESCTV 97.5% en el cas TV – TVESC. L'error estimat entre les diferents anàlisis va donar valors baixos (*Figures 12 i 13*).

ANOVA	ESC - ESCTV	TV - TVESC
p-valor	0.839	0.811

Taula 5: p-valors obtingut per a les anàlisis de variància de la ER.

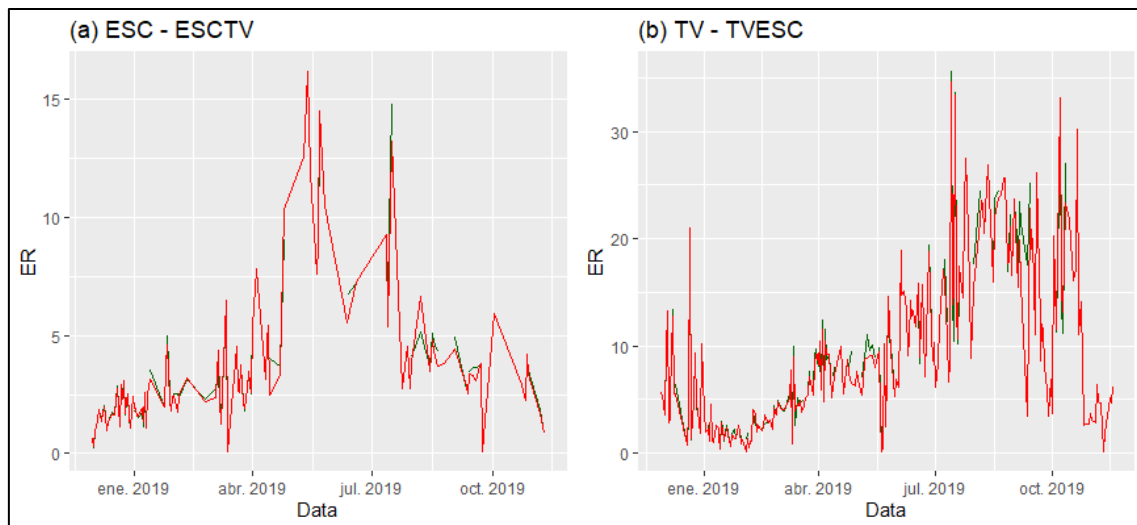


Figura 11: Gràfiques lineals dels càlculs obtinguts de ER. (a) - Dades originals de la sonda ESC (verd) i resultats amb dades de vent i llum intercanviades ESCTV (Vermell). (b) - Dades originals de la sonda TV (verd) i resultats amb dades de vent i llum intercanviades TVESC (Vermell).

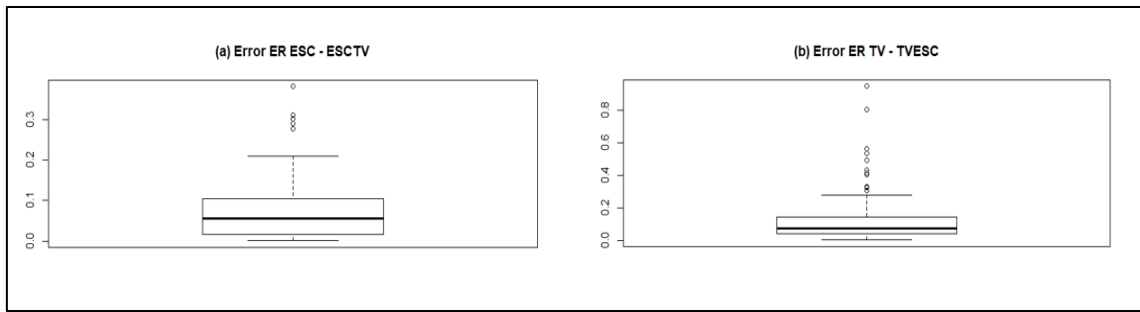


Figura 12: Gràfics d'error de la ER. (a) - Error obtingut per als càlculs de ER entre ESC i ESCTV. (b) - Error obtingut per als càlculs de ER entre TV i TVESC.

