

## GIRONA, REGIÓ SENSIBLE A L'AIGUA

Xavier Quintana  
*(Coordinador)*

Universitat de Girona  
**Càtedra d'Ecosistemes  
Litorals Mediterranis**



Universitat de Girona  
Càtedra d'Ecosistemes  
Litorals Mediterranis

can Quintana  
Museu de la  
Mediterrània

 Parc Natural  
del Montgrí, les Illes Medes  
i el Baix Ter





# Crèdits

## Edició

Càtedra d'Ecosistemes Litorals Mediterranis  
Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter  
Museu de la Mediterrània

## Coordinador

Xavier Quintana

## Disseny Gràfic

Mostra Comunicació

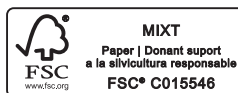
## Impremta

Gràfiques Alzamora

ISSN: 2013 – 5939

Dipòsit legal: GI 896 – 2020

Impressió amb paper reciclat



Amb el suport de:





# Índex

Presentació.....	9
Introducció .....	11
(Nil Jaile)	
Estudi per establir criteris hidrogeològics de protecció del medi per a la regulació d'activitats d'extracció d'àrids al Baix Ter .....	25
(Pere Pons, Juan Manuel López, Agustí Rodríguez i Joan Solà)	
Avaluació de l'estat ecològic a les llacunes del Baix Ter a partir del metabolisme ecosistèmic ...	51
(Xavier Quintana, Maria Antón-Pardo, Maria Bas-Silvestre, Valentina Amore, Dani Boix, Jordi Bou, Xavier Casamitjana, Jordi Compte, Stéphanie Gascón, Luis Martín, Anna Menció, Warren Meredith, Biel Obrador, Jordi Sala)	
Superfícies de laminació: canviar de model de drenatge per reduir el risc d'inundació.....	77
(Xavier Quintana, Valentina Amore, Dani Boix, Jordi Bou, Zoë Busser, Francesc Camps, Albert Llausàs, Gerard Pidemunt, Teia Puigvert, Anna Ribas, Francesc Sort)	
Implementació d'estratègies demostratives per a la millora de l'eficiència del reg agrícola al Baix Ter .....	89
(Francesc Camps)	
Sistema d'informació per difondre i fomentar el reg de precisió al Baix Ter .....	119
(Jaume Casadesús, Joaquim Bellvert, Magí Pàmies)	



# Presentació

En relació a la situació hídrica del país, en els darrers 5 anys s'han donat dos fenòmens extrems i a la vegada oposats. El gener de 2020 vàrem patir un dels episodis d'inundació més importants de les darreres dècades, el temporal Gloria. De manera gairebé immediata, s'han succeït uns anys de sequera extrema, que en el moment d'escriure aquestes línies encara patim. Les projeccions climàtiques, que apunten a una major irregularitat en les precipitacions, no són gens encoratjadores en aquest sentit i pronostiquen un augment de la freqüència tant de les grans inundacions com de les sequeres prolongades. Les inundacions al Baix Ter durant el temporal Gloria, majoritàriament derivades de la necessitat d'evacuació ràpida de l'aigua acumulada als embassaments del sistema Sau – Susqueda – Pasteral, mostra que el control de les inundacions mitjançant grans infraestructures té els seus límits i que a la vegada dona una falsa seguretat en fer molt menys freqüents els episodis d'inundació, però sense poder garantir la total protecció en condicions extremes. A la vegada, la situació de sequera ens demostra que no podem gestionar els recursos hídrics pensant únicament en la distribució més o menys organitzada d'un recurs infinit entre els diferents usuaris que l'exploten, sinó que s'han de gestionar pensant en l'explotació sostenible d'un recurs limitat i cada vegada més escàs. El nostre territori és sensible a l'aigua i la gestió que fem d'aquest recurs ha de ser una part central de la planificació territorial, tant pel que fa al desenvolupament econòmic, l'obtenció de recursos o la conservació del espais naturals.

