

**Títol del treball: Metabolisme ecosistèmic de la llacuna natural
Fra Ramon i la restaurada G02 a la Pletera.**

Estudiant: Borja Aramburu Munoa

Grau en Ciències Ambientals

Correu electrònic: borjaaramburumunoa@gmail.com

Tutor: Xavier Quintana Pou

Cotutor*:

Empresa / institució: Universitat de Girona

Vistiplau tutor (i cotutor*):

Nom del tutor: Xavier Quintana Pou

Nom del cotutor*:

Empresa/institució: Universitat de Girona

Correu(s) electrònic(s): xavier.quintana@udg.edu

*si hi ha un cotutor assignat

Data de dipòsit de la memòria a secretaria de coordinació:

Primerament, vull agrair a tothom que d'una manera o altra m'ha ajudat a portar a terme aquest treball de final de grau. Gràcies Xavi per les moltes i llargues tardes de càlculs, consells i supervisions. Gràcies Jordi i demés membres de l'equip de l'institut de recerca aquàtic per fer amés de didàctiques divertides les sortides de camp a la Pletera. Finalment gràcies a totes aquelles persones que m'han sabut donar la confiança i suport que en alguns moments he necessitat.

ÍNDIX

ABSTRACT.....	4
RESUM.....	5
RESUMEN	6
1. INTRODUCCIÓ.....	7
2. OBJECTIVES.....	9
3. ÀREA D'ESTUDI.....	10
4. METODOLOGIA.....	13
4.1 <i>Metabolisme ecosistèmic</i>	13
4.2 <i>Mostreig de variables ambientals</i>	14
4.3 <i>Anàlisis estadístiques</i>	14
5. RESULTATS.....	16
5.1 <i>Variacions espacials i temporals de producció</i>	16
5.2 <i>Mesura de l'oxigen com a mètode d'aproximació a la producció</i>	18
5.3 <i>Influència de la composició de l'aigua en la producció</i>	19
5.4 <i>Anàlisi de les situacions d'hipertròfia</i>	22
6. DISCUSSIÓ	24
6.1 <i>Variacions estacionals</i>	24
6.2 <i>Influència de la composició de l'aigua en la producció</i>	25
6.3 <i>Diferències entre llacunes</i>	26
6.4 <i>Reflexió personal</i>	28
7. CONCLUSIONS	29
8. REFERÈNCIES	30

ABSTRACT

The study area is situated in la Pletera, a salt marsh that is located to the north of the mouth of the river Ter (Torroella de Montrí, Girona). The wetlands and lagoons making up the area form part of the Area of Natural Interest. The salt marsh's great ecological interest largely due to the brackish lagoon system present, where the Fra Ramon (FRA) and Bassa Pi (BPI) lagoons are of natural origin and the Pletera Nova (G02) artificial, created on the first LIFE restoration project for the Lower Ter wetlands. The third LIFE project is currently being developed in order to restore the entire lagoon system. Within the framework of this project, a study of the FRA and G02 lagoon ecosystem metabolisms was conducted, whose main objectives were (i) to determine and characterize the Fra Ramon and Pletera Nova lagoon ecosystem metabolisms for a period of 15 months, and to evaluate other research methods previously proposed in various studies on the subject, (ii) to evaluate possible similarities and differences in the metabolic behaviour that lagoons display in relation to one another and towards the temporary seasonal pattern and, (iii) to determine the influence of the water composition on the metabolic functioning of the two lagoons.

Throughout the course of the 15-month study, an increase in the production and respiration variables was noted during the summer months. Similarly, it was in the same months that the most days were recorded with a situation of total anoxia in the lagoons, which proved to be related to the wind speed affecting on them. Total production and respiration throughout the entire monitoring period was higher in G02. Nonetheless, FRA displayed more autotrophic behaviour, being the only lagoon that acted as a carbon sink. In the multivariable analysis of the different physicochemical parameters of both lagoons, two main dimensions representing 63.82 % of the explained variance were identified; the first relating to the confinement conditions, and the second to the nutrient input episodes. Only in the second dimension significant differences between lagoons found, and a significant correlation was only noted between the first dimension and the lagoon respiration.

The study concluded with a seasonal pattern of the lagoon respiration and production variables in to explain the metabolic functioning throughout the cycle. However, other factors such as nutrients input and the confinement conditions played a secondary role owing to the system features. The behaviour of the younger lagoon suggests a progression in its maturity, and the possibility of the appearance of a perturbation influencing the results is taken into consideration.

RESUM

La zona de l'estudi es situa a la Pletera, una maresma que es troba al nord de la desembocadura del riu Ter (Torroella de Montgrí, Girona), els aiguamolls i les llacunes les quals la conformen estan considerats dintre de l'Espai d'Interès Natural. El gran interès ecològic de la maresma deriva en gran part per el sistema de llacunes salobroses que hi ha presents, en el qual Bassa de Fra Ramon (FRA) i Bassa del Pi (BPI) són d'origen natural i la Pletera Nova (G02) és d'origen artificial, creada al primer projecte LIFE de restauració dels aiguamolls del Baix Ter. Actualment s'hi està desenvolupant el tercer projecte LIFE, amb la finalitat de restaurar el conjunt de llacunes del sistema. Dintre del marc d'aquest projecte s'ha realitzat un estudi del metabolisme ecosistèmic de les llacunes de FRA i G02, on els objectius principals han sigut (i) determinar i caracteritzar el metabolisme ecosistèmic de la llacuna natural Fra Ramon i l'artificial Pletera Nova durant un període de 15 mesos, i avaluar altres mètodes d'investigació d'aquest anteriorment proposats en diferents estudis, (ii) avaluar possibles similituds i diferències del comportament metabòlic que les llacunes presentin entre elles i envers al patró estacional temporal, i (iii) determinar la influència de la composició de l'aigua en el funcionament metabòlic d'ambdues llacunes.

Durant els 15 mesos de l'estudi es va observar un augment als mesos d'estiu de les variables de producció i respiració; tanmateix va ser en els mateixos mesos en els quals es van concentrar la majoria dels dies registrats amb una situació d'anòxia total en les llacunes, que va resultar relacionada amb la velocitat del vent que incidia en elles. El total de la producció i respiració durant tot el període de seguiment va ser superior a G02, tot i que FRA va presentar un comportament més autòtrof, sent la única de les dues llacunes que va actuar com a embornal de carboni. En l'anàlisi multivariable dels diferents paràmetres fisicoquímics de les dues llacunes es van determinar dues dimensions principals que representaven el 63.82 % de la variància explicada; la primera estava relacionada amb les situacions de confinament i la segona amb els episodis d'entrada de nutrients. Només en la segona dimensió es van determinar diferències significatives entre llacunes, i tan sols es va observar una correlació significativa de la primera dimensió amb la respiració de les llacunes.

Es va concloure amb un patró estacional de les variables de producció i respiració de les llacunes a l'hora d'explicar el seu funcionament metabòlic al llarg del cicle; per contra factors com l'entrada de nutrients i les situacions de confinament jugaven un paper secundari degudes les característiques del sistema. El comportament de la llacuna més jove suggereix un avanç en el seu estat de maduresa, i s'estima la possibilitat d'una influència en els resultats per l'aparició d'una pertorbació.

RESUMEN

La zona del estudio se sitúa en la Pletera, una marisma que se ubica al norte de la desembocadura del río Ter (Torroella de Montgrí, Gerona), los humedales y lagunas las cuales la conforman están consideradas dentro del Espacio de Interés Natural. El gran interés ecológico de la marisma deriva en gran parte por el sistema de lagunas salobres que hay presentes, en el cual las Charcas Fra Ramon (FRA) i Bassa del Pi (BPI) son de origen natural y la Pletera Nova (G02) de origen artificial, creada en el primer proyecto LIFE de restauración de los humedales del Ter Bajo. Actualmente se está desarrollando el tercer proyecto LIFE, con la finalidad de restaurar el conjunto de lagunas del sistema. En el marco de este proyecto, se ha realizado un estudio del metabolismo ecosistémico de las lagunas de FRA y G02, los objetivos principales del cual han sido (i) determinar y caracterizar el metabolismo ecosistémico de la laguna natural Fra Ramon y la artificial Pletera Nova durante un período de 15 meses, y evaluar otros métodos de investigación de este anteriormente propuestos en diferentes estudios, (ii) evaluar posibles similitudes y diferencias del comportamiento metabólico que las lagunas presenten entre ellas y hacia el patrón estacional temporal, y (iii) determinar la influencia de la composición del agua en el funcionamiento metabólico de las dos lagunas.

Durante los 15 meses del estudio se observó un aumento en los meses de verano de las variables de producción i respiración, así mismo fueron los mismos meses en los cuales se concentró la mayoría de los días registrados con una situación de anoxia total en las lagunas, que resultó relacionada con la velocidad del viento que incidía en ellas. El total de la producción y la respiración durante el período de seguimiento fue superior en G02, aunque FRA presentó un comportamiento más autótrofo, siendo la única de las dos lagunas que actuó como sumidero de carbono. En el análisis multivariante de los diferentes parámetros fisicoquímicos de las dos lagunas se determinaron dos dimensiones principales que representaban el 63.82 % de la variancia explicada; la primera estaba relacionada con las situaciones de confinamiento y la segunda con los episodios de entrada de nutrientes. Sólo en la segunda dimensión se determinaron diferencias significativas entre lagunas, y tan sólo se observó una correlación significativa de la primera dimensión con la respiración de las lagunas.

Se concluyó con un patrón estacional de las variables de producción i respiración de las lagunas en la explicación de su funcionamiento metabólico al largo del ciclo; por el contrario factores como la entrada de nutrientes y las situaciones de confinamiento tenían un papel secundario debido a las características del sistema. El comportamiento de la laguna más joven sugiere un avance en su estado de madurez, y se estima la posibilidad de una influencia en los resultados por la aparición de una perturbación.

1. INTRODUCCIÓ

Les llacunes i aiguamolls litorals són uns ecosistemes de gran interès ecològic. Entre altres, són una gran reserva de biodiversitat, a més de tenir una gran capacitat d'embornal de carboni emmagatzemant juntament amb les aigües continentals fins a un 40% del carboni generat a la terra (De Groot et al. 2007). També, com a confluència entre aigües continentals i marines, constitueixen avui en dia un dels ecosistemes més fluctuants i productius del món, amb la capacitat d'aportar gran quantitat de recursos al seu ecosistema (Mitsch & Gosselink 1993). Tot i el seu valor, són ecosistemes generalment molt vulnerables al canvi global, que han vist en els darrers anys una degradació i reducció de la seva extensió com a conseqüència dels canvis d'usos del sòl i sobreexplotació de recursos, alterant la seva estructura i funcionament ecològic (Simas et al. 2001; Menció et al. 2016).

La variació dels factors hidrològics conjuntament amb la disponibilitat de llum i nutrients tenen un paper important en tots els ecosistemes aquàtics i determinen l'eficàcia del procés fotosintètic, base fonamental d'una part substancial de la xarxa tròfica aquàtica (Margalef 1974; Smith 1984; Contreras et al. 1997). La mesura dels canvis en la concentració d'oxigen dissolt (DO), ha esdevingut un mètode acceptat arreu del món per estimar la producció primària i respiració en ecosistemes aquàtics, el que es coneix com a metabolisme ecosistèmic, particularment als llacs (Cole et al. 2000; Staehr et al. 2010); Odum va validar-lo amb els seus estudis sobre el metabolisme aquàtic (Odum 1956), és des de llavors que el mètode ha sigut extensament utilitzat (Gattuso et al. 1993; Cole et al. 2000; Hanson et al. 2003). Gràcies als darrers avanços tecnològics en l'àmbit dels sensors automàtics, s'ha facilitat la mesura contínua de les concentracions de DO i els diferents paràmetres fisicoquímics rellevants, aportant una descripció detallada de la variabilitat temporal de les variables mesurades que permeten calcular el metabolisme de l'ecosistema amb major facilitat (Precision Measurement Engineering 2014). Aquesta tècnica, assumeix els canvis de concentració de DO de l'aigua com a reflex de l'equilibri entre la producció fotosintètica i la respiració, a més de l'intercanvi físic de l'oxigen amb l'atmosfera. La producció de DO mitjançant la fotosíntesi, es dona durant les hores de llum, mentre que el seu consum a través de la respiració, dura les 24 hores del dia i és l'únic procés metabòlic nocturn. Així doncs, un cop corregits els canvis d'oxigen causats per la difusió física, la producció neta ecosistèmica (*NEP*), la respiració (*R*), la producció primària bruta (*GPP*) i el quocient entre producció i respiració ($PR = GPP/R$), poden estimar-se directament amb la mesura dels canvis de concentració de DO (**Fig. 1**) (Staehr et al. 2010).