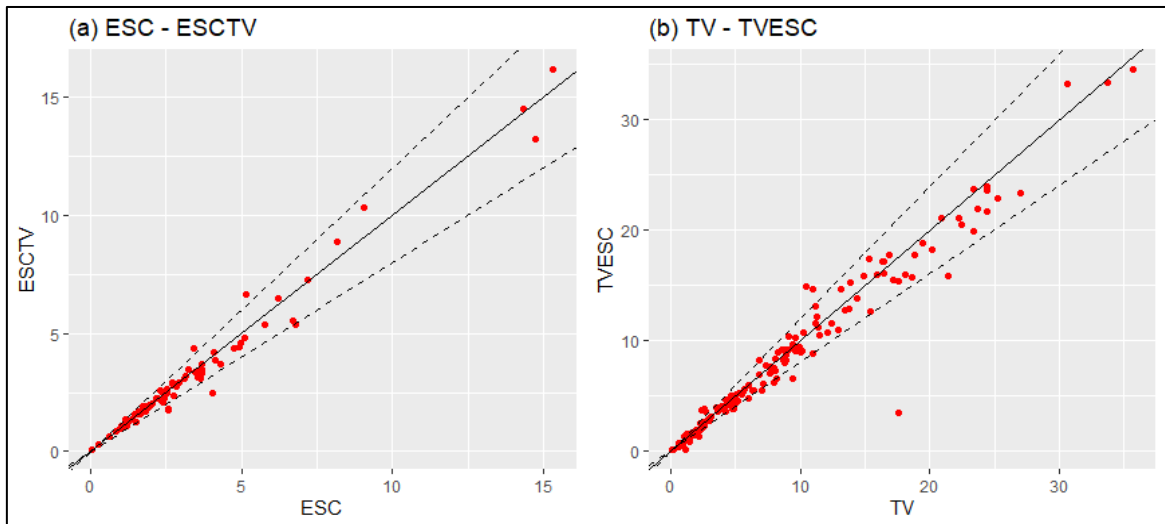


Figura 13: Gràfics lineal que representa els valors de ER obtinguts per ESCTV respecte els obtinguts per ESC (a), i els obtinguts per TV respecte TVESC (b). Les línies de referència representen l'ajustament perfecte (línia contínua) i l'error del $\pm 25\%$ (línies discontinúes).

5. Discussió

5.1 Avantatges i inconvenients en l'ús de sondes *in situ* o la unificació de sondes per zones.

Durant l'any que ha durat l'estudi s'observa que les mesures d'intensitat PAR segueixen un patró general molt similar per a totes les sondes, amb els comportaments estacionals i diaris que cal esperar en aquesta variable. Tot i això, l'ANOVA va indicar que existien diferències significatives en les variàncies de les dades enregistrades per les diferents sondes, establint la variabilitat en un interval d'entre el 6.6 i el 23.5% (*Taula 2*). Si bé l'error obtingut en la majoria de casos es pot considerar petit, cal tenir en compte que es veu fortament influenciat per les mesures obtingudes a una sola de les llacunes (TV) en la que l'anàlisi de residus mostrava biaixos continus durant períodes relativament llargs. Aquests biaixos podrien tenir diverses explicacions, inherents a les sondes de camp que s'utilitzen en ambients a l'aire lliure, i que no s'expliquen amb la distància que separa les sondes, ja que la correlació entre distàncies va mostrar que no hi havia cap relació entre les mesures preses per les sondes i la distància que les separa (*Figura 3*). Al no haver-hi relació entre la variació de radiació entre llacunes i la distància que les separa, cal suposar que l'origen d'aquesta variació no és degut a diferències en la meteorologia, com podrien ser diferències temporals en el pas dels núvols sobre les llacunes, pugui ocasionar en les mesures. Aquestes sondes, tot i la senzillesa del seu funcionament i la seva fiabilitat, presenten diversos problemes que contribueixen al seu error, i és que es veuen afectades per les característiques del terreny i l'ecosistema on s'instal·len, podent variar les mesures preses degut a factors externs (interaccions de fauna, embrutiment dels sensors,...). Tampoc es pot descartar un funcionament desigual de les sondes, el que requeriria una prova que determinés si totes funcionen igual. Aquests problemes es poden evitar utilitzant una sola sonda que integri tota la zona d'estudi, les mesures de la qual serveixin per a totes les llacunes. A més, és interessant tenir en compte que a molts territoris existeix una xarxa d'estacions meteorològiques professionals que garanteixen una fiabilitat major de les mesures, ja que les sondes reben manteniments constants i les dades es revisen amb freqüència. En el nostre estudi, per exemple, es podrien utilitzar per a les mesures de radiació les dades enregistrades per les estacions meteorològiques de l'Estartit i la Tallada d'Empordà, evitant d'aquesta manera qualsevol biaix ocasionat per alteracions externes a les sondes i simplificant el treball de camp, ja que no seria necessària la col·locació de les sondes per part dels investigadors, la descàrrega de dades i manteniment mensual d'aquestes ni la inversió econòmica que suposen.

