



**Títol del treball:**

**Efectes d'un incendi sobre el metabolisme de la llacuna del  
Ter Vell**

Estudiant: Jaume Archilés Illa

Correu electrònic: [Jaume.a.illa@gmail.com](mailto:Jaume.a.illa@gmail.com)

Grau en Biologia

Tutor: Francisco Javier de Quintana Pou

Correu electrònic: [xavier.quintana@udg.edu](mailto:xavier.quintana@udg.edu)

Institució: Universitat de Girona

Data de dipòsit de la memòria a través de la plataforma de TFG: 29/06/2023

# ÍNDEX

<b>RESUM.....</b>	<b>1</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>2</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>3</b>
<b>REFLEXIÓ SOBRE ÈTICA .....</b>	<b>4</b>
<b>REFLEXIÓ SOBRE SOSTENIBILITAT .....</b>	<b>4</b>
<b>REFLEXIÓ SOBRE PERSPECTIVA DE GÈNERE .....</b>	<b>4</b>
<b>1. INTRODUCCIÓ .....</b>	<b>5</b>
<b>2. OBJECTIUS .....</b>	<b>6</b>
<b>3. MATERIALS I MÈTODES .....</b>	<b>6</b>
3.1. LLOC D'ESTUDI.....	6
3.2. PRESA I TRACTAMENT DE DADES.....	7
3.3. TAXES METABÒLIQUES I ESTIMACIÓ DEL METABOLISME .....	9
<b>4. RESULTATS.....</b>	<b>10</b>
4.1. VARIABLES I CONDICIONS AMBIENTALS .....	10
4.2. TAXES METABÒLIQUES.....	11
4.3. SATURACIÓ DE L'OXIGEN DISSOLT I DESVIACIÓ DE LA SATURACIÓ DE L'OXIGEN (ADO) .....	13
4.4 RELACIÓ ESTADÍSTICA DE LES TAXES METABÒLIQUES I VARIABLES AMBIENTALS.....	14
4.5. COMPARACIÓ DEL METABOLISME ENTRE ELS ANYS 2019, 2020 I 2022 .....	15
<b>5. DISCUSSIÓ.....</b>	<b>18</b>
5.1. VARIACIÓ DE L'OXIGEN DISSOLT .....	18
5.2. ALTERACIÓ DE LES TAXES METABÒLIQUES .....	19
5.3. EL QUOCIENT PR COM A INDICADOR DE QUALITAT .....	20
<b>6. CONCLUSIONS.....</b>	<b>21</b>
<b>7. AGRAÏMENTS .....</b>	<b>22</b>
<b>8. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>22</b>

## Resum

En aquest estudi, hem descrit el metabolisme ecosistèmic de Ter Vell, una llacuna costanera situada entre Torroella de Montgrí i l'Estartit la qual va patir un incendi forestal a finals de l'any 2021. Hem estimat les taxes metabòliques aplicant un model Bayesià a dades recol·lectades durant els 9 mesos posteriors a l'incendi. El nostre objectiu era veure l'impacte de l'incendi en el metabolisme de la llacuna examinant les taxes metabòliques de producció i respiració les quals són descrites com bons indicadors del metabolisme en aquests ecosistemes. També hem volgut analitzar els canvis metabòlics estacionals quantificant la concentració d'oxigen dissolt i l'estat ecològic de Ter Vell comparant el metabolisme de l'any de l'incendi amb dos anys anteriors.

Hem observat com en els mesos d'estiu, a mesura que la intensitat lumínica i la temperatura augmenten tant la producció (GPP) com la respiració (ER) assoleixen valors més alts que la resta d'estacions. Tot i això, després d'haver-se produït l'incendi també es produeixen pics en la GPP. La temperatura mostra una relació baixa i no significativa amb la producció. Comparant la GPP amb la mateixa taxa sense els efectes de la intensitat lumínica (GPPmax) veiem que durant l'incendi aquesta assoleix valors tan alts com durant l'estiu. La GPPmax mostra com l'incendi afecta la producció de la llacuna i, per tant, al seu metabolisme, tot i que no de manera directe per la influència d'altres factors. També es veu un patró similar en la saturació de l'oxigen dissolt, el qual pateix majors oscil·lacions amb valors més elevats durant els mesos estivals i després d'haver-se produït l'incendi, arribant a la mateixa conclusió. Finalment, vam comparar el quocient PR i la GPP amb dades d'anys anteriors a l'incendi, on les condicions meteorològiques eren completament diferents de les del nostre estudi per veure l'estat ecològic de Ter Vell. S'ha pogut identificar el quocient PR com el millor indicador de qualitat de l'estat de la llacuna gràcies a les variacions entre els diferents períodes analitzats.

## Resumen

En este estudio, hemos descrito el metabolismo ecosistémico de Ter Vell, una laguna costera situada entre Torroella de Montgrí y l'Estartit la cual sufrió un incendio forestal a finales del año 2021. Hemos estimado las tasas metabólicas aplicando un modelo Bayesiano a datos recolectados durante un período de 9 meses. Nuestro objetivo era ver el impacto del incendio en el metabolismo de la laguna examinando las tasas metabólicas de producción y respiración, descritas como buenos indicadores del metabolismo en estos ecosistemas. También hemos querido analizar los cambios metabólicos estacionales cuantificando la concentración de oxígeno disuelto y el estado ecológico de Ter Vell comparando el metabolismo del año del incendio con dos años anteriores.

Hemos observado cómo en los meses de verano, a medida que la intensidad lumínica y la temperatura aumentan tanto la producción (GPP) como la respiración (ER) alcanzan valores más altos que el resto de estaciones. Sin embargo, después de haberse producido el incendio también se observan picos en la GPP. La temperatura muestra una relación baja y no significativa con la producción. Comparando la GPP con la misma tasa sin los efectos de la intensidad lumínica (GPPmax) vemos que durante el incendio ésta alcanza valores tan altos como durante el verano. La GPPmax muestra cómo el incendio afecta a la producción de la laguna y por tanto a su metabolismo, aunque no de manera directa por la influencia de otros factores. También se observa un patrón similar en la saturación del oxígeno disuelto, que sufre mayores oscilaciones con valores más elevados durante los meses estivales y después de haberse producido el incendio, llegando a la misma conclusión. Finalmente comparamos el cociente PR y la GPP con datos de años anteriores al incendio, donde las condiciones meteorológicas eran completamente diferentes a las de nuestro estudio para ver el estado ecológico de Ter Vell. Se ha podido identificar el cociente PR como el mejor indicador de calidad del estado de la laguna gracias a las variaciones entre los distintos períodos analizados.

## Abstract

In this study, we have described the ecosystem metabolism of Ter Vell, a coastal lagoon located between Torroella de Montgrí and l'Estartit which suffered a wildfire at the end of 2021. We have estimated metabolic rates by applying a Bayesian model to data collected over a period of 9 months. Our objective was to assess the impact of the fire on the metabolism of the lagoon by examining the metabolic rates of production and respiration which are described as good indicators of metabolism in these ecosystems. We also wanted to analyze the seasonal metabolic changes by quantifying the concentration of dissolved oxygen and the ecological state of Ter Vell by comparing the metabolism of the year of the wildfire with that of other previous years.

We have observed how during summer months, as light intensity and temperature increase, both production (GPP) and respiration (ER) reach higher values than the rest of the seasons. However, after the fire has occurred, there are also peaks in the GPP. Temperature shows a low and non-significant relationship along production. Comparing GPP with the same rate without the effects of light intensity (GPPmax) we observe that during wildfire it reaches values as high as in summer. GPPmax shows how the wildfire affects the production of the lagoon and therefore its metabolism, although not directly due to the influence of other factors. A similar pattern is also observed in the saturation of dissolved oxygen, which undergoes greater oscillations with higher values during summer months and after the wildfire occurred, reaching the same conclusion. Finally, we compared the PR quotient and GPP with data from 2 previous years, where the meteorological conditions were completely different from those of our study to assess the ecological state of Ter Vell. PR quotient was identified as the best quality indicator of Ter Vell due to the variations in between the different periods analysed.

## **Reflexió sobre ètica**

L'obtenció de mostres en aquest treball s'ha dut a terme mitjanant unes sondes col·locades a la zona d'estudi. Aquestes no afecten als animals planctònics ni bentònics que formen els ecosistemes de llacunes costaneres. Per obtenir les dades que es recullen es va realitzar el mínim impacte a la zona a través d'una tècnica no intrusiva, tenint sempre en compte les normatives vigents dins de la Zona Parcial Protegida. Gràcies a la gran capacitat d'emmagatzematge de les sondes s'aconsegueix reduir el màxim el nombre de vegades que s'ha d'anar a recollir les dades a tan sols un cop al mes.

## **Reflexió sobre sostenibilitat**

El treball s'ha encarat cap a millorar l'estat ecològic de la llacuna i minimitzar l'impacte que puguem causar-hi durant els dies de mostreig. Pel desplaçament cap a la zona d'estudi s'ha reduït l'ús tan sols un cotxe entre totes les persones i així rebaixar la despesa de carboni emesa durant el trajecte, essent la única directament relacionada amb l'ús de combustibles fòssils. La majoria de materials usats durant el mostreig són reutilitzables. Els que no ha sigut possible tornar a usar s'ha reciclat correctament, evitant deixar cap utensili o resta de plàstic (o qualsevol altre material) a la zona d'estudi i contribuir a la contaminació de la zona.