S'han portat a terme diferents estudis sobre la producció primària de les llacunes que relacionen els seus resultats amb diferents comportaments; s'han descrit patrons de producció estacionals en alguns casos (Gutiérrez et al. 2006), on amb l'arribada dels mesos càlids l'increment en la temperatura i la radiació solar, i la disponibilitat de nutrients comporten un augment en la població i biomassa fitoplanctònica amb el consegüent augment de la producció. Altres estudis comparen les produccions observades amb els volums de les pertinents llacunes, alguns defensant la producció inversament proporcional al volum, degut a la possibilitat de l'accés al recurs lumínic en la columna d'aigua, i d'altres argumentant l'augment de la producció en volum, degut a la capacitat d'acumulació de nutrients (Kirk 1983). En qualsevol cas, per la gestió, conservació i restauració ecològica, es requereixen

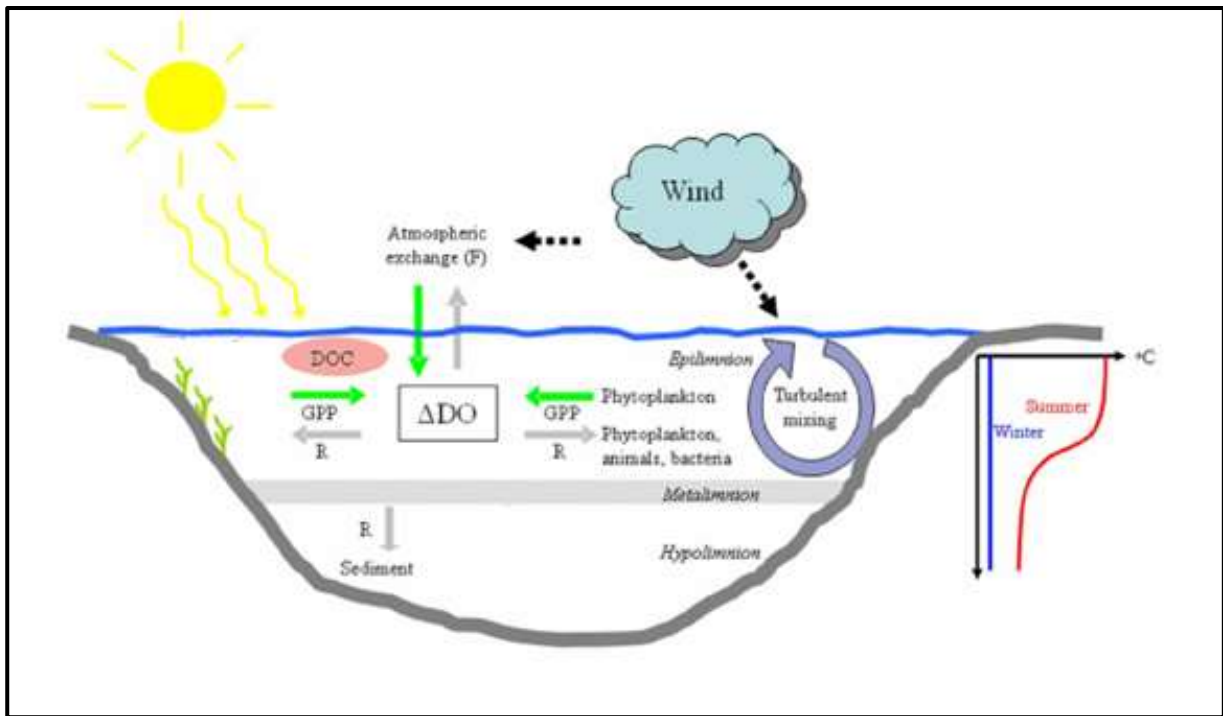


Figura 1. Model conceptual dels components físics i biològics que contribueixen a la variabilitat del DO en un llac. Aquesta es ve donada principalment com a resultat de la producció d'oxigen pels autòtrofs durant les hores de llum, i la seva respiració per diferents organismes, durant tot el cicle diari. També es té en compte l'intercanvi d'oxigen entre l'aire i l'aigua (F), impulsat per un gradient de concentració i la barreja física deguda al vent. **Font:** (Staehr et al. 2010)

coneixements previs del funcionament dels ecosistemes; és en aquest context en el qual la recerca científica esdevé una eina fonamental per complir de manera òptima els objectius establerts.

La Pletera, és una maresma que es troba al nord de la desembocadura del riu Ter (Torroella de Montgrí, Girona), que conforma un conjunt de prats inundables que ocupen 66 hectàrees on es localitzen uns aiguamolls i llacunes costaneres que formen part de la xarxa "Natura 2000" i l'Espai d'Interès Natural "Aiguamolls del Baix Empordà". El seu interès ecològic es centra en les llacunes, la diferent vegetació que s'hi troba, i les poblacions del peix ciprinodòntid en perill d'extinció, endèmic de la península ibèrica *Alphanius iberus*. La canalització del riu Ter als anys 70 i la urbanització parcial de la maresma va suposar una alteració en el funcionament ecològic del sistema de llacunes de la Pletera (Quintana et al. 2009; Badosa et al. 2007), i degut a aquest fet, actualment s'hi està desenvolupant el tercer projecte LIFE, amb la finalitat de restaurar tot el conjunt de llacunes del sistema i recuperar la seva funcionalitat. Anteriorment a aquest, però, es va dur a terme un projecte de restauració sobre la recuperació i conservació dels sistemes costaners del Baix Ter, on s'excavaren diverses llacunes, i va crear-se la *Pletera Nova*. D'aquesta manera trobem a la maresma llacunes artificials més joves per una banda, i llacunes naturals més antigues com *Fra Ramon* per l'altra. L'edat de les llacunes pot afectar en la seva composició i caracterització (Badosa et al. 2006); dintre del marc del seguiment ecològic del projecte es mesura el metabolisme ecosistèmic de les llacunes per tal de veure'n el seu comportament.

2. OBJECTIVES

In this present study framed within the LIFE Pletera Project, the following objectives have been defined in order to better understand the Fra Ramon and Pletera Nova lagoons metabolic functioning:

1. To characterize the Fra Ramon and Pletera Nova lagoon ecosystem metabolisms for a period of 15 months.
2. To evaluate possible similarities and differences in the metabolic behaviour that lagoons display in relation to one another and towards the temporary seasonal pattern.
3. To determine the influence of the water composition on the ecosystem metabolism of the two lagoons.

3. ÀREA D'ESTUDI

El present estudi es localitza a la Pletera, dintre del terme municipal de Torroella de Montgrí (Baix Empordà, Girona), a la franja litoral de la plana del baix Ter compresa entre els massissos del Montgrí i Begur (**Fig. 2.A**). La Pletera és una àrea que constitueix una banda paral·lela a la línia de costa d'uns 1500 per 250 metres; s'estén des de la urbanització dels Griells de l'Estartit fins a la desembocadura del riu Ter (**Fig. 2.B**). És una zona litoral amb una extensió de 66 hectàrees on hi ha la presència d'algunes llacunes costaneres hiperhalines. Forma part de la Xarxa Natura 2000 i està inclosa dintre del Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter, amb un nivell de protecció de Reserva Natural Parcial (Quintana et al. 2008).

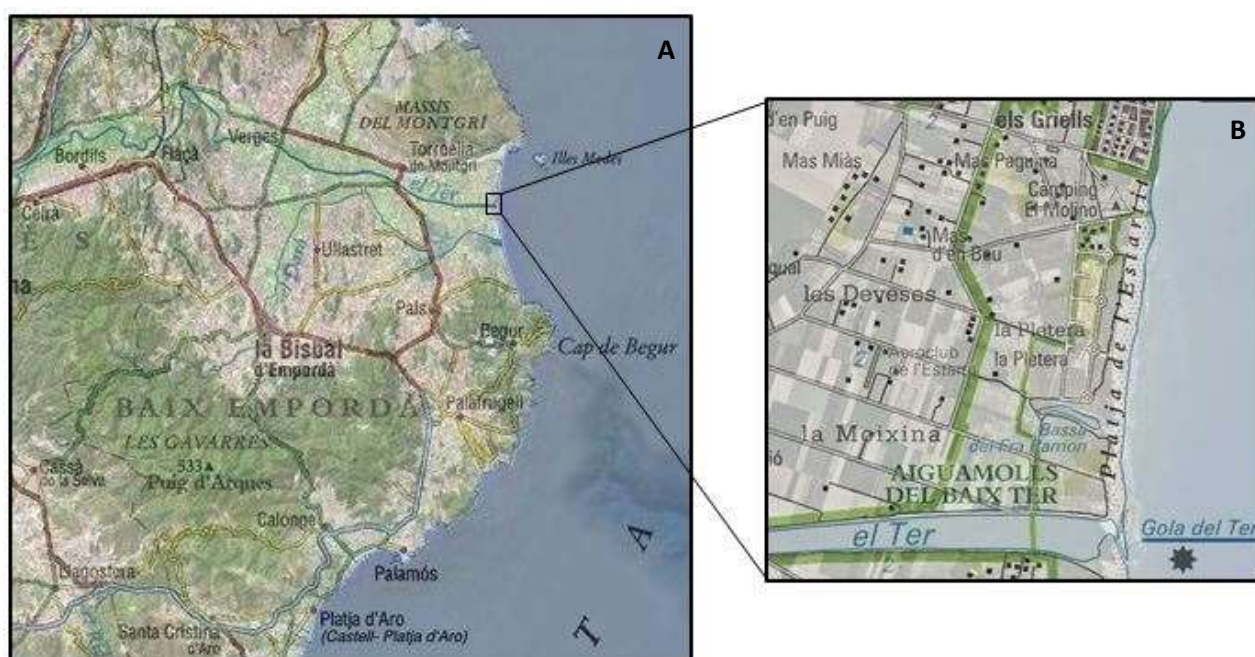


Figura 2. Situació geogràfica de l'àrea d'estudi a escales de 1:500.000 i 1:50.000 respectivament. **Font:** Institut cartogràfic i geològic de Catalunya.

Actualment, la zona a la franja litoral del Baix Ter formada per la llacuna del Ter Vell, la Pletera, els aiguamolls de mas Pinell i les basses d'en Coll configuren l'Espai d'Interès Natural "Aiguamolls del Baix Empordà" proposat com a lloc d'interès comunitari (LIC) i zona d'especial protecció per a les aus (ZEPA) dintre de la Xarxa Natura 2000. Aquest espai, va patir transformacions molt notables durant la segona meitat del segle XX, que a la seva vegada, van afectar també la zona on es centra l'estudi. Degut a la construcció de motes paral·leles a la platja i la canalització del riu Ter, la maresma de la Pletera va patir un canvi en el seu règim hidrològic. Aquest fet repercutí en la progressiva desaparició de diferents llacunes i zones d'aiguamoll del territori. Als anys 80 es va aprovar un pla parcial d'urbanització al passeig marítim, que no s'acabaria executant en la seva totalitat, que va provocar l'elevació de la cota topogràfica a la zona. Degut a aquestes pertorbacions, al 1999 només quedaven dues llacunes

permanents; la bassa de Fra Ramon, que en aquest estudi anomenem “FRA”, i la bassa del Pi. Diferents canvis en els usos del territori, la fragmentació que aquesta origina, l’elevada freqüentació turística i altres accions d’origen antròpic, van ser els principals causants del canvi de paisatge a la zona i de l’afeció al seu estat de conservació (Quintana 2002).