En aquest volum es recullen els principals resultats dels treballs desenvolupats en el marc del projecte Girona, regió sensible a l'aigua, portat a terme entre els anys 2018 i 2024. Es tracta d'un dels projectes d'especialització i competitivitat territorial (PECT) emmarcats en el que es coneix com la RIS3CAT, del programa operatiu FEDER de la Comissió Europea. La RIS3CAT respon a l'exigència que s'elaborin estratègies de recerca, innovació i especialització que abordin els reptes del territori a les regions de la Unió Europea. Són iniciatives impulsades pels agents del territori i cofinançades amb fons FEDER que tenen com a objectiu basar-se en el coneixement i la innovació per avançar cap a un model socioeconòmic més resilient i just.

El projecte Girona, regió sensible a l'aigua ha estat coordinat per la Diputació de Girona i hi han participat la Junta Central d'Usuaris d'Aigües del Baix Ter (JCUABT), l'Institut de Recerca i Tecnologies Agroalimentàries (IRTA), la Fundació Mas Badia, d'aquesta mateixa institució i la Universitat de Girona. Els treballs aborden diferents aspectes relacionats amb la gestió sostenible dels recursos hídrics i tracten temàtiques com la creació de models hidrològics i agronòmics conceptuals i la seva aplicació en l'explotació dels recursos hídrics (Capítol 3), l'aplicació de plataformes tecnològiques de transmissió de dades recollides via satèl·lit (Capítol 7), l'ús d'equips de sensors en funcionament continu per optimitzar l'eficàcia del reg (Capítol 6) i també per avaluar l'estat ecològic de les masses d'aigua (Capítol 4) i l'aplicació de solucions basades en la natura per reduir el risc d'inundació (Capítol 5). En conjunt, tots aquests avenços contribueixen a millorar la gestió de l'aigua al Baix Ter i poden servir de model per a altres regions.



# Introducció

Nil Jaile i Casademont  
Diputació de Girona





## Importància de l'ús sostenible de l'aigua en un context de canvi global i d'optimització de recursos

En l'àmbit mediterrani és difícil tenir l'aigua justa. Quan n'hi ha massa o cau de cop, patim inundacions. Quan en cau poca o s'oblida de caure durant gaire temps, passem a l'altre extrem i tenim sequeres. Les societats humanes som alhora dependents i vulnerables a aquests extrems, que ens esforcem a regular, mitigar i fins i tot aprofitar amb reserves artificials (dipòsits i basses pluvials, embassaments en el curs dels rius) i naturals (aquífers, neu i glaceres, estanys i aiguamolls) o fent ús de fonts no convencionals (aigua regenerada, reciclada, dessalinitzada). Els riscos associats a l'aigua, si bé mal repartits entre sectors econòmics i socials, i la necessitat que també en tenen els ecosistemes fa que s'hagi de considerar l'aigua dolça com un recurs valuós alhora que limitat. Així, les nostres comunitats han de ser les primeres interessades a no malbaratar-la. Ho hem après a través de sequeres recurrents, algunes de documentades des de fa segles, com el greu episodi de 1812-1818. Més propera en el temps és la sequera de 2005-2008, que va ser molt intensa i extensa, precedida per la de 1998-2000 i seguida per la de 2016-2018. La major freqüència dels episodis és una de les manifestacions del canvi climàtic, com ampliarem a continuació.

L'episodi de 2005-2008 va deixar lliçons i inversions pal·liatives com el foment d'un ús racional de l'aigua buscant guanyar una eficiència que permetés cobrir les necessitats hídriques actuals i futures. No obstant, aquest equilibri és feble, com ha demostrat l'episodi de sequera actual, iniciat la tardor de 2020 i que s'ha anat eixamplant des de la primavera de 2021. Els dèficits de precipitació i humitat habituals durant aquests anys han fet que ens trobem davant de la (mega)sequera més greu des que hi ha registres —un rècord històric de durada, extensió i intensitat que supera de llarg la sequera de 2005-2008.