## **Reflexió sobre perspectiva de gènere**

Els rols, expectatives i estereotips de gènere influeixen en la vida de moltes persones i és essencial comprendre com ens afecten en diferents àmbits. En l'àrea científica, segons la UNESCO l'any 2021 es va decretar que menys d'un 30% d'investigadors eren dones (*Women in Science, 2016*) de les quals en els camps científics de l'*STEM* (acrònim en anglès de Ciència, Tecnologia, Enginyeria i Matemàtiques) publiquen menys i no progressen tant en les seves carreres com els homes. En el salari també es pot veure reflectida aquesta diferència, on els barons guanyen de mitjana 15.000\$/any més que les dones. I no només es veu aquesta diferència entre gèneres sinó que la nacionalitat també és un factor a tenir en compte; les dones negres i llatines dedicades a aquestes mateixes disciplines guanyen al voltant de 33.000\$ menys (una mitjana de 52.000\$/any) respecte els homes amb el seu mateix càrrec. Aquestes situacions no haurien de representar la normalitat del nostre dia a dia, però ho fan. És per això que com a societat ens hauríem de replantejar què estem fent malament i actuar-hi per acabar d'erradicar de manera definitiva amb aquestes diferències que tenen no tenen un argument raonable i sense cap mena de sentit. Això però requereix d'un canvi que sembla que s'està donant, tot i que encara queda un llarg recorregut per fer i ara més que mai està a les nostres mans poder-ho dur a terme.

## 1. Introducció

Les llacunes costaneres són cossos d'aigua naturals de baixa profunditat generalment paral·lels a la costa, separades del mar per barreres naturals com illots de sorra (Singh et al., 2022) que alhora estan connectades per una o més entrades restringides, que romanen obertes almenys de manera intermitent (Kjerfve, 1994). L'aigua que contenen prové principalment d'aqüífers i de temporals marítics produïts per llevantades, les quals salinitzen la llacuna. Aquests medis experimenten diferents variabilitats ambientals amb fluctuacions hidrològiques (Gascón, 2005) sense cap aportació d'aigua superficial durant els mesos d'estiu (Bas et al., s.d.) fent que les espècies que hi habiten estiguin adaptades a aquestes condicions (Zacharias et al., 2007). Aquest tipus d'ecosistema tan sols cobreix un 6% de la superfície terrestre (Naiman & Décamps, 1997) tot i tenir un alt valor ambiental per les seves funcions com embornals de carboni i reservori d'aigua (Joyce, 2012). Durant el segle passat la pèrdua de cossos d'aigua naturals a escala mundial ha estat d'un 50% segons Millennium Ecosystem Assessment (Program) (2005) amb el creixement de la població humana com a causa principal. Alguns models esperen que en els 50 anys vinents hi hagi una pèrdua d'entre l'11-62% de tan sols llacunes costaneres (Nicholls, 2004).

Activitats antropogèniques com l'agricultura, drenatge, pasturatge i urbanització tenen efectes negatius en llacunes costaneres, reduint la riquesa i alterant la composició de les seves comunitats, principalment d'espècies que depenen de condicions oligotròfiques on els valors de nutrients són baixos (Bouahim et al., 2014). El canvi global també està incrementant la pressió i la vulnerabilitat en aquestes zones humides de la costa mediterrània afectant la seva hidrologia (Grillas et al., 2021) i el nombre d'incendis forestals, més presents cada cop a la nostra regió i a la resta del sud d'Europa (Dupuy et al., 2020). Durant les últimes 5 dècades la península Ibèrica ha experimentat un increment de l'aridesa del territori causada per un augment de la temperatura anual 1.5 °C (2.1 °C durant l'estiu) i un descens de les precipitacions del 15.6% (Vicente-Serrano et al., 2014). Un clima més càlid i sec es tradueix en un increment del nombre d'incendis produït que els esforços inicials per mitigar-los siguin majors, donant lloc en un període de temps més curt a focs més grans (Stocks, 1993).

En ecosistemes aquàtics, després que s'hagi produït un incendi sol haver-hi entrades de cendra que incrementen la quantitat de nutrients, sediments (Spencer & Hauer, 1991) i matèria orgànica dissolta (Holden et al., 2012) consegüentment augmentant la producció primària, essent quantificada amb l'ús de taxes metabòliques (Holtgrieve et al., 2010). També es pot donar una pèrdua del dosser arbori (Minshall et al., 1989) i de la vegetació de la zona adjacent provocant un augment de l'escorrentia i el transport de sediments d'una major mida (Vaz et al., 2015). El 7 de novembre del 2021, un incendi

prop de la llacuna costanera del Ter Vell inclosa com a reserva natural parcial en el parc natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter (comarca del Baix Empordà) va calcinar 14.49ha de superfície forestal herbàcia i de matoll (Visualització dels incendis a Catalunya 2011-2022, Generalitat de Catalunya).

La determinació de les taxes metabòliques ecosistèmiques més importants segons Staehr et al. (2012) com la producció primària bruta (GPP), respiració ecosistèmica (ER) i producció ecosistèmica neta (NEP) calculades a partir de dades de salinitat, temperatura de l'aigua, concentració d'oxigen dissolt, pressió atmosfèrica... (entre d'altres) permeten avaluar l'efecte de perturbacions produïdes en ecosistemes lacustres durant el passat, el seu comportament en un present i la seva resposta a canvis futurs (Bas Silvestre, 2021). Aconseguir descriure i identificar els diferents impactes en aquestes zones cada cop més vulnerables i afectades permetrà aplicar les mesures necessàries per mitigar-ne els efectes i ajudar a la seva protecció i conservació.

En aquest estudi volem identificar els efectes causats per l'incendi a partir del metabolisme ecosistèmic. La nostra hipòtesi de partida és que l'incendi farà incrementar la producció primària i disminuirà la respiració de la llacuna a causa de l'entrada de nova matèria orgànica i la captació de matèria orgànica dissolta. Una segona hipòtesi és que l'alteració de la saturació d'oxigen dissolt de l'aigua a conseqüència dels gasos i materials de combustió.

## **2. Objectius**

The main objective was to assess the impact of the wildfire on the metabolism of the Ter Vell coastal lagoon by examining the rates of production and respiration.

The second objective was to analyze the seasonal metabolic dynamics by quantifying the aquatic metabolism based on high-frequency measurements of dissolved oxygen (DO) concentrations during the study period.

The last objective was to quantify the changes in the ecological status of Ter Vell lagoon by comparing the metabolism of the year of the wildfire with that of other previous years.

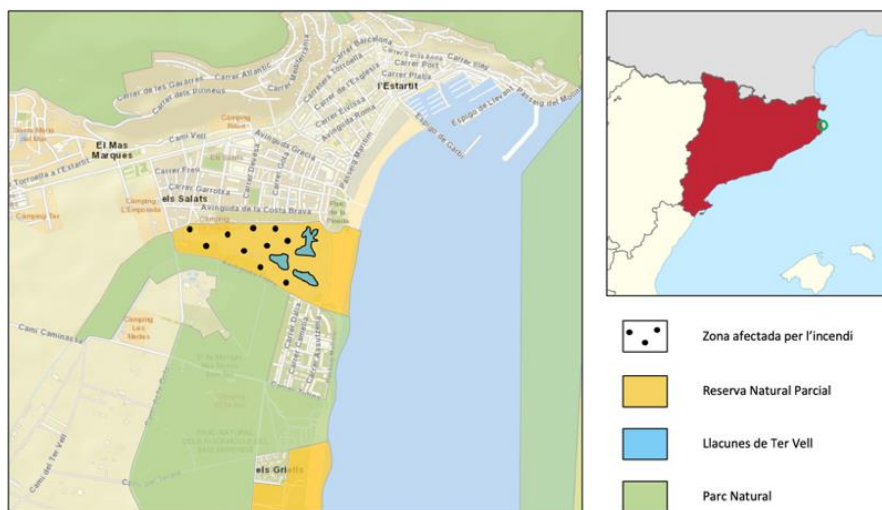
## **3. Materials i mètodes**

### *3.1. Lloc d'estudi*

L'estudi s'ha realitzat a la llacuna costanera de Ter Vell, situada a la plana litoral empordanesa, entre Torroella de Montgrí i l'Estartit, al Baix Empordà (Girona, NE de la península Ibèrica) (Fig. 1). L'àrea



protegida que formen aquest i altres cossos d'aigua són definits com a llacunes costaneres salobres o hiperhalins confinats (Trobajo et al., 2002) dins de la Xarxa Natura 2000 (*La Pletera - Consorci del Ter*, s.d.). Aquestes llacunes no estan influenciades per la marea de la zona humida del Baix Ter (Badosa et al., 2008) presentant una absència d'entrades d'aigües continentals o marines contínues fent que gran part d'aquesta acumulació d'aigua provingui de temporals marítims ocorreguts principalment durant l'hivern seguit de llargs períodes de disminució del nivell de la llacuna causant un augment de la salinitat pel confinament (Meredith et al., 2022). El clima és sot-humit amb una temperatura mitjana anual que oscil·la els 15 °C. La precipitació mitjana anual és d'aproximadament 545 mm/any (*Resums / Estació meteorològica de l'Estartit i de Torroella de Montgrí*, s.d.). Com moltes zones humides, la zona d'estudi acull una fauna abundant, rica i diversa. Pel que fa a la fauna, diferents espècies ocupen aquest espai com ara el blauet (*Alcedo atthis*), l'arpella vulgar (*Circus aeruginosus*) i la tortuga d'estany (*Emys orbicularis*) (*Fauna*, gencat), mentre que la flora i la vegetació més comuna són l'om (*Ulmus minor*), el tamariu (*Tamarix anglica*) i la balca (*Typha angustifolia*) (*Flora i vegetació*, gencat).