Degut a la seva importància des del punt de vista ecològic, econòmic i cultural, s’han desenvolupat tres projectes LIFE als Aiguamolls del Baix Empordà. D’aquests, només el segon queda al marge d’actuacions sobre l’àrea d’estudi. Entre el 1999 i 2003 es va dur a terme el primer LIFE; “Restauració i ordenació de les llacunes i sistemes costaners del baix Ter”, amb la finalitat de recuperar l’estat ecològic dels ambients costaners del Ter Vell i la Pletera i de millorar l’estat de les poblacions de Fartet (*Aphanius iberus*) de la zona. Gràcies a aquest projecte, es varen crear l’any 2002 una sèrie de llacunes noves a la Pletera, entre d’altres la que en aquest estudi anomenem “G02”. El segon projecte “Recuperació de l’hàbitat d’amfibis i d’*Emys orbicularis* al baix Ter”, es va desenvolupar entre 2005 i 2008. Aquest, va buscar la millora dels ecosistemes aquàtics d’aigua dolça, temporània i permanent, juntament amb la reintroducció de la tortuga d’estany (*Emys orbicularis*). Actualment, s’està portant a terme el tercer LIFE (2014-2018) “Projecte de Restauració Ambiental dels Ecosistemes Costaners de la Pletera a l’Estartit (TM Torroella de Montgrí)”, amb la finalitat de restaurar totalment el sistema, substituint el passeig marítim i les infraestructures de la zona per zones inundables de maresma i llacunes de nova creació. Els projectes han estat impulsats per l’Ajuntament de Torroella de Montgrí, finançats en gran part per la Unió Europea i gestionats conjuntament amb la Universitat de Girona (Quintana et al. 2008; Quintana et al. 2009).



Figura 3. Mapa de situació on s’identifiquen les dues llacunes, FRA i G02.

Font: INGLOBA GROUP

El gran interès ecològic de la Pletera deriva de les destacables llacunes salobroses que es formen a la maresma. És una de les poques zones ben constituïda que encara resten al litoral català. El comportament hidrològic de les llacunes es troba directament relacionat amb el mar,

font principal d'entrada d'aigua al sistema. Les aportacions d'aigua superficials lligades amb els períodes d'inundació del riu han quedat pràcticament eliminades, deixant les entrades d'aigua dolça donades per les precipitacions i les arribades des del nivell freàtic (Linares et al. 2012). El relleu propi i l'escassa elevació sobre el nivell del mar facilita el funcionament ecològic del sistema, caracteritzat per un patró d'inundació-confinament (**Fig. 4**), on s'observa la relació directe dels pics de màxima cota de la llacuna amb els períodes de temporal de mar. Després de cada un, el nivell de l'aigua gradualment decreix fins a alguns estius estar per sota del nivell del mar. Degut a aquest fet, la salinitat a les llacunes pot arribar a assolir concentracions superiors als de l'aigua de mar (Badosa et al. 2007; Montaner 2010; Quintana et al. 1998; Quintana et al. 2009).

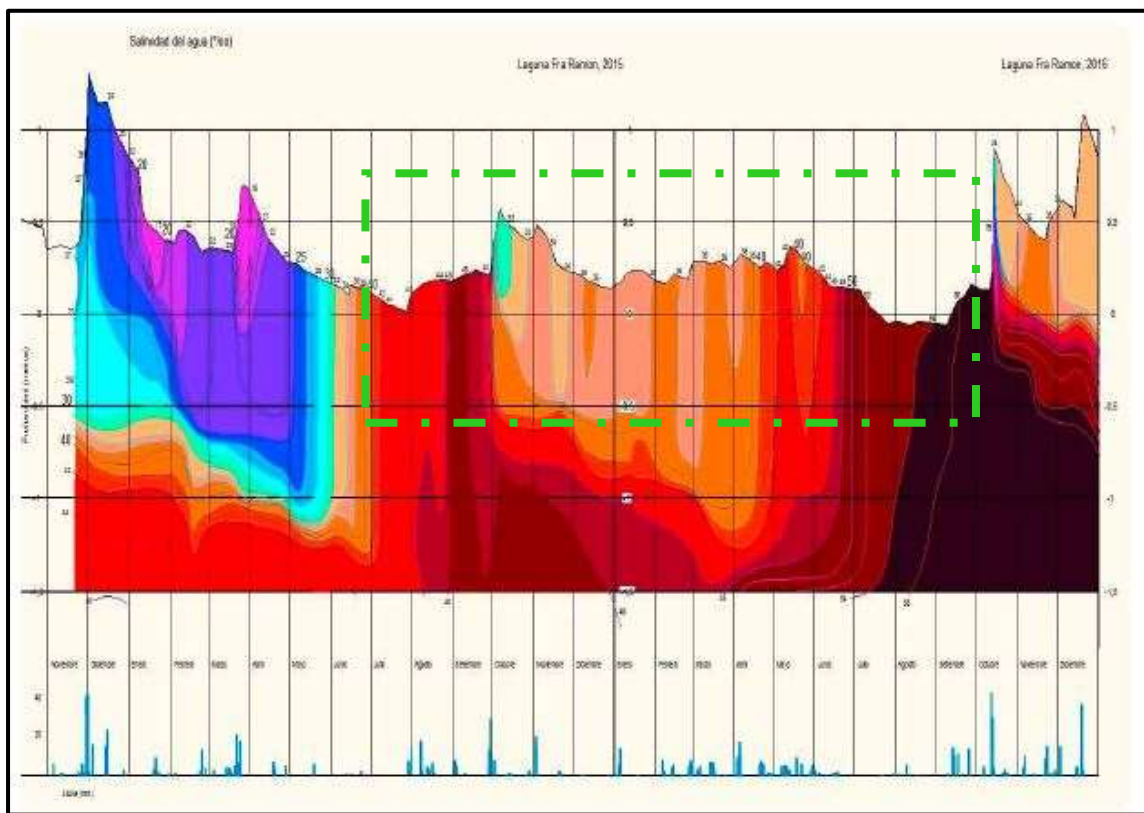


Figura 4. Evolució de la salinitat i la variació de la cota de la bassa de Fra Ramon. El període que abarca aquest estudi està emmarcat en verd a la figura. **Font:** (Pascual & Martinoy 2017)

4. METODOLOGIA

4.1 *Metabolisme ecosistèmic*

Es va realitzar un seguiment durant un any i tres mesos, iniciat el Juliol del 2015 i finalitzat al Setembre del 2016, de les llacunes FRA i G02 (**Fig. 3**). Van ser instal·lades en aquestes, unes sondes *miniDOT* per dur a terme una monitorització en continu (mesures cada 10 minuts) d'oxigen i temperatura a una profunditat de 25 cm (Compte et al. 2016; Precision Measurement Engineering 2014). La producció primària bruta i la respiració, de l'anglès *Gross Primary Production*, (GPP) i *Ecosystem respiration*, (R) respectivament; són les principals variables que descriuen el metabolisme en un ecosistema. La diferència entre la GPP i la R, és la producció neta, en anglès *Net Ecosystem production*, (NEP) (**Fig. 5A**) (Mitsch & Gosselink 1993). Durant moltes dècades s'ha estudiat la manera de mesurar el metabolisme en l'ecosistema aquàtic i la seva eficàcia (Bender et al. 1987; Gazeau et al. 2005). En els darrers anys, un dels mètodes utilitzats es basa en la mesura contínua dels canvis en l'oxigen dissolt mitjançant sondes, a partir dels quals s'estima la GPP i R (Staeher et al. 2010; Obrador et al. 2014). Aquesta tècnica assumeix que els canvis en les concentracions d'oxigen d'un volum d'aigua, reflecteixen l'equilibri biològic entre la GPP i la R, l'intercanvi físic d'oxigen entre aire i aigua (F_{atm}) i altres fluxos físics que es consideren negligibles (A) (Odum 1956) (**Fig. 5B**).

$$A) NEP = GPP - R \quad B) \Delta O_2 / \Delta t = NEP \pm F_{atm} \pm A \quad C) F = K(C_{equilibri} - C_{aigua})$$

Figura 5. A.- Balanç entre la fixació de carboni i la seva oxidació biològica. B.- Variació en una massa d'aigua de la concentració d'oxigen en el temps. C.- Equació de la llei de Fick. **Font:** adaptat de Staeher et al (2010).

En aquest estudi, es va procedir a calcular el metabolisme ecosistèmic de les dues llacunes mitjançant el mètode *book-keeping* (Cole et al. 2000; Batt & Carpenter 2012), basant-nos en els canvis d'oxigen dissolt registrats per la sonda de mesura contínua situada al mig de la llacuna, que segons Staeher et al. (2010), reflecteix el metabolisme del conjunt de la mateixa. Les diferències d'oxigen dissolt en la massa d'aigua (DO), per cada interval de temps, són deguts al NEP i F_{atm} . Es va calcular NEP cada 10 minuts en períodes de 24 hores i es va obtenir una mesura directa de R durant el període de nit (R_{nit}), assumint com a nul el valor de GPP nocturn per absència de fotosíntesis; donant a entendre que la variació d'oxigen durant aquest període és causat per la R_{nit} i F_{atm} . Amb aquest model, al no tenir una mesura directa de R durant el període de dia (R_{dia}), GPP i R total ($R_{dia} + R_{nit}$), van ser estimats assumint que el valor horari de R_{dia} era el mateix que el de R_{nit} . Per altra banda, F_{atm} es va calcular per la llei de Fick, que explica el flux de difusió d'un gas soluble a través de la interfase aire-aigua, modelada en funció de la velocitat del vent i la diferència de concentracions del gas entre l'atmosfera i l'aigua (Staeher et al. 2010) (**Fig. 5C**). Per determinar si dominen les condicions autòtrofes o heteròtrofes s'ha calculat la logratíu entre GPP i R, que hem anomenat PR ($\ln(GPP/R)$). A partir de l'estima del flux de carboni mitjançant els canvis en la concentració de DO , s'ha considerat que en les condicions on la GPP del sistema supera la R, es tradueixen en una captura del CO_2

present a l'atmosfera per part de les llacunes, fent que actuïn aquestes com a embornals de carboni. En situacions inverses on la R supera la GPP, es consideren les llacunes com a emissores de carboni (Chmura et al. 2003; Martínes & Fernández 2004).

La mesura de les variables del metabolisme ecosistèmic és costosa, especialment si es vol fer a una xarxa àmplia de llacunes. En canvi, és fàcil disposar d'una lectura de la concentració d'oxigen al migdia (%*DOMigdia*). Per això, alguns autors han apuntat la possibilitat d'utilitzar %*DOMigdia* com a proxy de la producció (Jeppesen 1998; Nielsen et al. 2013). Per avaluar si això és factible a les llacunes estudiades, s'ha realitzat una regressió lineal entre les variables del metabolisme ecosistèmic i %*DOMigdia*.