Pel que fa a les mesures de vent, trobem una relació entre sondes inferior a l'observada en les sondes de llum, el que indica una variabilitat major d'aquesta variable. La variabilitat observada entre les dues sondes estudiades va prendre valors del 51.2%, i l'ANOVA va confirmar que les dues llacunes eren significativament diferents respecte als règims de vent. Això podria ser degut a que el vent no segueix cicles estacionals, com sí

ho fa la radiació, i es veu fortament alterat per l'orografia del voltant de la llacuna i la seva situació. Els règims de vent detectats per una sonda poden variar en funció de la distància de la llacuna al mar, de les formacions muntanyoses de la zona o del recobriment de vegetació que envolti la llacuna, entre altres factors (Chen et al., 2016). Aquestes variacions són diferents a cada llacuna i per tant les mesures depenen en gran part de la gran variabilitat local del vent (Gazeau et al., 2005), degut a la qual es poden obtenir valors molt diferents en diferents sondes un mateix dia (*Figura 6*). Aquesta alta variabilitat posa en dubte la utilitat de sondes que integrin tota la zona d'estudi. Amb les sondes zonals, igual que en el cas de la radiació, es guanyaria fiabilitat de les dades, ja que aquestes es revisen i les estacions meteorològiques disposen d'equips professionals molt fiables, però aquestes dades no serien representatives del vent que hi ha a les llacunes. Tot i això, les sondes de vent *in situ* presenten limitacions importants que afecten als registres i que poden fer augmentar la variabilitat observada. Aquestes sondes consten d'un sistema de vela per orientar-se en la direcció del vent i augmentar la fiabilitat de la mesura, ja que si estiguessin immòbils només mesurarien els vents que coincidissin amb la seva orientació. Aquest sistema de vela és delicat i no es pot assegurar que el seu funcionament sigui totalment fiable. El mecanisme conté rodaments per permetre aquest moviment que, al estar exposats a la pols i les partícules de l'ambient, es poden encallar. A més, també poden patir pertorbacions degudes a la fauna o a restes de vegetació i requereixen d'un manteniment i descàrrega de dades amb freqüència.

Així doncs, sembla ser que situar sondes a cada cas d'estudi no presenta clars avantatges respecte a situar una sola sonda, les mesures de la qual serveixin per a tots els casos. En el cas de la radiació, sembla no haver-hi variacions significatives que depenguin de la distància entre sondes, podent-se plantejar la possibilitat d'utilitzar-ne una de sola. Si, com podria ser en aquest estudi, s'utilitzessin les dades de l'estació meteorològica de la Tallada d'Empordà, o d'alguna altra estació meteorològica propera, s'evitarien les afectacions externes abans esmentades. En el cas de les sondes de vent, però, els avantatges d'utilitzar una sola sonda no són gaire clars. És cert que les sondes de vent són molt fràgils i amb facilitat per mesurar de forma errònia, però la variabilitat no ve explicada per possibles errors de la sonda, sinó per la naturalesa i el comportament del vent, que és molt diferent en funció de la localització de la sonda. El vent varia la seva intensitat i direcció en funció de l'orografia que envolta la llacuna, entre altres factors, el que posa en dubte la fiabilitat d'utilitzar una sola sonda propera a tots els llocs d'estudi i generalitzar les mesures d'aquesta sonda per a totes les llacunes, ja que podria generar un error elevat. És competència dels investigadors determinar quin sistema de sondes s'adapta millor a les particularitats de cada estudi, tenint en compte quines variables es volen estudiar, on i com es volen estudiar i també de quins recursos es disposa, per tal que les dades que s'obtinguin suficientment robustes.