**Figura 1.** Localització de les llacunes a la zona de Ter Vell (Girona, NE de la península ibèrica). El punt verd de la imatge superior dreta mostra la zona d'estudi, ampliada amb més detall a la imatge esquerra. Font: Autoria pròpia

### 3.2. Presa i tractament de dades

Durant el període d'estudi comprès entre novembre de 2021 i juliol de 2022 es va obtenir les variables ambientals a través de l'ús de 3 sondes diferents. Les sondes es varen instal·lar el 12 de novembre, cinc dies després de l'incendi. Una sonda òptica OD (MiniDOT, PME, EE.UU.) (Fig. 2) situada sobre una

boia en la part més profunda i centrada de la llacuna a una fondària de 30cm respecte la superfície va permetre mesurar i obtenir les dades de la temperatura de l'aigua (abreujada al model com *tempC*; en °C), conductivitat (abreujada al model com *Salinity*; en mS/cm), percentatge de saturació d'oxigen dissolt (abreujada al model com *DOsat*; en %) i concentració d'oxigen (abreujada al model com *DO.meas*; en mg · L<sup>-1</sup>) cada 10 minuts amb una resolució de 0,01 mg · L<sup>-1</sup> i una precisió de ±5%. Per la utilització de *DO.meas* es necessita realitzar una correcció en la sonda MiniDOT (Maria Bas Silvestre, 2023) amb les dades de temperatura, salinitat i pressió atmosfèrica obtingudes a partir d'una sonda de salinitat situada en la mateixa boia. Les dades de conductivitat van ser tractades pel càlcul del metabolisme amb el programa *RStudio* a través d'un *script* de correcció de l'oxigen dissolt (Maria Bas Silvestre, 2023) per acabar obtenint dades de salinitat.

El *Oxygen as absolute deviation from saturation* o desviació de la saturació de l'oxigen (abreujat com *aDO*; en %) s'ha obtingut aplicant la fórmula de Vollenweider et al. (1998) on es resta 100 a les dades de saturació d'oxigen dissolt (*DOsat*) obtingudes en valor absolut:

$$aDO = |100 - DOsat(\%)| \quad (\text{eq. 1})$$

L'altre sonda recol·lectora de dades (BaroDiver, Van Essen Instruments, Netherlands) (Fig. 2) es va situar a una fondària fixe a la part més profunda de la llacuna, a una cota de 50cm per sota del nivell mitjà del mar a la zona per poder mesurar amb precisió les dades de l'alçada de la columna d'aigua (abreujada al model com *Zmix*; en m).

Les variables meteorològiques com la pressió atmosfèrica (abreujada al model com *Atmo.pressure*; en atm), velocitat del vent (abreujada al model com *Wind*; en m/s), alçada de les onades (m) i precipitació acumulada (abreujada al model com *Precipitació*; mm/dia) s'han obtingut gràcies a l'estació meteorològica de l'Estartit recollides per en Josep Pascual (1966–2023, Estació meteorològica de l'Estartit 0385J, AEMET. Dades disponibles a <http://meteolestartit.cat/>). Les dades de llum (abreujada al model com *I*; en μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>) s'han obtingut a través d'una sonda HOB0 Pendant data logger MX2202 de Onset situada sobre una columna de fusta a 2m d'alçada prop de la llacuna que mesurava amb una freqüència de 10 minuts (*HOB0 Pendant MX Temperature/Light Data Logger | Onset's HOB0 and InTemp Data Loggers*, s.d.). Per la seva utilització es va requerir transformar els valors obtinguts en lux a flux de fotons (μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>) de la manera següent (Maria Bas Silvestre, 2023):

$$I(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}) = I(\text{lux}) \cdot 0.019 \quad (\text{eq. 2})$$

Entre la segona i tercera setmana de cada mes es descarregaven els valors recol·lectats per les sondes i s'emmagatzemaven a l'ordinador de camp subministrat per la pròpia Universitat a través del software de cadascuna d'elles. Els dies de mostreig solen produir-se pèrdues de dades essent eliminats per el posterior anàlisi.

### 3.3. Taxes metabòliques i estimació del metabolisme

Per la determinació del metabolisme ecosistèmic s'ha utilitzat el model "Bayesian Single-station Estimation (BASE) (Grace et al., 2015) modificat per Bas-Silvestre et al. (2020) amb el programa estadístic *RStudio* (entorn de desenvolupament integrat per a *R*). BASE es basa en les oscil·lacions diàries d'oxigen dissolt (*DO.meas*, *DOsat*) i les variables *I*, *tempC*, *Atmo.pressure*, *Wind*, *Salinity* i *Zmix* per el càlcul de les taxes metabòliques com la *Gross Primary Production* o Producció Primària Bruta (abreujat al model com GPP; en  $\text{mg L}^{-1} \text{d}^{-1}$ ), *Ecosystem Respiration* o Respiració Ecosistèmica (abreujat al model com ER; en  $\text{mg L}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) i la *Net Ecosystem Production* o Producció Ecosistèmica Neta (abreujat al model com NEP; en  $\text{mg L}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) corresponent a la resta entre la GPP i la ER. Valors negatius de la NEP indiquen que la respiració supera la producció i valors positius indiquen que la GPP supera la ER. També s'ha realitzat el logaritme del quocient entre la GPP i la ER (abreujat al model com PR) essent útil per veure la relació entre ambdues variables.

Per l'obtenció dels resultats del model es va preparar un arxiu amb totes les variables esmentades anteriorment i ordenades segons la data (*Date*; en format UTC) on diàriament hi ha 144 registres (dades cada 10 minuts). Els resultats obtinguts després de fer córrer el model son un arxiu anomenat *BASE\_results.csv* i *instantaneous rates* juntament amb una carpeta anomenada *validation plots*. *BASE\_results.csv* conté les dades diàries de GPP, ER i NEP amb les seves corresponents mitjanes i desviacions estàndard mentre que *instantaneous rates* conté les taxes de GPP i ER amb intervals cada 10 minuts (no han estat utilitzades). Per determinar les dades vàlides per l'estudi vam seguir el criteri de Bas-Silvestre et al. (2020) on només els valors que tenen un coeficient de determinació  $R^2$  (ubicat a *BASE\_results.csv*) igual o superior a 0.4 sense l'indicador *check.convergence* (tot i tenir una  $R^2$  vàlida) poden ser utilitzats.

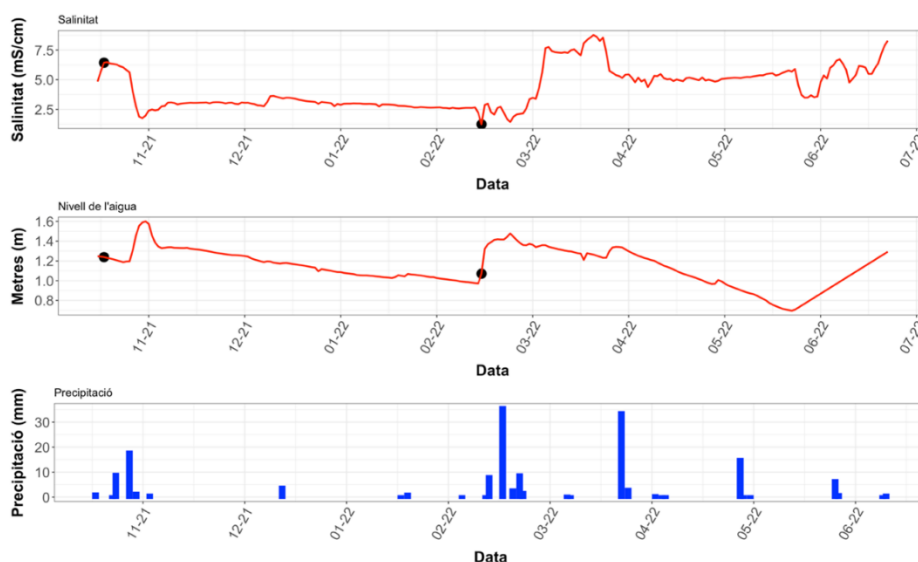
També es va dur a terme el càlcul de la Producció Primària Bruta estandarditzada per la màxima intensitat lumínica obtinguda durant l'estudi (*GPPmax*; en  $\text{mg L}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) i la Respiració Ecosistèmica estandarditzada a 20°C (*ER20*; en  $\text{mg L}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) amb les taxes obtingudes al BASE seguint el criteri de Grace et al. (2015). Ambdós paràmetres minimitzen els efectes de la llum i temperatura (factor que més depèn de la producció i respiració) (Maria Bas Silvestre, 2023).

## 4. RESULTATS

### 4.1. Variables i condicions ambientals

Les dades comencen a mitjans de novembre amb un temporal marítim (punt negre a la Fig. 3) juntament amb un episodi de pluges, provocant una baixada de la salinitat i un augment del nivell de l'aigua a la llacuna (Fig. 3). Els següents 3 mesos d'hivern es produeix un període d'estabilitat on no hi ha pluges importants i el nivell de la llacuna disminueix, però amb certa entrada d'aigua dolça, perquè la salinitat es manté estable amb alteracions baixes.