En alguns dels dies de mostreig la concentració d'oxigen en aigua tenia valors de saturació molt baixos durant tot el dia. Això ens indica que la respiració era durant tot el dia molt superior a la suma de la producció bruta i la difusió atmosfèrica i mantenia les aigües de la llacuna en condicions d'anòxia o properes a l'anòxia (a la profunditat de 20 a 25 cm a la que es troben les sondes). En aquestes condicions no es pot estimar la producció bruta perquè la concentració d'oxigen no augmenta. Les sondes estan calibrades per a la lectura de valors fins a 0.1 mg/L, (aproximadament un 2% de saturació). En aquest estudi, s'han definit aquells dies on l'oxigen no superava el 5% de saturació en tot el dia (una mica més del doble del marge d'error del calibratge de les sondes) com a situacions d'hipertròfia (Compte et al. 2016; Precision Measurement Engineering 2014).

4.2 Mostreig de variables ambientals

Per determinar la relació entre el metabolisme ecosistèmic i les variables ambientals es va fer un mostreig mensual. Es van prendre mesures *in situ* de la conductivitat, el pH i la temperatura de les llacunes mitjançant una sonda HACH HQ30d, alhora que també es recolliren mostres d'ambdues llacunes per analitzar-ne els nutrients: nitrogen total (TN), fòsfor total (PT), carboni orgànic total (TOC) i carboni inorgànic total (TIC). Mitjançant una filtració amb bomba de buit, es van filtrar les mostres amb un filtre de microfibra de vidre GFF. Aquest contingut es va utilitzar per l'anàlisi de nutrients dissolts dut a terme per l'*Institut Català de Recerca de l'Aigua (ICRA)*: amoni (NH_4^+), nitrit (NO_2^-), nitrat (NO_3^-), fosfat (PO_4^{3-}), carboni orgànic dissolt (DOC) i carboni inorgànic dissolt (DIC).

4.3 Anàlisis estadístiques

Es van analitzar les variacions de les diferents variables de producció entre les dues llacunes, i entre les diferents estacions que composaven tot el seguiment, classificant en estiu els mesos de maig a setembre i hivern d'octubre a abril. Per analitzar els diferents nutrients i paràmetres fisicoquímics mesurats es va dur a terme una anàlisi de components principals (PCA) per a totes les mostres de les diferents llacunes. Es van realitzar comparacions de les mitjanes de les diferents variables de producció, contingut en nutrients, paràmetres fisicoquímics i diferents situacions d'hipertròfia mitjançant l'anàlisi de variància (ANOVA) per tal de determinar possibles diferències significatives estacionals i entre llacunes. Per relacionar les variables de producció ecosistèmica amb altres variables ambientals es va utilitzar la regressió lineal, on les

variables de producció eren les variables resposta. Per analitzar la possible diferència entre basses, es va fer un *linear mixed effect model (lme)* on la llacuna era la variable random.

Les dades meteorològiques de vent i de radiació solar incident es varen obtenir de les estacions meteorològiques de l'Estartit i de Mas Badia (La Tallada d'Empordà) respectivament, situades a uns 3 i 10 km de la zona d'estudi. Aquestes dades es recullen amb una freqüència de 3 i 1 hores respectivament. El tractament de dades que es va dur a terme abans de l'anàlisi d'estadístics, va incloure la interpolació lineal simple en el temps per obtenir valors de radiació solar i velocitat del vent en intervals de 10 minuts. Tots els càlculs estadístics es van realitzar amb els programes R-Studio i Excel.

5. RESULTATS

5.1 Variacions espacials i temporals de producció

Es representa la variació de la producció primària bruta, (GPP) i la respiració (R). Durant tot el període del seguiment (**Fig. 6**). S'observen valors generalment superiors de GPP i R a la llacuna G02, i es pot diferenciar a les dues llacunes pics de valors més elevats de les dues variables durant els mesos d'estiu.

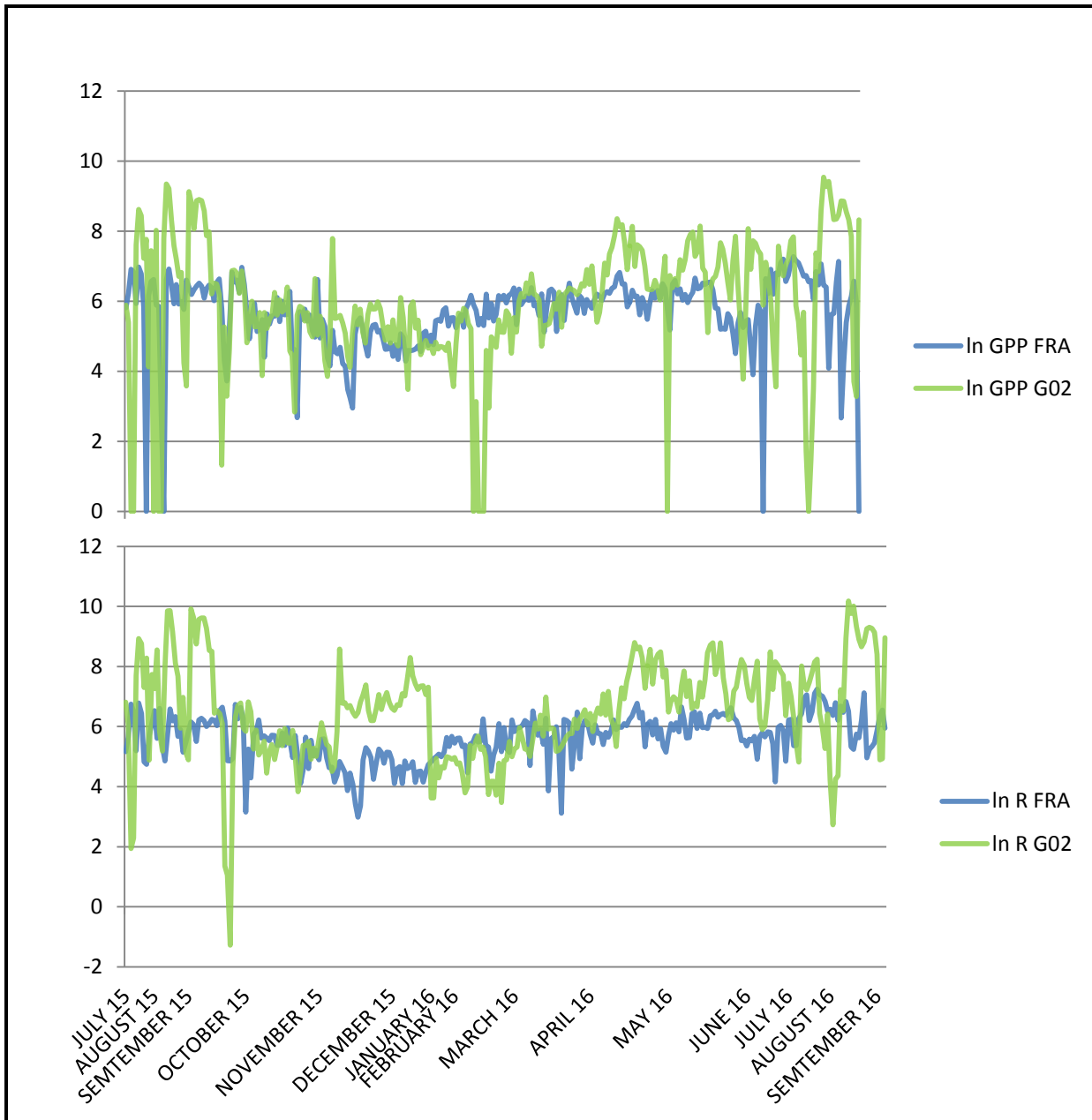


Figura 6. Representació gràfica de les diferències entre llacunes de les variacions de GPP (dalt) i R (baix) durant tot el seguiment.

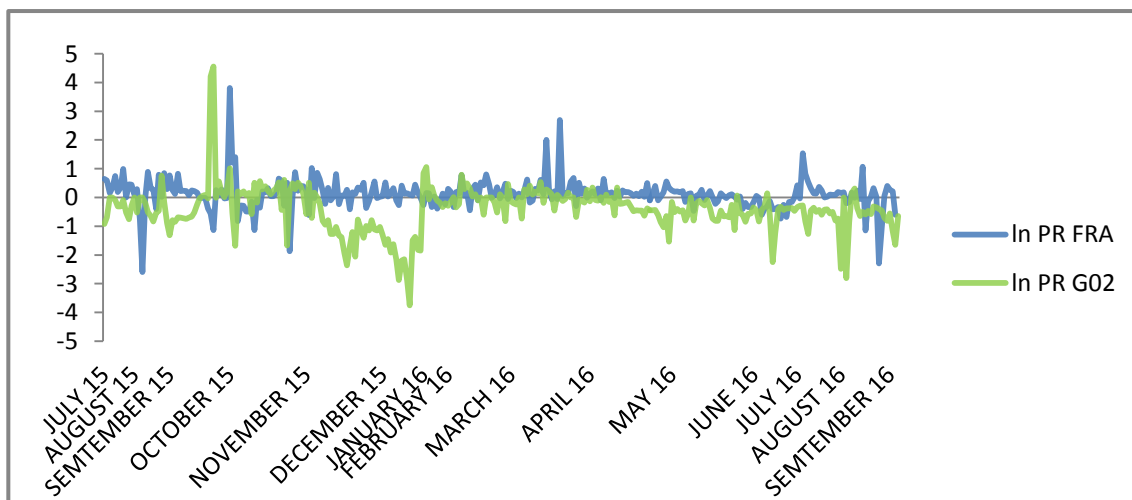


Figura 7. Representació gràfica de les diferències entre llacunes de les variacions del quocient PR durant tot el seguiment.

En la representació de la relació entre la producció bruta i la respiració (PR) durant el període del seguiment, generalment podem diferenciar que dominen els valors positius a FRA i els negatius a G02. Coincident a l'eix de les abscisses es troben les situacions on el quocient PR s'equilibra indicant que la producció i la respiració diàries són iguals. Aquest fet ens explica que la primera llacuna té un comportament més autòtrof degut a que els valors del quocient entre producció i respiració són majors que a G02, on la R majoritàriament supera la GPP (**Fig. 7**).

Es va dur a terme un anàlisi de variància per comparar els resultats en funció de l'estació i entre les dues llacunes; els valors de GPP i R van ser significativament més elevats a la llacuna G02, per contra PR va ser-ho a FRA ($p < 0.05$). Comparant les diferents variables durant les estacions d'estiu i d'hivern, els resultats mostren que GPP i R són significativament diferents a l'estiu ($p < 0.05$), sent sempre a l'estiu on s'observen valors superiors de les dues (**Fig. 8**).

S'ha calculat la quantitat d'O₂ que s'ha produït i respirat al llarg de tot l'any de mostreig a cada bassa. A partir d'aquests valors anuals s'ha calculat el balanç d'oxigen per a cadascuna (GPP-R) i la proporció d'oxigen respirat del total produït (R/GPP). En la estimació de la capacitat d'embornal de C, s'ha observat que FRA actua com a tal i G02 com a emissor (**taula 1**).

	FRA	G02
GPP anual (mols m ⁻² any ⁻¹)	174	444
R anual (mols m ⁻² any ⁻¹)	155	769
Balanç anual (GPP-R)	19	-325
Proporció respirada (R/GPP)	0.89	1.73
Capacitat d'embornal (g C m ⁻² any ⁻¹)	234	-3900

Taula 1. Variables de producció anuals i capacitat d'embornal de les llacunes.