5.2 Influència de l'error de les sondes en la mesura del metabolisme

Els valors de metabolisme ecosistèmic obtinguts per les llacunes ESC i TV ens han indicat que, en cap cas, la diferència entre utilitzar els valors de vent i radiació d'una llacuna per al càlcul del metabolisme en una altra llacuna té efectes significatius en el resultat d'aquests càlculs. És a dir, que tot i haver trobat que l'error en les mesures de radiació pot arribar al 23,5% i que l'error en les mesures de vent és superior al 50%, aquest error no es transmet entre llacunes, i per tant, no s'obtenen valors de GPP i ER molt diferents en funció de quines dades s'utilitzin. De fet, l'error mitjà en els càlculs de metabolisme ecosistèmic és menor al 3% en tots els casos, pel que es suposa que el pes que tenen el vent i la radiació en el metabolisme d'aquestes llacunes és molt baix.

Existeixen un gran nombre de factors que determinen el metabolisme d'una llacuna, alguns dels quals estan relacionats amb la radiació i el vent, ja sigui de forma directa o indirecta. La GPP depèn dels productors primaris. En llacunes poc profundes, la comunitat de productors primaris bentònics pot suposar fins a un 70% de la GPP total (Gazeau et al., 2005). És ben conegut que la producció primària està fortament relacionada de forma positiva a la disponibilitat de llum (Giordano et al., 2012), i que tant la producció com la respiració ecosistèmica depenen fortament dels fluxos de nutrients (Caffrey, 2004), però aquests són factors que es tenen en compte en el mètode "diel oxigen". D'altra banda, existeixen molts factors que afecten al metabolisme ecosistèmic de la llacuna, que no són tinguts en consideració en aquest mètode i que podrien ser causa de variabilitat entre llacunes. El vent, per exemple, fa variar la quantitat de partícules suspeses en l'aigua, disminuint la quantitat de llum que arriba als productors primaris bentònics (Lawson et al., 2007). Aquesta disponibilitat de llum també és diferent en funció de si les llacunes són oligotròfiques o eutròfiques, ja que això afecta al coeficient de penetració de la llum, el qual també depèn de la profunditat i règims d'estratificació de la llacuna (Giling et al., 2017). La ER també pot variar segons ho faci l'intercanvi atmosfèric i la saturació d'oxigen. S'ha vist que ratxes de vent superiors a 5 m/s poden fer augmentar la quantitat d'oxigen a l'aigua per bombolleig (Wilkinson et al., 2015). A més, l'impacte del vent sobre la llacuna també depèn de les característiques físiques de la llacuna, com la seva llargada, forma, orientació o proximitat al mar (Chen et al., 2016). Amb l'esmentat anteriorment, queda clar doncs que aquest mètode presenta algunes limitacions per a calcular de forma efectiva el metabolisme ecosistèmic, com per exemple que no té en compte els respiradors anaeròbics, processos físics d'oxidació de matèria orgànica ni l'heterogeneïtat horitzontal i vertical de la llacuna (Kemp & Testa, 2011). Però també ofereix molts avantatges respecte a altres mètodes, com la seva senzillesa, facilitat d'aplicació o globalitat dels resultats, i per això és un dels més utilitzat per als estudis del metabolisme de tot tipus de masses d'aigua (Staehr et al., 2012). El que s'ha pogut constatar amb aquest estudi és que les variabilitats derivades de les dades que proporcionen sondes de radiació PAR i vent representen una petita part de tota la variabilitat que pot haver-hi en el metabolisme d'una llacuna, i que la seva contribució a aquesta variabilitat rarament supera el 20% del total.