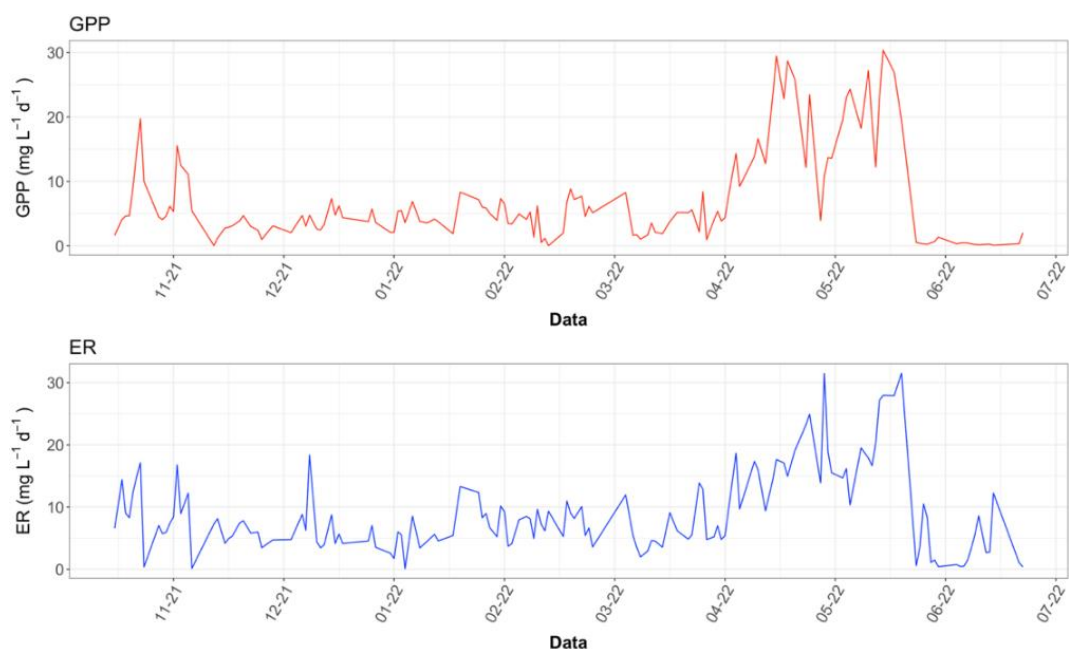
A finals d'hivern hi ha un nou temporal marítim acompanyat de pluges abundants que provoquen un increment de la salinitat i l'augment del nivell de la llacuna. En el transcurs del període entre la primavera i l'estiu s'observa una tendència a la disminució del nivell de l'aigua, temporals marítims i episodis de pluja coincidint amb l'augment de les temperatures durant aquests mesos de l'any. Finalment la salinitat augmenta progressivament tot i experimentar canvis més pronunciats a partir d'inicis d'estiu. El nivell d'aigua de la llacuna també ascendeix fins a gairebé recuperar les condicions anteriors per entrades d'aigua de mar associades a l'augment de la salinitat. Durant la primavera es registren tres episodis de pluja, el més important a mitjans de març, dos més acabant el mes d'abril i un a finals de maig.



**Figura 3.** Dades de salinitat (mS/cm), nivell d'aigua de la llacuna (m), precipitacions (mm) i temporals marítims (punts negres) durant el període d'estudi. L'eix X indica el mes-any.

## 4.2. Taxes metabòliques

Tant la producció primària bruta (GPP) com la respiració (ER) presenten dos pics després de l'incendi ocorregut a principis de novembre (Fig. 4). Durant els mesos d'hivern la GPP es manté estable mentre que la ER presenta algun pic tot i seguir una tendència força constant. Iniciant la primavera tant la producció com la respiració augmenten fins a valors propers a  $30 \text{ mg L}^{-1} \text{ d}^{-1}$  on les dues variables pateixen un descens brusc coincidint amb un episodi de pluges, tot i que acaben recuperant els valors previs que havien assolit.

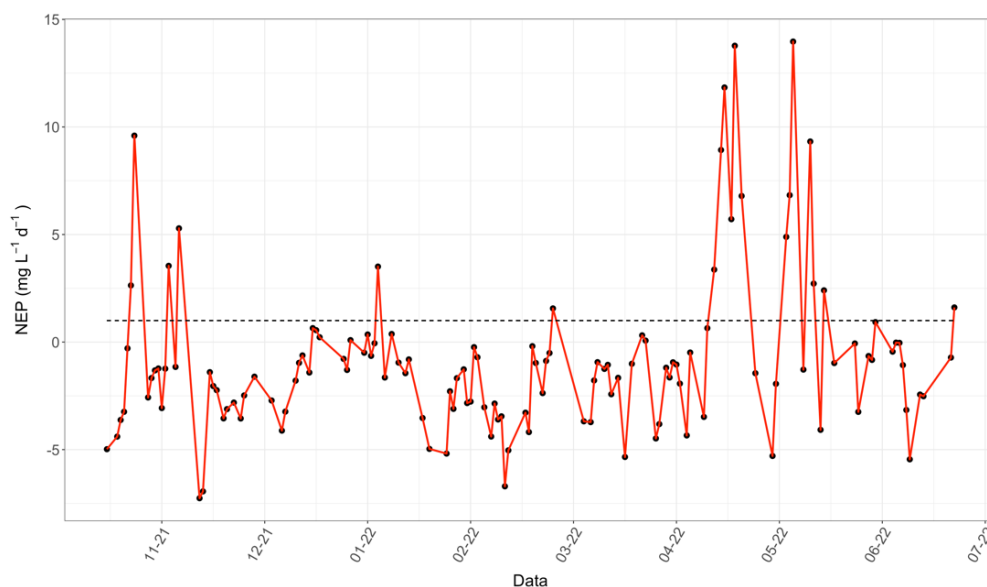


**Figura 4.** Dades de la producció primària bruta (GPP) i la respiració (ER) durant el període d'estudi. L'eix X indica el mes-any

En els mesos d'estiu tant la producció com la respiració mostren un descens pronunciat arribant a prop de  $0 \text{ mg L}^{-1} \text{ d}^{-1}$  on la GPP es manté al voltant d'aquests valors mentre que l'ER experimenta tres pics molt sobtats (Fig. 4).

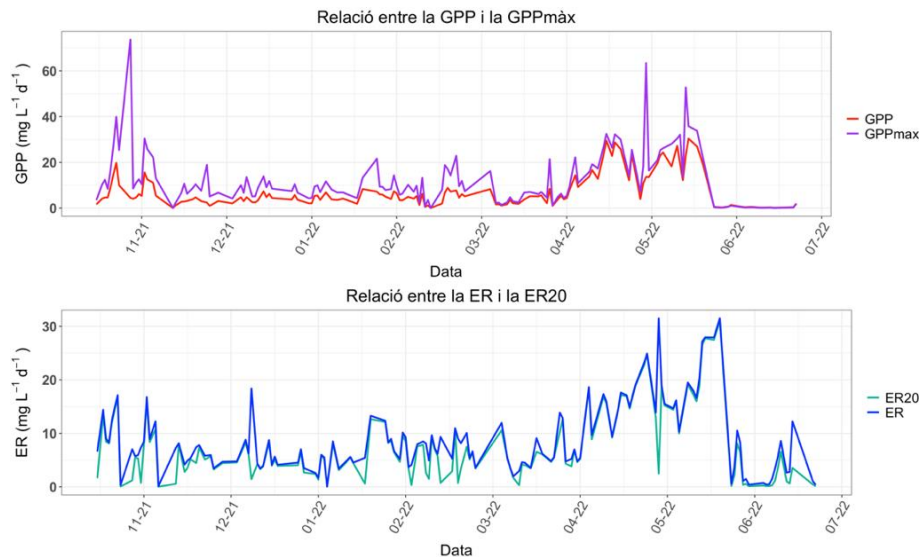
El mateix patró observat en les dades mensuals de GPP i ER es reflecteix en la NEP (Fig. 5). Després de l'incendi al novembre es produeixen 2 pics positius amb valors propers als  $10 \text{ mg L}^{-1} \text{ d}^{-1}$  seguit d'un descens molt pronunciat.

Durant els mesos d'hivern i primavera la NEP segueix una tendència força estable negativa. A finals de la primavera es produeix un augment positiu proper als  $15 \text{ mg L}^{-1} \text{ d}^{-1}$  seguit d'una baixada fins a valors de  $-5 \text{ mg L}^{-1} \text{ d}^{-1}$  i una posterior recuperació dels valors anteriors. Entrant als mesos d'estiu aquesta variable oscil·la entre valors negatius amb una tendència final d'ascens positiva (Fig. 5).



**Figura 5.** Representació de la producció primària neta (NEP) al llarg de tot l'estudi. La línia discontinua marca el valor 1 de la NEP al llarg de l'eix Y. L'eix X indica el mes-any.

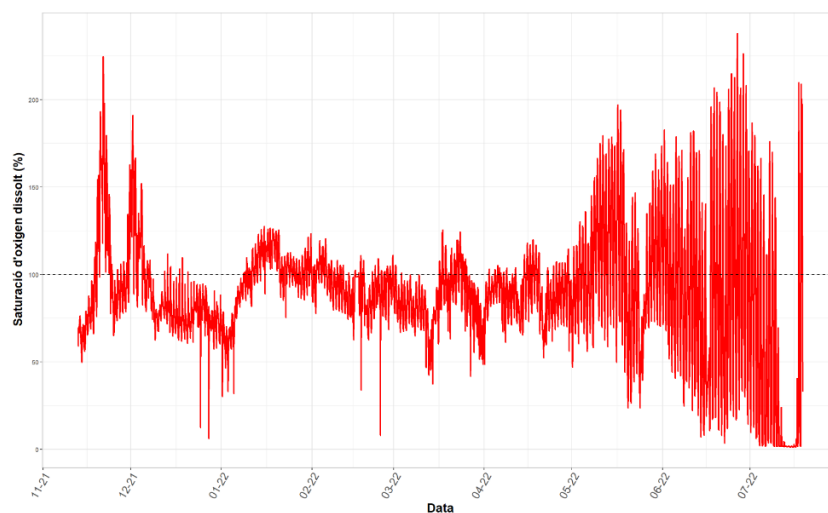
La GPPmax no segueix la dinàmica de la GPP (Fig. 6). Els valors màxims per la GPP es troben coincidint amb l'inici de la primavera ( $30 \text{ mg L}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ) mentre que per la GPPmax s'observa com el pic es produeix just després de l'incendi ocorregut durant l'hivern assolint un valor màxim de  $73.24 \text{ mg L}^{-1} \text{ d}^{-1}$ . La tendència durant els mesos d'hivern i primavera és la mateixa per ambdues taxes. En canvi, la ER i la ER20 segueixen unes oscil·lacions molt semblants. Durant l'hivern i la primavera ambdues mostren la mateixa tendència assolint en molts punts els mateixos valors (Fig. 6). L'alteració més notable s'observa a finals de primavera on la ER20 assoleix  $2.67 \text{ mg L}^{-1} \text{ d}^{-1}$  a diferència de la ER que ascendeix fins a  $30 \text{ mg L}^{-1} \text{ d}^{-1}$ . Els últims dos mesos d'estudi les dues variables mostren una relació paral·lela.