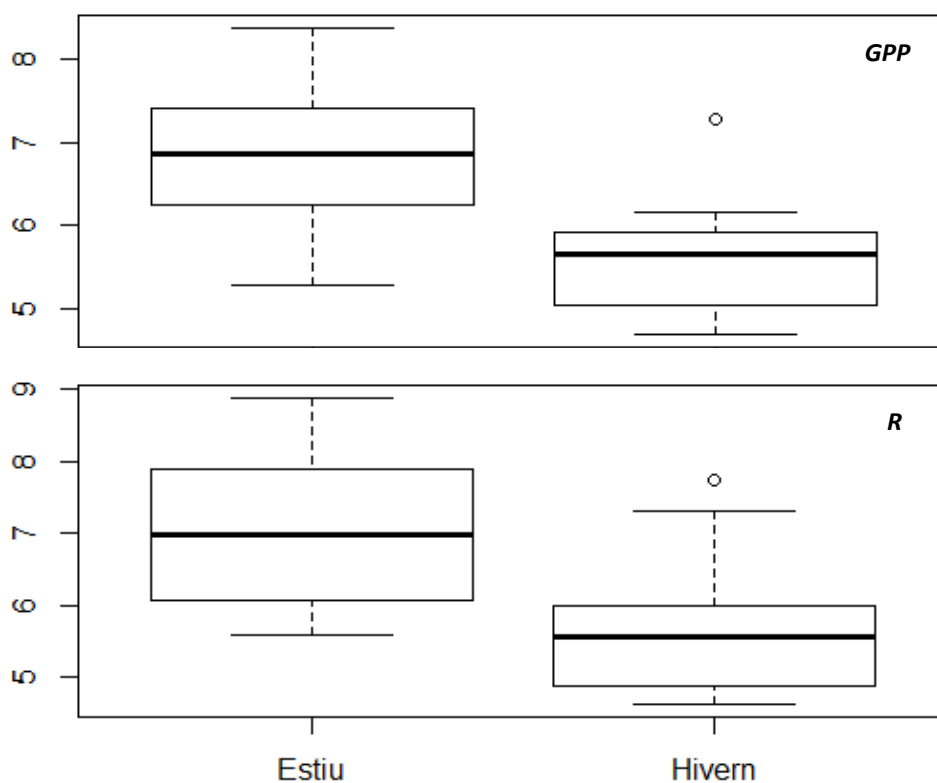


Figura 8. Representació gràfica de les diferències estacionals de GPP i R durant el seguiment.

5.2 Mesura de l'oxigen com a mètode d'aproximació a la producció

En la regressió de les variables de producció amb el percentatge de saturació d'oxigen al migdia (%DOMigdia), es va obtenir només en NEP i PR significació estadística. Les regressions d'aquestes com a variables dependents van mostrar que el %DOMigdia explicava el 12.60% i el 34.63%, respectivament, de la seva variància. Pel que fa a l'aplicació del factor llacuna, es va observar significació en totes les variables excepte en la respiració. En la GPP va ser on el factor llacuna va mostrar un valor superior, explicant que el 49.29% de la variabilitat de la relació era deguda a l'efecte de la llacuna (**Taula 2**).

L'anàlisi de les dades recollides de les dues llacunes durant els 15 mesos, ens permeten validar la hipòtesi de la relació entre la saturació de l'oxigen i la producció primària ecosistèmica; es presenta un p-valor significatiu, tot i a la baixa correlació que porta aquest, els valors de correlació són similars als anteriorment obtinguts per *Nielsen et al., (2013)*. També s'ha observat una interacció estadística amb PR, que segueix el mateix patró de comportament (**Taula 2**).

	R	GPP	NEP	PR
R ²	0.0833	-0.0201	0.1260	0.3463
p-valor	n.s.	n.s.	0.0307	0.0003
Pendent	-0.1557	-0.0463	123.1000	0.1094
	R random	GPP random	NEP random	PR random
AIC	99.8090	134.5821	454.7017	134.7500
p-valor	n.s.	0	0.0077	0
Pendent	-0.0479	1.2175	235.1754	1.2577
Variància (%)	35.3115	49.2904	30.9072	21.8193

Nielsen et al. (2013)

	R	GPP	NEP
R ² llacuna A	0.02	0.01	0.2
R ² llacuna B	0.001	0.06	0.29

Taula 2.- Resultats de les regressions de R, GPP, NEP i PR utilitzant %DOMigdia com a variable resposta. La primera taula mostra els resultats de la regressió lineal, la segona els resultats del model lineal mixt i la tercera els resultats obtinguts per Nielsen et al (2013). Es mostren els valors de pendent, correlació, la variància explicada pel factor llacuna i els corresponents pvalors (n.s. com a no significatiu i $p > 0.05$ com a si).

5.3 Influència de la composició de l'aigua en la producció

Es va realitzar un anàlisi multivariable pels diferents nutrients i paràmetres ambientals (**Fig. 9**). El primer factor de l'anàlisi de components principals (PC1, 47.77 % de la variància explicada) està relacionat amb el confinament de la llacuna; es correlaciona positivament amb el nitrogen orgànic, fòsfor orgànic, carboni orgànic dissolt, conductivitat i temperatura, i negativament amb el pH. Trobem distàncies petites entre aquests nutrients, indicant una relació significativa entre ells. Pel que fa a la segona dimensió (PC2, 16.05% de la variància explicada), es troba relacionat amb les situacions d'entrada de nutrients a la llacuna; les formes inorgàniques del nitrogen (NO_2^- i NO_3^-) tenen coordenades negatives i sobrepassen el cercle de equilibri indicant que el paper d'aquestes variables en el PCA és significatiu. Analitzant les diferències entre llacunes, en funció dels dos eixos de la representació de components principals, no van existir diferències significatives en la dimensió horitzontal PC1; en canvi, es van trobar diferències significatives (ANOVA, p-valor = 0.044) en referent a la dimensió vertical PC2 (**Fig. 10**).

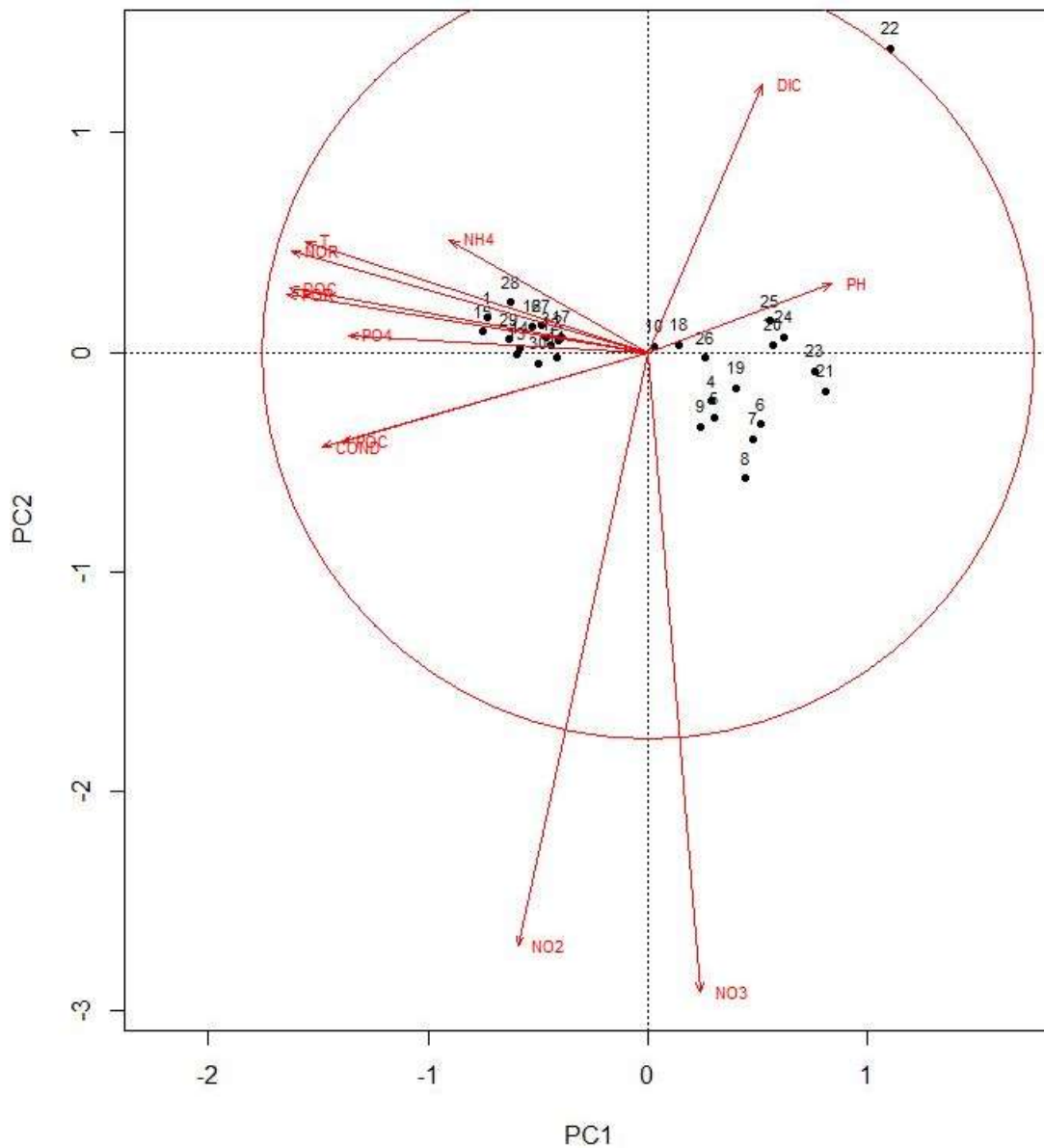


Figura 9. Representació gràfica de l'anàlisi multivariable realitzat per als diferents nutrients i paràmetres fisicoquímics.

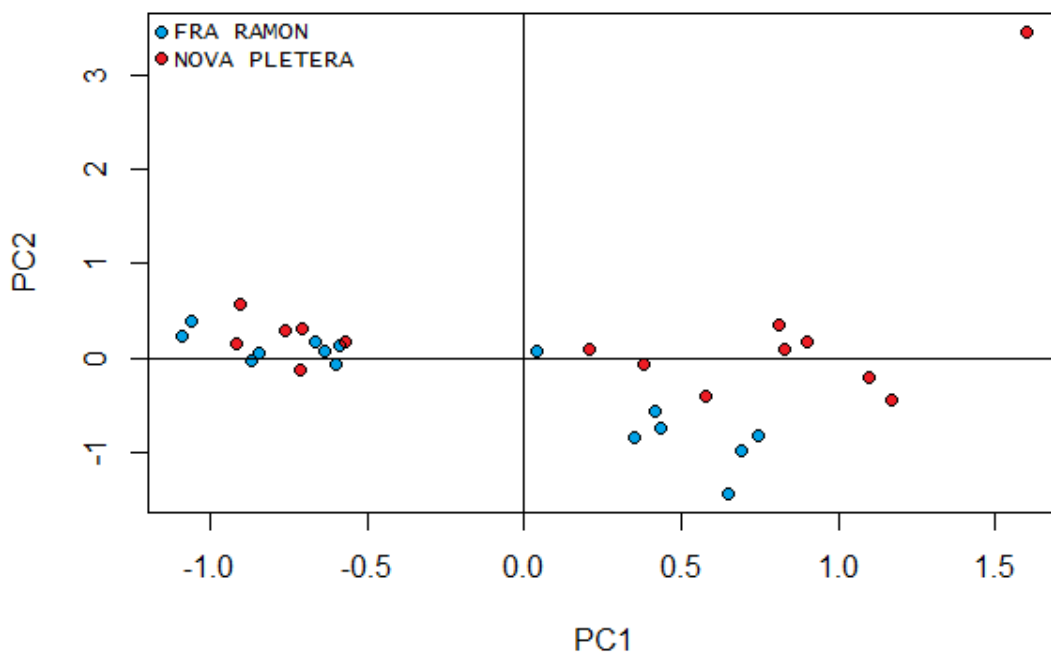


Figura 10. Representació gràfica de la distribució dels punts de les diferents llacunes en el PCA.