6. Conclusions

- 1- The suitability of using *in situ* loggers depends on the variable. While radiation has a low variability and can be measured using one zonal logger, the variability in wind is significantly higher and *in situ* loggers are recommended.
- 2- It is found that the error in physical parameter measurements in different loggers is transmitted when using such data to calculate ecosystem metabolism in lagoons, but the variability found is explained by several more factors that are not fitted in the model, and error due to variability in radiation and wind hardly exceeds 20% error.

Bibliografia

- Alvarez Cobelas, M., Rojo, C., & Angeler, D. G. (2005). Mediterranean limnology: Current status, gaps and the future. *Journal of Limnology*, 64(1), 13–29. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2005.13>
- 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."* 30.
- Badosa, A., Boix, D., Brucet, S., López-Flores, R., & Quintana, X. D. (2007). Short-term effects of changes in water management on the limnological characteristics and zooplankton of a eutrophic Mediterranean coastal lagoon (NE Iberian Peninsula). *Marine Pollution Bulletin*, 54(8), 1273–1284. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2007.01.021>
- Barriocanal, C. (2004). Ecosistemas. In *Papers del Montgrí* (Issue 23, pp. 128–163). <http://www.raco.cat/index.php/PapersMontgri/article/view/113928>
- Benson, B. B., & Krause, D. (1984). The concentration and isotopic fractionation of oxygen dissolved in freshwater and seawater in equilibrium with the atmosphere. *Limnology and Oceanography*, 29(3), 620–632. <https://doi.org/10.4319/lo.1984.29.3.0620>
- Boix, D., 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>
- Brucet, S., Boix, D., López-Flores, R., Badosa, A., Moreno-Amich, R., & Quintana, X. D. (2005). Zooplankton structure and dynamics in permanent and temporary Mediterranean salt marshes: taxon-based and size-based approaches. *Archiv Für Hydrobiologie*, 162(4), 535–555. <https://doi.org/10.1127/0003-9136/2005/0162-0535>
- Caffrey, J. M. (2004). Factors controlling net ecosystem metabolism in U.S. estuaries. *Estuaries*, 27(1), 90–101. <https://doi.org/10.1007/BF02803563>
- Chen, W. L., Roos, P. C., Schuttelaars, H. M., Kumar, M., Zitman, T. J., & Hulscher, S. J. M. H. (2016). *Response of large-scale coastal basins to wind forcing : influence of topography*. 549–565. <https://doi.org/10.1007/s10236-016-0927-1>
- Costanza, & R. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature (London) (United Kingdom)*, 387(6630). <http://mendeley.csuc.cat/fitxers/753f1f9d7e842879abd522a0976b84f6>
- D'Avanzo, C., Kremer, J. N., & Wainright, S. C. (1996). Ecosystem production and respiration in response to eutrophication in shallow temperate estuaries. *Marine Ecology Progress Series*, 141(1–3), 263–274. <https://doi.org/10.3354/meps141263>