**Figura 6.** Relació entre la producció primària bruta (GPP) i la producció primària bruta estandarditzada per la màxima intensitat lumínica (GPPmax) en el gràfic superior i la relació entre la respiració (ER) i la respiració amb una T<sup>o</sup> fixada a 20°C constants (ER20) en el gràfic inferior. L'eix X indica el mes-any.

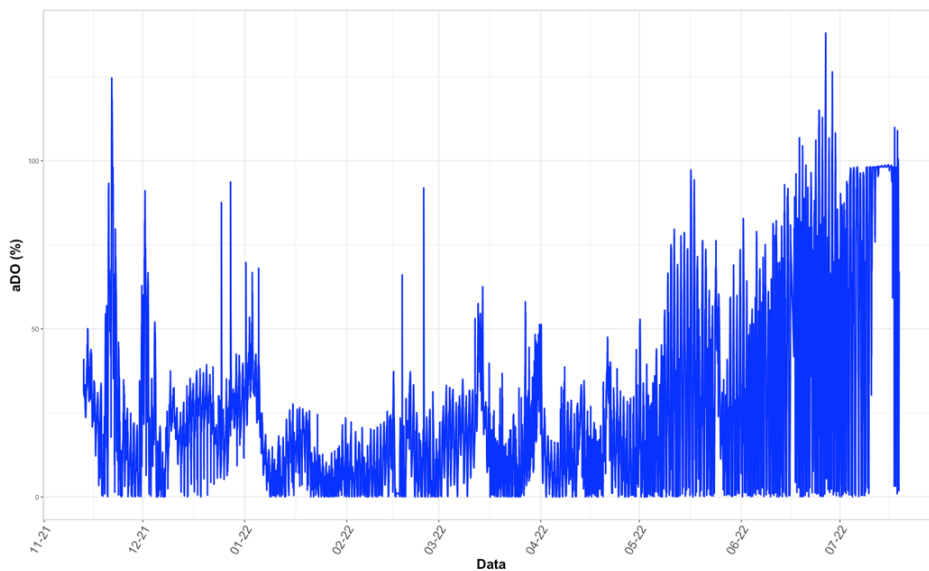
#### 4.3. Saturació de l'oxigen dissolt i desviació de la saturació de l'oxigen (aDO)

La Figura 7 mostra la saturació d'oxigen dissolt amb una freqüència de 10 minuts durant el període d'estudi. Durant els primers mesos d'hivern s'observen dos pics amb valors de 238,9% i 176,4% respectivament amb una posterior recuperació al voltant del 100%. Finalitzant la primavera i iniciant els mesos d'estiu s'observa una fluctuació més acusada de la saturació. A meitats del mes de juliol es produeix un descens a valors propers al 0% (anòxia) durant un període de 7 dies acabant amb una tendència final ascendent positiva.



**Figura 7.** Concentració d'oxigen(%) amb un interval de 10 minuts durant el període d'estudi. La línia negra discontinua marca el 100% de saturació. L'eix X indica el mes-any.

L'aDO representat a la Figura 8 mostra un patró força semblant al gràfic de la saturació de l'oxigen dissolt (Fig. 7). Inicialment hi ha dos grans pics amb valors de 132,7% i 94,3% respectivament al mes d'hivern coincidint amb el moment en que es produeix l'incendi. Durant la primavera hi ha un període amb baixes oscil·lacions mantenint-se força estable fins que iniciant els mesos d'estiu la tendència comença a augmentar coincidint amb una major amplitud dels valors registrats. L'últim estadi representat mostra breument valors pròxims al 100% amb una baixa amplitud finalitzant amb una recuperació de la tendència anterior.

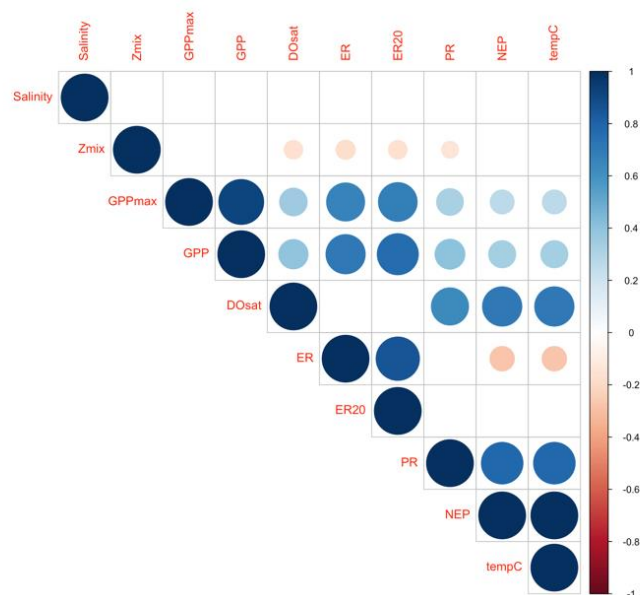


**Figura 8.** Representació de la desviació de la saturació de l'oxigen en valor absolut (aDO, en %). Valors propers a 0 indiquen bona qualitat de l'estat de la llacuna (saturacions properes al 100%). L'eix X indica el mes-any.

#### 4.4 Relació estadística de les taxes metabòliques i variables ambientals

La correlació de *Spearman* revela una correlació significativa positiva entre les principals taxes metabòliques, GPP i ER (Fig. 9). Les variables ambientals no mostren relació entre elles ni amb les taxes metabòliques més importants. La DOsat mostra una alta relació positiva amb la temperatura, suggerint que és una variable que afecta a la saturació d'oxigen dissolt. El quocient PR i la NEP mostren una alta relació entre elles i amb la temperatura. La GPPmax i la ER20 mostren una correlació alta entre elles i amb la GPP i la ER, respectivament.

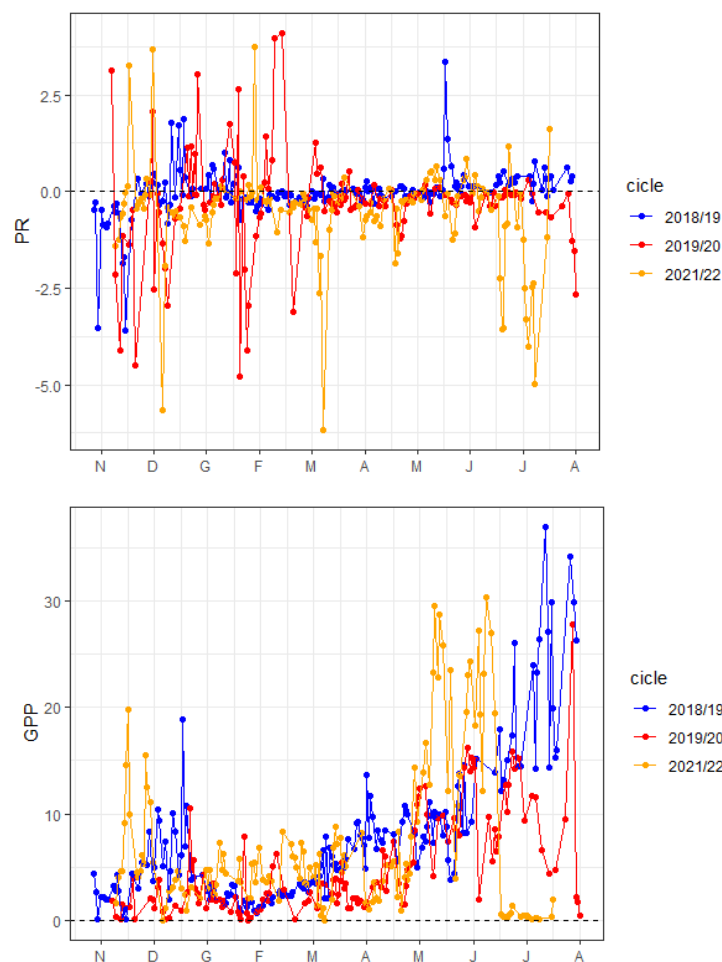




**Figura 9.** Correlació de Spearman amb per les taxes metabòliques Salinity (salinitat), Zmix (nivell d'aigua de la llacuna), GPPmax (producció primària bruta estandarditzada per la màxima intensitat lumínica), GPP (producció primària bruta), DOsat (saturació de l'oxigen dissolt), ER (respiració ecosistèmica), ER20 (respiració ecosistèmica estandarditzada a 20°C), PR (relació logarítmica entre la producció i la respiració), NEP (respiració neta ecosistèmica) i la tempC (temperatura). La mida dels cercles permet visualitzar el valor absolut de les correlacions entre les variables on cercles més grans indiquen correlacions més fortes i cercles petits correlacions més dèbils. El gradient de colors permet veure si la relació entre dues variables és significativa; colors foscos mostren relacions significatives fortes i colors clars relacions significatives dèbils. El color blanc representa un absència de relació entre dues variables. S'ha utilitzat un nivell de significança del 95%