En la regressió entre les diferents variables de producció i els resultats del PCA, l'únic valor estadísticament significatiu va ser el de GPP ($p = 0.0055$), i la regressió agafant aquest com a variable dependent va mostrar que l'anàlisi de components principals explicava el 26.87% de la variància de GPP. Pel que fa a l'aplicació del factor llacuna, el 44.51% de variància de la respiració era deguda a les diferències entre llacunes, només es va observar una significació dels resultats explicant una relació entre la R i la primera dimensió del PCA (**taula 3**). En la regressió entre R i la temperatura del total de dades del sondeig en continu de les llacunes, es va donar una relació significativament estadística ($p < 0.05$) (**Fig. 11**).

	R random	GPP random	NEP random	PR random
AIC	88.5482	146.1558	438.3525	145.0332
PC1	-2.5485	n.s.	n.s.	n.s.
p-valor PC1	0.01	n.s.	n.s.	n.s.
PC2	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
p-valor PC2	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Variància (%)	44.51	$9 \cdot 10^{-7}$	69.32	$4.32 \cdot 10^{-7}$

Taula 3.- Resultats de la regressió de R, GPP, NEP i PR amb les dimensions de l'anàlisi de components principals, amb l'efecte random aplicat. Es mostren els valors del pendent, la variància explicada pel factor llacuna i la corresponent significació on un $p > 0.05$ es considera no significatiu (n.s.).

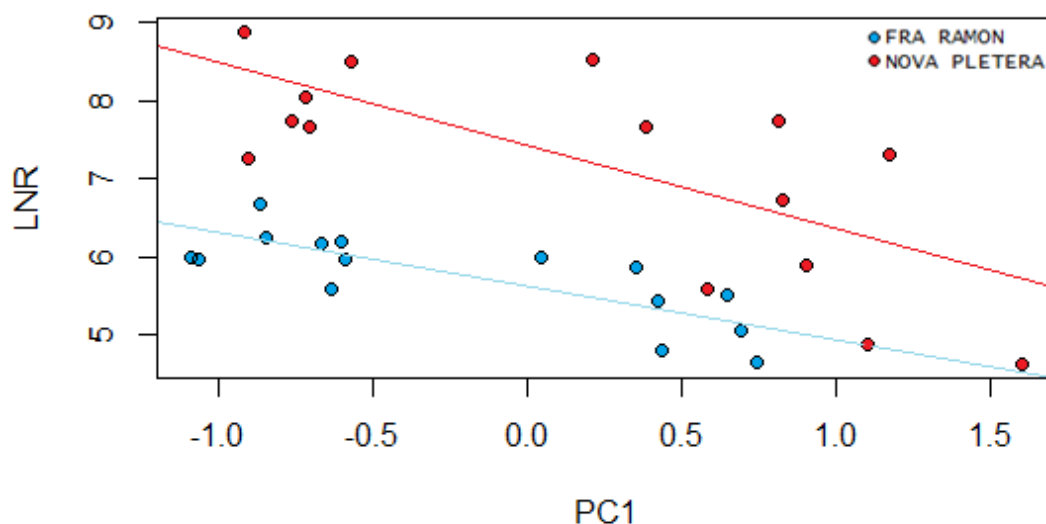


Figura 11. Representació gràfica de les regressions dels PC1 amb les R separades per llacunes. Regressions estadísticament significatives ($p < 0.05$).

5.4 Anàlisi de les situacions d'hipertròfia

Es mostra un exemple de la variació del %DOsat en dies amb i sense hipertròfia del mes d'Agost del 2016. En els dos primers dies s'observa un patró regular d'increment d'oxigen durant el dia relacionat amb la disponibilitat de llum i disminució durant la nit, però a partir del tercer es donen situacions d'hipertròfia els valors de %DOsat no superen el 5% en tot el dia (Fig. 12).

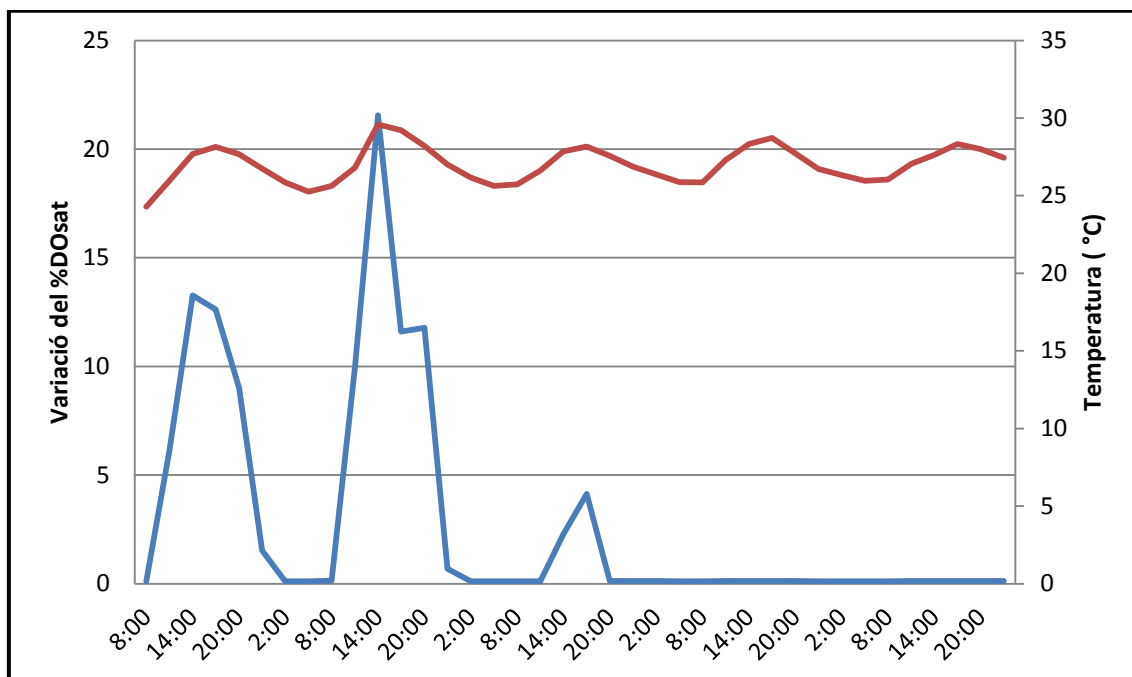


Figura 12. Variació del %DOsat a la llacuna FRA en dies amb i sense situacions d'hipertròfia.

Es va fer un recompte del nombre de dies on s'havia donat una situació d'hipertròfia durant els mesos del seguiment (Taula 4). Es pot observar a G2 un nombre major d'aquests, amb un 23.75% més de dies que a FRA. Degut a que les hipertròfies es van veure més concentrades durant els mesos de Juny, Juliol, Agost i Setembre, per els seus anàlisis estadístics només es van utilitzar dades d'aquests mesos. Es va dur a terme un anàlisi de la variància per veure si les variacions de temperatura i velocitat del vent registrats durant les hipertròfies era diferent a les registrades durant la resta del mes. Els resultats mostren la inexistència d'una variació significativa de la temperatura en situacions d'hipertròfia. Per contra sí s'observa una relació significativa entre el vent i aquestes ($p < 0.05$), amb velocitat del vent inferior durant les hipertròfies (Fig. 13).

	Dies d'hipertròfia a FRA	Dies d'hipertròfia a G2
Juliol 15	11	13
Agost 15	7	18
Septembre 15	3	8
Octubre 15	0	0
Novembre 15	0	2
Decembre 15	0	6
Gener 16	2	0
Febrer 16	0	0
Març 16	0	0
Abril 16	0	0
Maig 16	0	1
Juny 16	14	1
Juliol 16	12	15
Agost 16	13	9
Septembre 16	18	26
TOTAL	80	99

Taula 4. Recompte dels dies on es van donar situacions d'hipertròfia durant els mesos del període de seguiment.

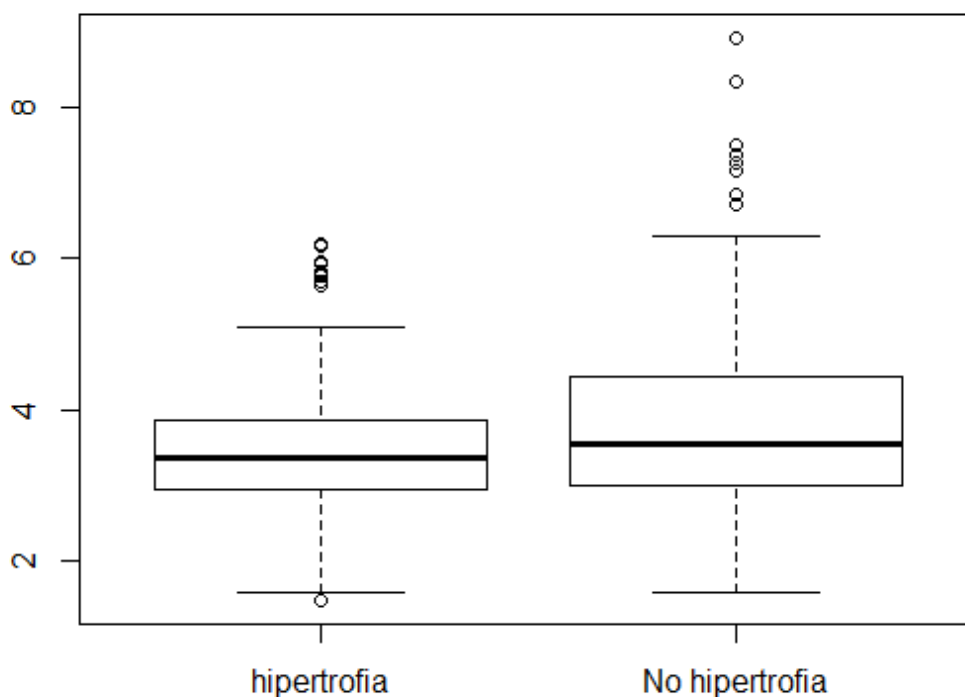


Figura 13. Variació significativa de la velocitat del vent donada per les diferents situacions d'hipertròfia.

6. DISCUSSIÓ

6.1 Variacions estacionals

Es van observar diferències entre les estacions d'estiu i d'hivern de les variables de GPP i R, sempre presentant una producció i respiració superiors durant l'estació càlida; no es van observar diferències en PR. Més del 90% de les situacions d'hipertròfia van ser donades als mesos de l'estació càlida per ambdues llacunes.

Altres estudis també donen suport a la resposta estacional de les variables de producció en llacunes; on la GPP i la R es veuen incrementades durant les estacions més càlides. En llacs profunds es demostra la disminució de la capacitat fotosintètica aquàtica per la regressió de la temperatura i biomassa de productors primaris, degut a que als mesos freds hi ha menor irradiància solar i es perd la estratificació tèrmica, que provoca que la capa de barreja on circula el fitoplàncton arribi a fondàries on el recurs lumínic és limitant en la fotosíntesis. Als mesos càlids, amb l'aparició de l'estratificació tèrmica, l'augment de la llum incident i la disponibilitat de nutrients a l'aigua, s'incrementa la capacitat de producció del sistema (Williams 1981; Raymont 1980).

Amb els resultats obtinguts en aquest estudi, podem validar la resposta a un patró estacional de GPP i R plantejat per Raymont (1980). Una de les diferències bàsiques entre l'estació d'estiu i d'hivern són els períodes de confinament (Badosa et al. 2006). En la regressió de PC1 (un dels components principals del qual és la temperatura) amb R (**Fig. 11**), els resultats obtinguts són significatius, donant a entendre la importància en els processos metabòlics d'aquesta. Aquest fet també ens porta a tenir en compte el model de variacions de producció i respiració en temperatura (Begon et al. 1999), on es demostra un augment exponencial d'R en funció de la mateixa.