- Doadrio, I., Asensio González, R., García Avilés, J., García de Jalón Lastra, D., Gómez Caruana, F., González Carmona, J. A., González Fernández, G., & Zaldivar Ezquerro, C. (2002). *Atlas y Libro Rojo de los Peces Continentales de España*.
- Farnaz Nojavan, A., Kreakie, B. J., Hollister, J. W., & Qian, S. S. (2019). Rethinking the lake trophic state index. *PeerJ*, 2019(11), 1–16. <https://doi.org/10.7717/peerj.7936>
- Gazeau, F., Borges, A. V., Barrón, C., Duarte, C. M., Iversen, N., Middelburg, J. J., Delille, B., Pizay, M. D., Frankignoulle, M., & Gattuso, J. P. (2005). Net ecosystem metabolism in a micro-tidal estuary (Randers Fjord, Denmark): Evaluation of methods. *Marine Ecology Progress Series*, 301, 23–41. <https://doi.org/10.3354/meps301023>
- Giling, D. P., Staehr, P. A., Grossart, H. P., Andersen, M. R., Boehrer, B., Escot, C., Evrendilek, F., Gómez-Gener, L., Honti, M., Jones, I. D., Karakaya, N., Laas, A., Moreno-Ostos, E., Rinke, K., Scharfenberger, U., Schmidt, S. R., Weber, M., Woolway, R. I., Zwart, J. A., & Obrador, B. (2017). Delving deeper: Metabolic processes in the metalimnion of stratified lakes. *Limnology and Oceanography*, 62(3), 1288–1306. <https://doi.org/10.1002/lno.10504>
- Giordano, J. C. P., Brush, M. J., & Anderson, I. C. (2012). Ecosystem metabolism in shallow coastal lagoons: Patterns and partitioning of planktonic, benthic, and integrated community rates. *Marine Ecology Progress Series*, 458, 21–38. <https://doi.org/10.3354/meps09719>
- Kemp, W. M., & Testa, J. M. (2011). Metabolic balance between ecosystem production and consumption. *Treatise on Estuarine and Coastal Science*, 7, 3950. <http://mendeley.csuc.cat/fitxers/57a021a7b04fb3432724d62ae82f0c7d>
- KestrelMeters. (2020). *Kestrel 5000*. https://es-kestrelmeters.glopalstore.com/products/kestrel-5000-environmental-meter?utm_campaign=pr_r&utm_source=https://kestrelmeters.com&utm_medium=wi_proxy&utm_content=en_US&utm_term=a
- Kjerfve, B. (1994). Comparative Oceanography of Coastal Lagoons processes. *Elsevier Oceanography Series*, 60, 63–68. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/C2013-0-05028-1>
- Lawson, S. E., Wiberg, P. L., McGlathery, K. J., & Fugatf, D. C. (2007). Wind-driven sediment suspension controls light availability in a shallow coastal lagoon. *Estuaries and Coasts*, 30(1), 102–112. <https://doi.org/10.1007/BF02782971>
- Muntaner, J. (2010). El flux hidrològic de la plana litoral del Baix Ter. In *El flux hidrològic de la plana litoral del Baix Ter* (pp. 53–200).
- Myers, N., Mittermeller, R. A., Mittermeller, C. G., Da Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853–858. <https://doi.org/10.1038/35002501>
- Onset Computer. (2020). *HOB0® Pendant® MX Temp (MX2201) and Temp/Light (MX2202) Logger Manual - 21536-MX2201-MX2202-Manual | Onset Data Loggers*. <https://www.onsetcomp.com/support/manuals/21536-mx2201-mx2202-manual/>

- PME, I. (2020). *miniDOT USB Oxygen Logger*. <https://www.pme.com/new-products/minidot-usb-oxygen-logger>
- Quintana, X. D. (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>
- Regan, H. M., Lupia, R., Drinnan, A. N., & Burgman, M. A. (2001). The currency and tempo of extinction. *American Naturalist*, 157(1), 1–10. <https://doi.org/10.1086/317005>
- Serrano, L., Reina, M., Martín, G., Reyes, I., Arechederra, A., León, D., & Toja, J. (2006). The aquatic systems of Doñana (SW Spain): Watersheds and frontiers. *Limnetica*, 25(1–2), 11–32.
- Small, C., & Nicholls, R. J. (2003). A global analysis of human settlement in coastal zones. *Journal of Coastal Research*, 19(3), 584–599. <https://doi.org/10.2307/4299200>
- Staehr, P. A., Bade, D., van de Bogert, M. C., Koch, G. R., Williamson, C., Hanson, P., Cole, J. J., & Kratz, T. (2010). Lake metabolism and the diel oxygen technique: State of the science. *Limnology and Oceanography: Methods*, 8(NOV), 628–644. <https://doi.org/10.4319/lom.2010.8.0628>
- 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>
- Wilkinson, G. M., Cole, J. J., Pace, M. L., Johnson, R. A., & Kleinhans, M. J. (2015). Physical and biological contributions to metalimnetic oxygen maxima in lakes. *Limnology and Oceanography*, 60(1), 242–251. <https://doi.org/10.1002/lno.10022>
- Zhai, T., Wang, J., Fang, Y., Qin, Y., Huang, L., & Chen, Y. (2020). Assessing ecological risks caused by human activities in rapid urbanization coastal areas: Towards an integrated approach to determining key areas of terrestrial-oceanic ecosystems preservation and restoration. *Science of the Total Environment*, 708, 135153. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135153>