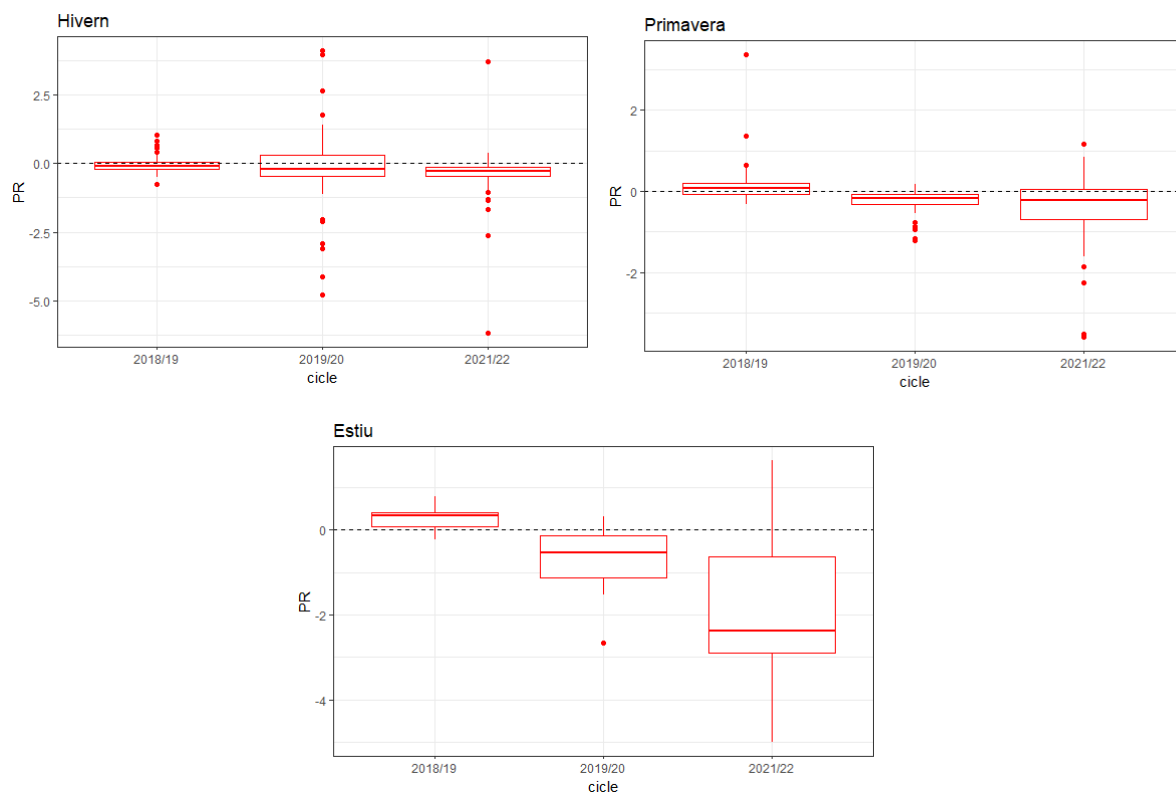
#### 4.5. Comparació del metabolisme entre els anys 2019, 2020 i 2022

S'ha observat diferències amb altres anys anteriors a l'incendi. El període 2018/19 les precipitacions van estar per sota la mitjana climàtica, sobretot els mesos d'hivern i primavera (Resums | Estació meteorològica de l'Estartit i de Torroella de Montgrí, Josep Pascual), tot i que la llacuna presentava aigües clares i una presència elevada de macròfits. El cicle 2019/20 una borrasca anomenada Glòria va creuar la península ibèrica causant precipitacions abundants amb forts temporals marítics fent que la llacuna acumulés grans quantitats de nutrients i aigua tèrbola. L'any del nostre estudi va ser més sec que el 2018/19 i va ocórrer l'incendi a inicis d'hivern.



**Figura 10.** Evolució temporal del quocient PR (gràfic superior) i producció (GPP, gràfic inferior) entre els cicles d'estudi 2018/19, 2019/20 i 2021/22. L'eix X mostra la primera lletra dels mesos de l'any.

El quocient PR pateix menys oscil·lacions durant el cicle 2018/19 que els altres dos anys i presenta valors lleugerament més alts (Fig. 10). Durant els mesos d'hivern i primavera s'observa la major variació entre valors positius i negatius, mentre que cap a l'estiu les dades tendeixen a estabilitzar-se excepte en el cicle del nostre estudi. La GPP durant els mesos d'hivern i primavera és molt semblant per tots els anys, amb valors inferiors a  $20 \text{ mg L}^{-1} \text{ d}^{-1}$ . Entrant als mesos d'estiu s'observa com l'any on hi ha una concentració de macròfits elevada i aigües clares la producció és major que quan es produeix l'incendi a la llacuna, assolint un pic màxim superior a  $35 \text{ mg L}^{-1} \text{ d}^{-1}$ . El cicle 2019/20 és el que mostra valors més baixos de producció durant tots els mesos de l'any.



**Figura 11.** Diagrama de caixes del quocient PR per estació meteorològica dels cicles 2018/19, 2019/20 i 2021/22. L'hivern correspon als mesos desembre-febrer, la primavera a març-maig i l'estiu a juny-juliol de cada període. L'eix X mostra els cicles per cada caixa.

Per determinar si hi ha diferències significatives en el quocient PR entre els 3 cicles per cada època de l'any s'ha realitzat un diagrama de caixes (Fig. 11), un anàlisi de variància o ANOVA i un test de *Tukey* (Taula 1). Durant els mesos d'hivern es pot determinar que les diferències no són significatives ni per l'època de l'any ni entre cicles. A la primavera les caixes presenten mides semblants i oscil·len poc al voltant del 0 però s'acaba descartant la hipòtesi nul·la i es conclou que existeix una diferència significativa a més a més de presentar diferència entre el cicle 2021/22 respecte els altres dos. Finalment durant els mesos d'estiu es veu grans diferències entre les caixes de cada cicle, on el p-valor de l'ANOVA i el test de *Tukey* permeten determinar que existeix diferències significatives en ambdós casos

Taula 1. Anàlisi de variàncies o ANOVA i test de *Tukey* comparant el cicle 2021/22 amb els cicles 2018/19 i 2019/20 segons cada estació meteorològica amb un nivell de significació del 95% i un valor alfa del 0.05. A l'hivern no hi ha diferències significatives. La primavera i l'estiu sí que mostren diferències significatives. El test de Tukey mostra com no hi ha diferències significatives entre cicles durant l'hivern mentre que a la primavera i estiu el cicle 2021/22 és significativament diferent als altres 2.

	CICLE	Test de Tukey	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
HIVERN	2018/19	a	2	0,34	0,1707	0,525	0,593
	2019/20	a					
	2021/22	a					
PRIMAVERA	2018/19	a	2	1,897	0,9394	11,08	2,97e-05
	2019/20	a					
	2021/22	b					
ESTIU	2018/2019	a	2	4,927	2,4633	11,56	4,07e-05
	2019/20	a					
	2021/22	b					

## 5. Discussió

### 5.1. Variació de l'oxigen dissolt

A la Figura 7 s'observa la saturació de l'oxigen dissolt, que presenta una dinàmica molt semblant a les taxes metabòliques de la llacuna tot i tenir una correlació no significativa amb la GPP i la ER (Fig. 9). A inicis d'estiu les oscil·lacions comencen a augmentar i els valors assoleixen màxims i mínims més alts. En aquesta mateixa època hem vist un patró amb períodes d'anòxia registrats a la nit propers al zero absolut fins a valors de sobresaturació per sobre del 200% durant el dia. Als mesos de primavera la saturació manté una tendència força estable més baixa. En el moment en què es produeix l'incendi durant l'hivern es veuen dos grans pics que no segueixen la dinàmica dels mesos corresponents a l'estació meteorològica en què es produeix, els quals estan separats per un descens que coincideix amb el temporal marítim i l'episodi de pluges. L'aDO permet veure la qualitat de la llacuna amb la saturació de l'oxigen dissolt. Gran part de l'hivern i primavera es veuen oscil·lacions baixes i valors inferiors al 30-40% d'aDO (Fig. 8), mentre a l'estiu

aquestes variacions augmenten progressivament superant el 90% d'aDO on la quantitat d'oxigen present a la llacuna és molt baixa, provocant períodes d'anòxia. Aquesta tendència, però també es veu a l'hivern just quan es produeix l'incendi, on s'assoleixen pics amb valors molt semblants a l'estiu, i en alguns mesos posteriors on apareixen alguns pics de curta durada. Bas-Silvestre et al. (2020) van veure en un ecosistema Mediterrani molt semblant a Ter Vell grans variacions d'oxigen dissolt durant l'estiu arribant amb períodes d'anòxia els quals se solen produir en dies amb altes temperatures i elevada radiació, com el que es troba en aquest treball. Estudis com els de Hull et al. (2008) i Shen et al. (2008) van veure patrons estacionals on la saturació de l'oxigen era més alta durant els mesos d'estiu que els mesos d'hivern, tot i que altres estudis afirmen haver trobat el pic més alt de saturació durant els mesos d'hivern (Liu et al., 2020). En altres llacunes costaneres Thébault et al. (2008) van poder determinar que la quantitat d'oxigen era molt baixa durant l'estiu perquè la demanda d'oxigen engloba la seva producció, donant condicions anaeròbiques com les que es veuen a la Figura 7 i 8. En l'estudi realitzat per Reale et al. (2015) en un riu als E.E.U.U. va permetre especificar nombrosos efectes negatius en la qualitat de l'aigua derivada per la gran entrada de cendra, major erosió transportant elevades concentracions de ions alterant la conductivitat... Fent que disminueixi la saturació de l'oxigen dissolt tal com s'observa en la Figura 7 i 8 d'aquest treball.

## *5.2. Alteració de les taxes metabòliques*

La Figura 4 mostra com la tendència de la GPP i ER és ascendent cap als mesos d'estiu, així com la NEP (Fig. 5) que mostra una dinàmica més positiva que negativa. Les taxes GPPmax i ER20, que mantenen una relació positiva significativa amb la GPP i la ER respectivament (Fig. 9) mostren la mateixa tendència (Fig. 6) tot i que presenten diferents pics màxims. Fixant-nos la relació de les taxes de producció de la Figura 6 es veu com després de l'incendi hi ha dos pics GPP, els quals són inferiors als de l'estiu. Per contra, la GPPmax (producció estandarditzada per la intensitat lumínica) presenta un pic màxim després de l'incendi produït durant l'hivern seguit d'un altre més baix. Dies posteriors a l'incendi es dona un episodi de pluges i temporal marítim (Fig. 3) que coincideix amb la baixada present entre els dos pics de la GPP i GPPmax. La correlació de la GPP i la GPPmax respecte a la temperatura (Fig. 9) mostra com hi ha una relació baixa i poc significativa, essent difícil atribuir un efecte directe de la temperatura a la producció de la llacuna. La NEP també mostra un període curt on la tendència de la llacuna és major per la producció que la respiració durant els primers mesos d'hivern on ha ocorregut l'incendi (Fig. 5). Per tant, observant la dinàmica de les taxes de producció i de la NEP es dedueix que el metabolisme és més elevat durant l'estiu que els mesos d'hivern i primavera. Es veu també com les taxes metabòliques varien després d'ocórrer l'incendi amb valors de producció inferiors als de l'estiu,

però superiors per ser hivern, amb una magnitud semblant si se'n descarta l'efecte de la intensitat lumínica amb la taxa GPPmax.