Pel que fa a les situacions hipertròfiques, s'esperaria trobar el mateix resultat, una diferència de les temperatures entre situacions amb i sense aquesta; tot i així en el seu anàlisi s'ha observat que no hi ha diferències estadístiques entre les temperatures registrades de les dues situacions. Per contra, s'ha trobat una relació entre la producció donada durant els dies hipertròfics i les dades de vent registrades, explicant una diferència en la seva velocitat, sent més significativament més baixa aquesta en les situacions hipertròfiques. La inexistència d'una relació entre aquestes situacions i la temperatura, i per contra sí amb el vent, porten a suggerir que les situacions d'anòxia no venen donades per un increment de R accentuat per una pujada de temperatura; sinó que la falta de vent dificulta la difusió d'oxigen entre l'aire i l'aigua, el que provoca un dèficit en la producció que genera situacions de concentracions d'oxigen dissolt molt baixos. Tot i aquestes suposicions, també s'han documentat estudis on un excés en la velocitat del vent en diferents llacs costaners ha provocat una regressió en la producció del sistema principalment provocant masses turbulències aquàtiques que han portat a una inhibició en el creixement i capacitat fotosintètica dels organismes planctònics (Kirk 1983).

6.2 Influència de la composició de les aigües en la producció

L'anàlisi multivariable realitzada pels diferents nutrients i paràmetres fisicoquímics (**Fig. 9**), mostra l'existència de dues dimensions principals, la primera relacionada amb el confinament de la llacuna i la segona relacionada amb les situacions d'entrada dels nutrients a la llacuna. Observem al primer eix com entre molts dels nutrients algun dels paràmetres ambientals les distàncies són mínimes, explicant una alta correlació entre elles i indicant un comportament comú; en les dades on hi hagi un alt valor de càrrega, també ho seran els valors de conductivitat i temperatura, i a la que un paràmetre disminueixi, ho faran tots alhora. Les dades d'ambdues llacunes es troben repartides per l'eix PC1 sense diferències estadístiques en la seva distribució, explicant que les situacions de confinament són similars per FRA i G02. Es va trobar una correlació estadística entre aquesta dimensió i la R. Pel que fa a la segona dimensió, trobem que la repartició de dades presenta una diferenciació entre les llacunes en aquest eix (**Fig. 10**).

Amb anteriors estudis s'ha comprovat que el patró inundació-confinament observat és similar al trobat en aquest tipus de llacunes (Brucet et al. 2006; Badosa et al. 2006; López-Flores et al. 2009), també s'ha suggerit la influència directa dels nutrients, especialment nitrogen i fòsfor, en la producció primària d'una llacuna (Kirk 1983; Nielsen et al. 2013). Asseguren, que si la concentració d'aquests és baixa, la taxa de producció per unitat de volum o àrea de l'ecosistema, serà també baixa. Quan els nivells de nutrients augmenten, també ho fan la població fitoplanctònica i la seva producció. També s'ha trobat una influència de la temperatura en la producció i respiració, que explica la tendència del seu augment logarítmic i exponencial, respectivament en l'increment de temperatura (Begon et al. 1999). Pel que fa a la Pletera, s'ha evidenciat l'existència d'una diferència en la càrrega de nutrients entre les llacunes deguda a la seva edat (Badosa et al. 2006), on les llacunes més antigues (FRA), presenten més càrrega de nutrients que les més joves (G02).

En els nostres resultats les entrades de nutrients són superiors a FRA que a G02, el que podria portar a suggerir una producció més gran de la llacuna natural, ja que està generalment reconegut que un increment en les entrades de nutrients comporta una taxa de biomassa algal superior que alhora porta lligada la capacitat de producció; tot i així al observar que les variables de producció no estan relacionades amb la dimensió d'entrada de nutrients, es descarta la hipòtesis de la seva rellevància. Aquests resultats demostren que la limitació d'entrades de nutrients en la producció primària és un concepte complex; s'ha demostrat en anteriors estudis que les relacions entre la disponibilitat de nutrients, les seves entrades i la producció primària que aquests generen no venen només determinades per els mateixos, sinó que entren en joc factors com la freqüència estacional de les entrades i l'estat fisiològic dels productors primaris. En la **figura 14** es mostra la relació entre la càrrega de nutrients i la resposta productiva de l'ecosistema. La màxima resposta es dona a l'inici de la corba de saturació, on la pendent és màxima; la mínima s'observa en les situacions on s'ha assolit la màxima biomassa fitoplanctònica. Sota aquestes condicions, un increment en les entrades de nutrients o en la seva disponibilitat, no resulta en canvis significatius en els processos de producció.

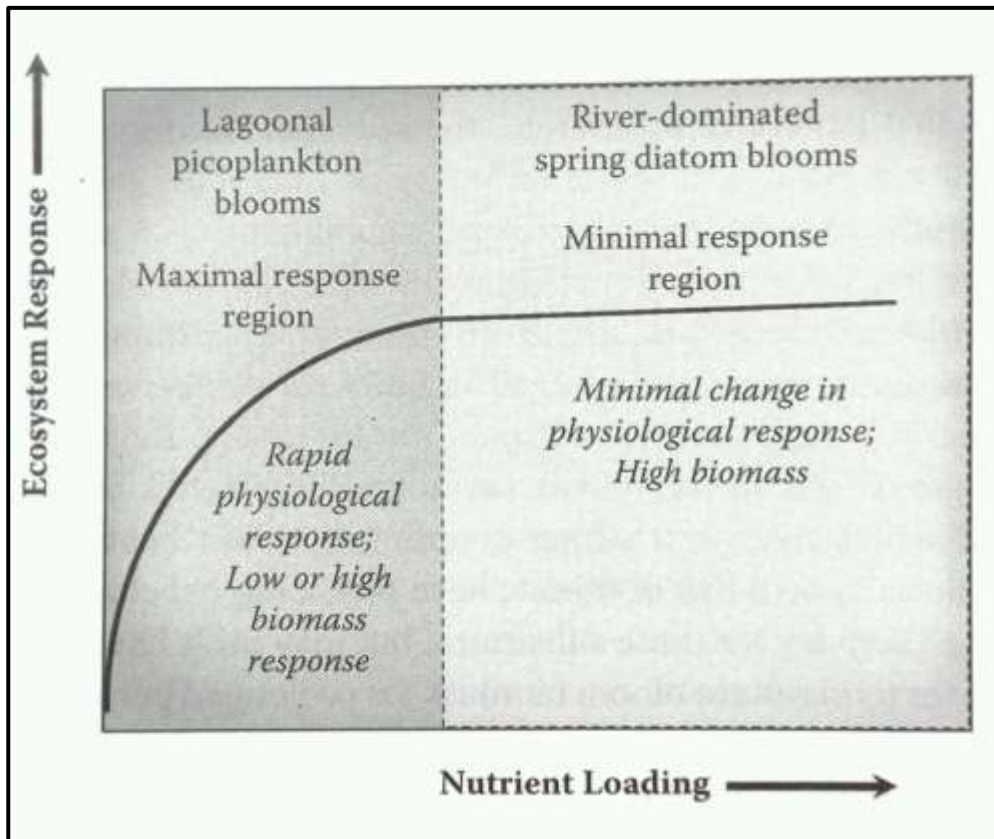


Figura 14. Variació significativa de la velocitat del vent donada per les diferents situacions d'hipertròfia. **Font:** (Kennish & Pearl 2010)

6.3 Diferències entre llacunes

Es van observar diferències en les tres variables de producció entre FRA i G02, donant en general valors molt més elevats de producció i respiració la segona llacuna; per contra valors més elevats de PR a FRA, on en escasses ocasions la respiració va superar la producció primària, a diferència de a G02, on pràcticament sempre els valors de respiració eren superiors als de producció (**Fig. 7**). A G02 la GPP i R anuals van ser més elevades que a FRA, presentant un balanç entre aquests negatiu, respirant més de la producció total del sistema i actuant com a font de carboni. Per altra banda, FRA va donar un balanç de GPP i R positiu i va actuar com a embornal de carboni.

En anteriors estudis sobre diferències en el metabolisme ecosistèmic entre llacunes s'han trobat diferents patrons; en aigües on el factor limitant en la producció són els nutrients, s'atribueix una capacitat de producció directament proporcional al volum de la llacuna (Williams 1981). En canvi en escenaris com el de l'estudi, on la producció no depèn directament dels nutrients degut a l'abundància d'aquests, l'increment en profunditat de la

capa fòtica tendeix a reduir la fotosíntesis total del sistema (Kirk 1983). Per una sèrie de llacs Japonesos de diferent fondària, Sakamoto (1996) va trobar una tendència general dels llacs més profunds, a ser menys productius que els més superficials, explicant aquest fet com a una resposta més pobre de la producció en les situacions en les que el fitoplàncton circulava en capes fòtiques més profundes, tenint menor accés al recurs lumínic. En el cas del present estudi on les llacunes són molt més somes, podria discutir-se aquesta possibilitat amb FRA degut a que la escassa profunditat de G02 permet que hi hagi llum en tota la columna d'aigua.

Observant els resultats de la relació PR de les dues llacunes, es dona la explicació d'un comportament més heteròtrof de G02, la qual no actua com a embornal sinó com a emissor de carboni. Comparant els resultats amb altres estudis (Chmura et al. 2003), podem observar que la capacitat d'embornal de FRA és propera a altres valors observats en llacunes salobroses d'arreu del món

	Capacitat d'embornal (g C * m ⁻² *any ⁻¹)	Referències
Mediterrani, Costa Brava, Fra Ramon	234	Aquest estudi
Mediterrani, Rhone Delta, France	161	Chmura et al. (2013)
NE Atlantic, Netherlands	277	Chmura et al. (2013)
Marsh Island Refuge, LA	763	Chmura et al. (2013)

Taula 5. Comparació de la capacitat d'embornal de FRA amb altres llacunes salobroses d'arreu del món. **Font:** (Chmura et al. 2003)

En anteriors estudis, s'ha evidenciat en la relació PR el seu augment a través del seguiment temporal, sempre que GPP superi R, resultant taxes positives de producció total. En el principi del cicle, GPP incrementa de manera ràpida i la respiració augmenta en funció a aquesta. Al llarg del cicle les taxes de GPP s'alenteixen i disminueixen mentre que les de R les igualen i s'esdevé la situació d'un sistema heterotròfic que respira més del que produeix (Begon et al. 1999). Tot i al comportament més autòtrof de FRA, pot observar-se que aquestes llacunes tendeixen molt a l'equilibri oscil·lant entre valors de GPP i R semblants durant tot el període de l'estudi (**Fig. 7**). D'aquesta manera les evidències abans descrites no es veuen reflectides degut a que G02, tot i ser més jove, produeix i respira en una totalitat anual major que FRA, i el seu quocient PR és menor i presenta un 23.75% més de dies d'hipertròfia, suggerint que es va adaptant a un estat de maduresa proper al de la llacuna natural, les característiques fisicoquímiques entre els quals diferien molt al principi de la creació de G02, però que amb els anys van anar assemblant-se (Badosa et al. 2006). Tot i aquests resultats, tenint en compte la mateixa figura, s'observa durant els mesos de novembre a gener un període on la respiració augmenta a G02 en relació a la resta de l'any. Aquest fet coincideix temporalment amb les obres del desballestament del passeig marítim, lllindar a la llacuna. Això suggereix que G02 pot haver patit una pertorbació degut a les obres; motiu suficient que ajudaria a explicar el seu comportament heteròtrof. Les dades del present estudi són de dues llacunes i un sol cicle anual; per comprovar si aquest patró es reproduïx, caldria analitzar més llacunes i durant un període de seguiment de més cicles.

6.4 Reflexió ètica

La recerca científica és la base fonamental per la gestió i conservació dels recursos naturals, i degut a la seva importància i ús sempre s'ha de dur a terme de la manera més sostenible possible per crear un mínim impacte en el sistema. En aquest estudi ha sigut un dels pilars en el seu treball de camp, on en un Espai d'Interès Natural les tasques que s'han dut a terme han intentat ser portades de la manera més ètica cap a l'ecosistema; la presa de mostres d'aigua de les diferents llacunes s'ha intentat portar de la manera més respectuosa sobre l'ecosistema i en el mostreig en continu de les variables fisicoquímiques en les llacunes, gracies a les sondes implantades en elles, es va afectar mínimament en el seu funcionament ecològic.