Un estudi dut a terme en dues llacunes costaneres diferents prop de la zona on se situa Ter Vell descriu un comportament semblant al vist en aquest treball on les taxes metabòliques augmenten durant l'estiu i disminueixen durant l'hivern (Bas-Silvestre et al., 2020). També s'ha vist aquest patró estacional en llacs poc profunds d'aigua dolça (Laas et al., 2012) i en altres ecosistemes semblant amb un clima Mediterrani (Obrador & Pretus, 2012). La manca de relació entre el metabolisme i la temperatura també s'ha vist en rierols després de ser afectats per un incendi (Tuckett & Koetsier, 2016). Betts & Jones (2009) van determinar que la GPP i la ER no es correlacionen amb la temperatura en les conques de rierols en boscos boreals després d'haver patit un incendi. En aquest mateix estudi també han vist que tant la GPP com la ER mateixes taxes són més altes en corrents d'aigua afectades després d'un incendi, suggerint que el foc va tenir un efecte indirecte en el metabolisme aquàtic.

### *5.3. El quocient PR com a indicador de qualitat*

L'anàlisi dels resultats de la GPP i el quocient PR permetrà raonar si són bones taxes per determinar l'estat ecològic de la llacuna i com és la seva situació actual després d'haver patit un incendi. Per poder tenir una referència, a la Figura 10 hem comparat les dades del nostre estudi (2021/22) amb dos cicles anteriors. El gràfic de GPP mostra valors més alts durant els mesos d'hivern en el període 2018/19, on la concentració de macròfits era elevada, que en el cicle 2021/22 després d'haver ocorregut l'incendi. El cicle 2019/20 presenta valors baixos de producció respecte a els altres dos cicles. En el gràfic del quocient PR (Fig. 10) es pot observar com els cicles anteriors a l'incendi presenten un cert equilibri entre producció i respiració amb pics puntuals. En canvi, l'any 2021/22 la majoria de dades representades es troben desplaçades cap a valors negatius, predominant la respiració. Els diagrames de caixa (Fig. 11), l'ANOVA i el test de Tukey pel quocient PR mostren que durant l'hivern les diferències no són significatives ni tampoc entre els 3 cicles, mentre que tant en la primavera com l'estiu les diferències sí que són significatives, a més a més de poder determinar que el període on es produeix l'incendi és l'únic significativament diferent en aquestes dues estacions.

Quan una llacuna presenta condicions d'eutròfia la producció hauria d'augmentar, mentre que si l'estat ecològic és bo hauria de disminuir, tal com s'ha trobat en diversos ecosistemes aquàtics (Alexander et al., 2017). També s'ha vist com després d'un incendi la qualitat de l'aigua es veu modificada, on alguna de les conseqüències observades en sistemes aquàtics a curt i llarg termini és l'entrada de nutrients que poden portar a un augment de la producció (Cunillera-Montcusí et al., 2019) i una gran terbolesa la qual pot fer disminuir la llum disponible amb la GPP (Cloern & Jassby, 2012) interferint la captura de

nutrients pels organismes aquàtics (Wetzel, 2001) provocant que la llacuna actuï com una font emissora de CO<sub>2</sub>. És per això que algunes taxes metabòliques han estat estudiades per ser usades com a indicador de la qualitat de l'aigua, com per exemple en l'estudi de Uehlinger (2006) el qual va trobar patrons relacionats amb la ER, mentre que la GPP va resultar ser poc eident.

En resum, després de l'incendi produït en el cicle 2021/22 la GPP disminueix, essent un contrasentit, ja que en condicions de més eutròfia la producció hauria d'augmentar i en les dades de l'estudi s'observa el contrari, fent que no sigui adequat usar la GPP com a indicador de l'estat ecològic de la llacuna. Per altra banda, el quocient PR comparat amb els altres dos cicles anteriors a l'incendi permet veure com l'any en què s'ha produït l'incendi la ratio del paràmetre es desplaça cap a valors negatius (ER), determinant que la llacuna perd la capacitat com a embornal de carboni i actua com a font emissora de CO<sub>2</sub>. També mostra com hi ha diferències significatives entre cicles i durant primavera i estiu l'any 2021/22, coincidint amb el moment en què es produeix l'incendi.

## **6. Conclusions**

The fire affects the metabolism of the lagoon, but a direct effect cannot be solely attributed to it due to other associated factors that can also alter the metabolic rates of it, such as rainfall and marine storms.

The alteration of the observed pattern in dissolved oxygen saturation at the time of the fire cannot be entirely attributed to it for several reasons. Firstly, the data shows variations in the timing of occurrence, and other studies have observed similar trends. Secondly, there is an episode of rainfall and a marine storm occurring at the time of the fire, which can increase the dissolved oxygen saturation, masking its effect and making it difficult to determine whether the fire or the natural events have a greater impact at that moment.

The fire that occurred during the 2021/22 cycle had negative effects on the ecological state and carbon sink capacity of the lagoon. The PR ratio is the parameter that determines the ecological state of the lagoon, whereas the GPP (Gross Primary Production) shows results contrary to what is expected after a fire occurs.

## 7. Agraïments

M'agradaria agrair al meu tutor, en Xavier Quintana, per tota l'estona i moments que hem compartit, on m'ha ajudat sempre que ho he necessitat, tant amb el treball com en l'àmbit personal. També donar les gràcies a la Maria Bas, que ha respost tots els dubtes que m'han sorgit, els quals no han estat pocs i a en Josep Pascual per cedir-me totes les dades necessàries per a l'estudi sense rebre res a canvi.

Per descomptat, als meus pares, que sempre són allà quan els necessito per ajudar-me i animar-me en els moments més difícils. I finalment als meus amics per totes les experiències viscudes aquests darrers anys, però en especial a la Neus, que em falten paraules per poder descriure tot el que significa ella per mi i el que m'aporta dia a dia.

Moltes gràcies a tots per el vostre ajuda i l'experiència que hàgim pogut compartir,

Jaume

## 8. Bibliografia

Alexander, T. J., Vonlanthen, P., & Seehausen, O. (2017). Does eutrophication-driven evolution change aquatic ecosystems? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 372(1712), 20160041. <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0041>

Badosa, A., Boix, D., Brucet, S., & Quintana, X. (2008). AQUATIC CONSERVATION: MARINE AND FRESHWATER ECOSYSTEMS 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*, 18, 1078-1090.

*Baro-Diver*. (s.d.). Royal Eijkelpkamp. Recuperat 26 maig 2023, de <https://www.royaleijkelpkamp.com/products/monitoring/sensors-and-probes/water-sensors/baro-diver/>

Bas, S. M., Boix, D. D., Menció, D. A., Cunillera-Montcusí, S. D., Gascón, D. S., Sala, S. J., Tornero, S. I., & Quintana, D. X. (s.d.). *Desurbanización y recuperación de la funcionalidad ecológica en los sistemas costeros de La Pletera Acción D1 Seguimiento del estado ecológico Informe final de proyecto*.

Bas Silvestre, M. (2021). *Ecosystem functioning of mediterranean confined coastal lagoons: Ecosystem metabolism, main drivers and phytoplankton community* (p. 1)



[[Http://purl.org/dc/dcmitype/Text](http://purl.org/dc/dcmitype/Text), Universitat de Girona].  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=304037>

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, 106989. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106989>

Betts, E. F., & Jones, J. B. (2009). Impact of Wildfire on Stream Nutrient Chemistry and Ecosystem Metabolism in Boreal Forest Catchments of Interior Alaska. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 41(4), 407-417. <https://doi.org/10.1657/1938-4246-41.4.407>

Bouahim, S., Rhazi, L., Amami, B., Waterkeyn, A., Rhazi, M., Saber, E.-R., Zouahri, A., Broeck, M. V. den, Muller, S. D., Brendonck, L., Grillas, P., Bouahim, S., Rhazi, L., Amami, B., Waterkeyn, A., Rhazi, M., Saber, E.-R., Zouahri, A., Broeck, M. V. den, ... Grillas, P. (2014). Unravelling the impact of anthropogenic pressure on plant communities in Mediterranean temporary ponds. *Marine and Freshwater Research*, 65(10), 918-929. <https://doi.org/10.1071/MF13194>

*CalTopo—Backcountry Mapping Evolved*. (s.d.). Recuperat 6 juny 2023, de <https://caltopo.com/map.html#ll=42.04748,3.19676&z=15&b=om>

Cunillera-Montcusí, D., Gascón, S., Tornero, I., Sala, J., Àvila, N., Quintana, X. D., & Boix, D. (2019). Direct and indirect impacts of wildfire on faunal communities of Mediterranean temporary ponds. *Freshwater Biology*, 64(2), 323-334. <https://doi.org/10.1111/fwb.13219>

Dupuy, J., Fargeon, H., Martin-StPaul, N., Pimont, F., Ruffault, J., Guijarro, M., Hernando, C., Madrigal, J., & Fernandes, P. (2020). Climate change impact on future wildfire danger and activity in southern Europe: A review. *Annals of Forest Science*, 77(2), 35. <https://doi.org/10.1007/s13595-020-00933-5>

*Fauna*. (s.d.). Parcs naturals de Catalunya. Recuperat 1 maig 2023, de <http://parcsnaturals.gencat.cat/ca/xarxa-de-parcs/aiguamolls-emporda/el-parc/patrimoni-natural-i-cultural/fauna/>

*Flora i vegetació*. (s.d.). Parcs naturals de Catalunya. Recuperat 1 maig 2023, de <http://parcsnaturals.gencat.cat/ca/xarxa-de-parcs/aiguamolls-emporda/el-parc/patrimoni-natural-i-cultural/flora-i-vegetacio/>

- Gascón, S. B. (2005). Variability of benthic assemblages in relation to the hydrological pattern in Mediterranean salt marshes (Emporda wetlands, NE Iberian Peninsula). *Archiv Für Hydrobiologie*, *163*(2), 163-181. <https://doi.org/10.1127/0003-9136/2005/0163-0163>
- 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 (BAYesian Single-station Estimation). *Limnology and Oceanography: Methods*, *13*(3), e10011. <https://doi.org/10.1002/lom3.10011>
- Grillas, P., Rhazi, L., Lefebvre, G., El Madihi, M., & Poulin, B. (2021). Foreseen impact of climate change on temporary ponds located along a latitudinal gradient in Morocco. *Inland Waters*, *11*(4), 492-507. <https://doi.org/10.1080/20442041.2021.1962688>
- HOBO Pendant MX Temperature/Light Data Logger | Onset's HOBO and InTemp Data Loggers*. (s.d.). Recuperat 1 maig 2023, de <https://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/mx2202>
- Holden, J., Chapman, P. J., Palmer, S. M., Kay, P., & Grayson, R. (2012). The impacts of prescribed moorland burning on water colour and dissolved organic carbon: A critical synthesis. *Journal of Environmental Management*, *101*, 92-103. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.02.002>
- Holtgrieve, G. W., Schindler, D. E., Branch, T. A., & A'mar, Z. T. (2010). Simultaneous quantification of aquatic ecosystem metabolism and reaeration using a Bayesian statistical model of oxygen dynamics. *Limnology and Oceanography*, *55*(3), 1047-1063. <https://doi.org/10.4319/lo.2010.55.3.1047>
- Hull, V., Parrella, L., & Falcucci, M. (2008). Modelling dissolved oxygen dynamics in coastal lagoons. *Ecological Modelling*, *211*(3-4), 468-480. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.09.023>
- Joyce, C. (2012). Preface: Wetland services and management. *Hydrobiologia*, *692*(1), 1-3. <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1179-9>
- Kjerfve, B. (1994). Chapter 1 Coastal Lagoons. En *Elsevier Oceanography Series* (Vol. 60, p. 1-8). [https://doi.org/10.1016/S0422-9894\(08\)70006-0](https://doi.org/10.1016/S0422-9894(08)70006-0)

*La Pletera—Consorti del Ter.* (s.d.). Recuperat 17 juny 2023, de <https://www.consorcidelter.cat/el-territori-del-ter/rutes/ruta-del-patrimoni-natural/habitat/la-pletera>

Laas, A., Nõges, P., Kõiv, T., & Nõges, T. (2012). High-frequency metabolism study in a large and shallow temperate lake reveals seasonal switching between net autotrophy and net heterotrophy. *Hydrobiologia*, *694*(1), 57-74. <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1131-z>

Liu, G., He, W., & Cai, S. (2020). Seasonal Variation of Dissolved Oxygen in the Southeast of the Pearl River Estuary. *Water*, *12*(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/w12092475>

Maria Bas Silvestre. (2023). *Manual sobre estimació del metabolisme a les llacunes costaneres del Baix Ter.* [http://www.ddgi.cat/ddgi/docNivell/programes\\_eu/Manual-sobre-estimació-del-metabolisme-a-les-llacunes-del-Baix-Ter.pdf](http://www.ddgi.cat/ddgi/docNivell/programes_eu/Manual-sobre-estimació-del-metabolisme-a-les-llacunes-del-Baix-Ter.pdf)

Meredith, W., Casamitjana, X., Quintana, X., & Menció, A. (2022). Effects of morphology and sediment permeability on coastal lagoons' hydrological patterns. *Journal of Hydrology*, *612*, 128259. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128259>

Millennium Ecosystem Assessment (Program) (Ed.). (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis.* Island Press.

Minshall, G. W., Brock, J. T., & Varley, J. D. (1989). Wildfires and Yellowstone's Stream Ecosystems: A temporal perspective shows that aquatic recovery parallels forest succession. *BioScience*, *39*(10), 707-715. <https://doi.org/10.2307/1311002>

Naiman, R. J., & Décamps, H. (1997). The Ecology of Interfaces: Riparian Zones. *Annual Review of Ecology and Systematics*, *28*(1), 621-658. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.28.1.621>

Nicholls, R. J. (2004). Coastal flooding and wetland loss in the 21st century: Changes under the SRES climate and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change*, *14*(1), 69-86. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2003.10.007>

Obrador, B., & Pretus, J. L. (2012). Budgets of organic and inorganic carbon in a Mediterranean coastal lagoon dominated by submerged vegetation. *Hydrobiologia*, *699*(1), 35-54. <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1152-7>

Reale, J. K., Van Horn, D. J., Condon, K. E., & Dahm, C. N. (2015). The effects of catastrophic wildfire on water quality along a river continuum. *Freshwater Science*, 34(4), 1426-1442. <https://doi.org/10.1086/684001>

Resums | Estació meteorològica de l'Estartit i de Torroella de Montgrí. (s.d.). Recuperat 26 maig 2023, de <https://meteolestartit.cat/resums/>

Shen, J., Wang, T., Herman, J., Mason, P., & Arnold, G. L. (2008). Hypoxia in a Coastal Embayment of the Chesapeake Bay: A Model Diagnostic Study of Oxygen Dynamics. *Estuaries and Coasts*, 31(4), 652-663. <https://doi.org/10.1007/s12237-008-9066-3>

Singh, S., Acharyya, T., & Gopinath, A. (2022). *Phytoplankton Ecology in Indian Coastal Lagoons: A Review* (p. 91-115). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-84255-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-84255-0_5)

Spencer, C. N., & Hauer, F. R. (1991). Phosphorus and Nitrogen Dynamics in Streams during a Wildfire. *Journal of the North American Benthological Society*, 10(1), 24-30. <https://doi.org/10.2307/1467761>

Staehr, P. A., Christensen, J. P. A., Batt, R. D., & Read, J. S. (2012). Ecosystem metabolism in a stratified lake. *Limnology and Oceanography*, 57(5), 1317-1330. <https://doi.org/10.4319/lo.2012.57.5.1317>

Stocks, B. J. (1993). Global warming and forest fires in Canada. *The Forestry Chronicle*, 69(3), 290-293. <https://doi.org/10.5558/tfc69290-3>

Thébault, J., Schraga, T. S., Cloern, J. E., & Dunlavy, E. G. (2008). Primary production and carrying capacity of former salt ponds after reconnection to San Francisco Bay. *Wetlands*, 28(3), 841-851. <https://doi.org/10.1672/07-190.1>

Trobajo, R., Quintana, X. D., & Moreno-Amich, R. (2002). Model of alternative predominance of phytoplankton-periphyton-macrophytes in lentic waters of Mediterranean coastal wetlands. *Archiv Für Hydrobiologie*, 19-40. <https://doi.org/10.1127/archiv-hydrobiol/154/2002/19>

Tuckett, Q. M., & Koetsier, P. (2016). Mid- and long-term effects of wildfire and debris flows on stream ecosystem metabolism. *Freshwater Science*, 35(2), 445-456. <https://doi.org/10.1086/686151>

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>

Vaz, P. G., Merten, E. C., Warren, D. R., Durscher, K., Tapp, M., Robinson, C. T., Rego, F. C., & Pinto, P. (2015). Fire meets inland water via burned wood: And then what? *Freshwater Science*, 34(4), 1468-1481. <https://doi.org/10.1086/684095>

Vicente-Serrano, S. M., Lopez-Moreno, J.-I., Beguería, S., Lorenzo-Lacruz, J., Sanchez-Lorenzo, A., García-Ruiz, J. M., Azorin-Molina, C., Morán-Tejeda, E., Revuelto, J., Trigo, R., Coelho, F., & Espejo, F. (2014). Evidence of increasing drought severity caused by temperature rise in southern Europe. *Environmental Research Letters*, 9(4), 044001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/4/044001>

*Visor d'accés al Parc Natural*. (s.d.). Recuperat 6 juny 2023, de <https://agportal.sig.gencat.cat/portal/apps/webappviewer/index.html?id=9863d9c181974e0fa36f492c5f114371&center=3.18,42.06&mobileBreakPoint=200&level=12>

*Visualització dels incendis a Catalunya 2011-2022*. (s.d.). Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural. Recuperat 1 maig 2023, de <http://agricultura.gencat.cat/ca/ambits/medi-natural/incendis-forestals/dades-incendis/visualitzacio-incendis/>

Vollenweider, R. A., Giovanardi, F., Montanari, G., & Rinaldi, A. (1998). Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters with special reference to the NW Adriatic Sea: Proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index. *Environmetrics*, 9(3), 329-357. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-095X\(199805/06\)9:3<329::AID-ENV308>3.0.CO;2-9](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-095X(199805/06)9:3<329::AID-ENV308>3.0.CO;2-9)

*Women in Science*. (2016, novembre 18). <https://uis.unesco.org/en/topic/women-science>

Zacharias, I., Dimitriou, E., Dekker, A., & Dorsman, E. (2007). Overview of temporary ponds in the Mediterranean region: Threats, management and conservation issues. *Journal of environmental biology / Academy of Environmental Biology, India*, 28, 1-9.