Durant el període d'estudi es suggereix que les activitats de desballestament del passeig marítim van interferir en els resultats afectant en el grau d'heterotròfia de G02; tot i la possibilitat d'aquesta pertorbació es planteja la millora en la gestió de les llacunes per tal de que aquestes tinguin un funcionament adequat a la seva edat.

7. CONCLUSIONS

1. The GPP and R lagoons conform to a seasonal variation model. A difference of variables between summer and winter is observed, increasing these during the warm season, where also were given more than the 90 % of the hypertrophy situations in both lagoons.
2. The restored G02 lagoon presents an heterotrophic behaviour and a higher total production and breathing than FRA, presenting a maturity state not appropriate to its age and suggesting an approach towards the natural lagoon, the only of both that acts as a carbon sink.
3. The nutrients entry is a minor importance factor in the explaining of the metabolic functioning in a lagoon System like the Pletera, where those do not represent a limiting factor in production. The confinement periods affect the lagoons breathing, observing a higher breathing rate on the restored one, for the same given situation.
4. We validate the method proposed by Nielsen (2013), to the extent of %DOMigdia as a proxy for the lagoons production, although a very little variance due to this factor is demonstrated.
5. The conclusions of this study may have been altered because of a possible disturbance due to the scrapping of the maritime walk; we suggest a study taking into account more lagoons during a wider period to compare the pattern reproductions.

8. REFERÈNCIES

- Badosa, A. et al., 2006. Nutrients and zooplankton composition and dynamics in relation to the hydrological pattern in a confined Mediterranean salt marsh (NE Iberian Peninsula). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 66(3–4), pp.513–522. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771405003318> [Accessed February 22, 2017].
- Badosa, A. et al., 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), pp.1273–1284. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X07000495> [Accessed February 28, 2017].
- Batt, R.D. & Carpenter, S.R., 2012. Free-water lake metabolism: addressing noisy time series with a Kalman filter. *Limnology and Oceanography: Methods*, 10, pp.20–30. Available at: [http://www.aslo.org/lomethods/free/2012/0020.html%5Cn%3CGo to ISI%3E://WOS:000302918800003](http://www.aslo.org/lomethods/free/2012/0020.html%5Cn%3CGo%20to%20ISI%3E://WOS:000302918800003) [Accessed April 28, 2017].
- Begon, M., Howarth, R. & Townsend, C., 1999. *Essentials of Ecology*. , p.435.
- Bender, M. et al., 1987. A comparison of four methods for determining planktonic community production. *Limnology and Oceanography*, 32, pp.1085–1098. Available at: <http://www.jstor.org/stable/2836785> [Accessed April 28, 2017].
- Brucet, S. et al., 2006. Size and species diversity of zooplankton communities in fluctuating Mediterranean salt marshes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 67(3), pp.424–432. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S027277140500394X> [Accessed February 28, 2017].
- Chmura, G.L. et al., 2003. Global carbon sequestration in tidal, saline wetland soils. *Global Biogeochemical Cycles*, 17(4), p.n/a-n/a. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1029/2002GB001917> [Accessed May 5, 2017].
- Cole, J.J. et al., 2000. Persistence of net heterotrophy in lakes during nutrient addition and food web manipulations. *Limnology and Oceanography*, 45(8), pp.1718–1730. Available at: http://www.aslo.org/lo/toc/vol_45/issue_8/1718.pdf [Accessed April 28, 2017].
- Compte, J. et al., 2016. Desurbanización y recuperación de la funcionalidad ecológica en los sistemas costeros de la Pletera Acción D1 Seguimiento del estado ecológico Informe del primer año de seguimiento. , pp.1–33.
- Contreras, F., Castañeda, O. & Torres, R., 1997. Hidrología, nutrientes y productividad primaria en lagunas costaneras del estado de Oaxaca, México. , p.9. Available at: <http://148.206.42.192/ojs/index.php/revHidro/article/view/609/200> [Accessed April 7, 2017].
- Gattuso, J. et al., 1993. Community metabolism and air-sea CO₂ fluxes in a coral-reef ecosystem (Moorea, French-Polynesia). *Marine Ecology-Progress Series*, 96(3), pp.259–267. Available at: <http://www.int-res.com/articles/meps/96/m096p259.pdf> [Accessed May 2, 2017].
- Gazeau, F. et al., 2005. Net ecosystem metabolism in a micro-tidal estuary (Randers Fjord,

- Denmark): Evaluation of methods. *Marine Ecology Progress Series*, 301, pp.23–41. Available at: <http://www.int-res.com/articles/meps2005/301/m301p023.pdf> [Accessed April 25, 2017].
- De Groot, R. et al., 2007. *Valoración de humedales. Lineamientos para valorar los beneficios derivados de los servicios de los ecosistemas de humedales.*, Environmental Systems Analysis Group, Wageningen University, PO Box 47, 6700 AA, Wageningen. International Water Management Institute, P.O. Box 2075, Colombo. Available at: http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/lib_rtr03_s.pdf [Accessed May 5, 2017].
- Gutiérrez, F., Varona, F. & Contreras, F., 2006. Caracterización estacional de las condiciones físico-químicas y de productividad primar fitoplanctónica de dos lagunas costeras tropicales del estado de Chiapas , Méxic Seasonal characterization of the physicochemical conditions of tw tropical coastal lag. Available at: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972006000200004 [Accessed April 7, 2017].
- Hanson, P.C. et al., 2003. Lake metabolism: Relationships with dissolved organic carbon and phosphorus. *Limnology and Oceanography*, 48(3), pp.1112–1119. Available at: <http://sci-hub.cc/10.4319/lo.2003.48.3.1112> [Accessed May 4, 2017].
- Jeppesen, E., 1998. The Ecology of shallow lakes: Trophic Interactions in the Pelagial. , p.420. Available at: http://www.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrappporter/rapporter/FR247.pdf [Accessed May 1, 2017].
- Kennish, M. & Pearl, H.W., 2010. Coastal Lagoons. Critical Habitats of Enviromental Change. , p.555. Available at: <http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=iz85AAAAIAAJ&oi=fnd&pg=PR11&dq=Coastal+Lagoons&ots=DvbXOUJxeu&sig=UrxlkMplwzWD5ugDnYDQcuQOMOI> [Accessed May 20, 2017].
- Kirk, J., 1983. Light & photosynthesis in Aquatic Ecosystems. Second edition. , p.401.
- Linares, C. et al., 2012. El fons marí de les illes Medes i el Montgrí: quatre dècades de recerca per a la conservació. *Recerca i territori vollum 4*, p.193.
- López-Flores, R. et al., 2009. Environmental factors affecting bacterioplankton and phytoplankton dynamics in confined Mediterranean salt marshes (NE Spain). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 369(2), pp.118–126. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jembe.2008.11.003> [Accessed May 6, 2017].
- Margalef, R., 1974. *Ecología*, Madrid: Omega.
- Martínes, J. & Fernández, A., 2004. *México y la participación de países en desarrollo en el régimen climático*, Available at: http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/33528482/cambio_climatico_una_vision_desde_mexico.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1495452687&Signature=CVtw9inE22h5cA1WsruTe%2F69Lg%3D&response-content-disposition=inline%3B filename%3DLibro_ [Accessed May 22, 2017].
- Menció, A. et al., 2016. Nitrate pollution of groundwater; all right. . ., but nothing else? *Science of the Total Environment*, 539, pp.241–251. Available at:

- <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.151> [Accessed May 6, 2017].
- Mitsch, W. & Gosselink, J., 1993. *Wetlands. Second edition*, Van Nostrand Reinhold International Thomson Publishing company.
- Montaner, J., 2010. *El flux hidrològic de la plana litoral del Baix Ter*, Available at: <http://www.museudelamediterrania.cat/catedra-decosistemes-litorals/publicacions.html> [Accessed March 22, 2017].
- Nielsen, A. et al., 2013. Daily net ecosystem production in lakes predicted from midday dissolved oxygen saturation: analysis of a five-year high frequency dataset from 24 mesocosms with contrasting trophic states and temperatures. *Limnology and Oceanography: Methods*, 11(August), pp.202–212. Available at: <http://www.aslo.org/lomethods/free/2013/0202.html> [Accessed March 22, 2017].
- Obrador, B., Staehr, P. a. & Christensen, J.P.C., 2014. Vertical patterns of metabolism in three contrasting stratified lakes. *Limnology and Oceanography*, 59(4), pp.1228–1240. Available at: http://www.aslo.org/lo/toc/vol_59/issue_4/1228.html.
- Odum, H.T., 1956. Primary Production in Flowing Waters¹. *Limnology and Oceanography*, 1(2), pp.102–117. Available at: <http://dx.doi.org/10.4319/lo.1956.1.2.0102> [Accessed April 28, 2017].
- Pascual, J. & Martinoy, M., 2017. SEGUIMIENTO DE NIVELES DE AGUA Y SALINIDAD DEL PROYECTO LIFE PLETERA.
- Precision Measurement Engineering, I., 2014. Mini DOT user ' s Manual. , (760), pp.1–21.
- Quintana, X. et al., 2009. Actuacions i reptes en la conservació dels aiguamolls del Baix Ter. *Papers del Montgrí*, 30., p.94. Available at: <http://www.raco.cat/index.php/PapersMontgri/article/viewFile/141107/192523> [Accessed March 22, 2017].
- Quintana, X. et al., 2008. Pla de gestió dels espais naturals del Baix Ter (Torroella de Montgrí i Pals, Baix Empordà). Available at: <http://www.lifeemyster.com/cat/Pla-Definitiu/Pla-Gestio-Life-BaixTer.pdf> [Accessed February 28, 2017].
- Quintana, X.D., 2002. Restauració dels aiguamolls del Baix Ter: projecte LIFE. *Papers del Montgrí*, (23), pp.164–172. Available at: <http://www.raco.cat/index.php/PapersMontgri/article/view/113929> [Accessed March 22, 2017].
- Quintana, X.D., Moreno-Amich, R. & Comín, F.A., 1998. Nutrient and plankton dynamics in a Mediterranean salt marsh dominated by incidents of flooding. Part 1: Differential confinement of nutrients. *Journal of Plankton Research*, 20(11), pp.2089–2107. Available at: <http://plankt.oxfordjournals.org/cgi/content/long/20/11/2089>.
- Raymont, J.E.G., 1980. Plankton and Productivity in the Oceans. *Plankton and Productivity in the Oceans*, i, pp.65–132. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080215518500097>.
- Simas, T., Nunes, J.P. & Ferreira, J.G., 2001. Effects of global climate change on coastal salt marshes. *Ecological Modelling*, 139(1), pp.1–15. Available at: [https://imedeia.uib-csic.es/master/cambioglobal/Modulo_II_cod101603/Bibliograf%EDa/Simas et al_2001_EcolModelling.pdf](https://imedeia.uib-csic.es/master/cambioglobal/Modulo_II_cod101603/Bibliograf%EDa/Simas_et_al_2001_EcolModelling.pdf) [Accessed May 1, 2017].

- Smith, S. V, 1984. Phosphorus Versus Nitrogen Limitation in the Marine-Environment. *Limnology and Oceanography*, 29(6), pp.1149–1160. Available at: </home/gtrommer/Work/Literatur/Smith%5Cn1984.pdf> [Accessed April 11, 2017].
- Staeher, P.A. et al., 2010. Lake metabolism and the diel oxygen technique: State of the science. *Limnology and Oceanography: Methods*, 8, pp.628–644.
- Williams, W.D., 1981. Salt Lakes. , p.442.