## Context de canvi global

L'augment de la temperatura comporta un conjunt de conseqüències ambientals (aridesa, desertificació, fenòmens climàtics més violents, difusió d'espècies invasores) i sobre la salut humana (cops de calor, asma i al·lèrgies, transmissió de malalties transmeses per vectors). La tendència que mostren totes les projeccions i escenaris climàtics com el *Tercer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya* per al 2050 és que hem experimentat un increment d'1,4°C de temperatura respecte a la mitjana registrada entre els anys 1971 i 2000 (Martín-Vide et al., 2016).

Igualment, els registres mostren una disminució en la precipitació entre els anys 1950 i 2014 de la magnitud de -2,40% i -3,90% de la mitjana anual pluviomètrica per decenni al Pirineu i al Prepirineu, llocs on neixen les capçaleres dels rius que abasteixen el país. També s'ha observat una disminució del cabal als rius de capçalera, atribuïble a la major evapotranspiració de la massa forestal (MEDACC, 2020). La projecció per a les properes dècades és que aquest valor encara es reduirà més i arribarà a una disminució de l'ordre de -6,80% entre els anys 2031 i 2050. Els episodis de sequera, com el que vivim en l'actualitat, s'espera que seran més llargs i eixuts, amb la qual cosa la disponibilitat de l'aigua es pot reduir en un -17,80% l'any 2051. A la vegada, pot ploure menys però fer-ho «malament», això és, d'una forma més intensa i concentrada en l'espai i en el temps. Davant del perill dels fenòmens meteorològics extrems s'està conscienciant la població perquè quan s'esdevinguin estigui més ben preparada amb mesures de prevenció i comportaments més responsables a fi de minimitzar, en la mesura del possible, els danys i perjudicis negatius a persones i béns que se'n deriven.

Tots aquests canvis afecten els ecosistemes aquàtics, la seva biodiversitat i els serveis ecosistèmics que ens proporcionen. També afecten el desenvolupament humà, especialment en sectors com l'agroalimentari, l'industrial o el turístic, que han d'adequar el desenvolupament a la disponibilitat dels recursos hídrics.

## Optimització de recursos hídrics

Presentem, a continuació, un ventall de mesures concretes i efectives de mitigació i adaptació al canvi climàtic enfocades a un millor ús i estalvi d'aigua que poden ajudar-nos a afrontar aquest futur d'escassetats. Impliquen tots els sectors econòmics, i cal, per tant, que facin esforços de contenció per aconseguir el màxim nivell de sostenibilitat i equilibri ecològic possible. Amb tot, no podem negar que ens trobem davant d'un repte estructural i de civilització enorme, potser el més gran que haurem d'afrontar en aquesta etapa històrica, que ens fa replantejar aspectes que fins fa poc donàvem per descomptats. Cada vegada són més les veus que pensen que l'aigua —així com els altres recursos naturals i energètics del planeta— és un bé comú que cal preservar per al futur tant de l'espècie humana com dels ecosistemes naturals entesos en sentit ampli. Fins no fa gaire es considerava com un recurs il·limitat o infinit sempre disponible, sempre explotable —tant hi feia si calia construir un altre transvasament, interconnexió o des-saladora o perforar un altre pou—: tot havia de servir al fi de l'inqüestionable creixement socioeconòmic. Per contra, ara, ens adonem —en part, per necessitat— que tenim l'aigua que tenim i que som nosaltres els que ens hem d'adaptar a la seva disponibilitat o escassetat, de manera que cal obrir el debat sobre els

usos que en fem tenint en compte el principi de justícia socioclimàtica, cosa que porta inevitablement a considerar les relacions socials en un marc en què el poder o la influència sobre la presa de decisions estan repartits de forma molt desigual. Això ens duu a preguntar-nos coses com aquestes: a quines esferes econòmiques destinarem prioritàriament un recurs tan preuat com és l'aigua i a quines el restringirem?; és responsable derivar l'aigua existent cap a usos humans encara que calgui vulnerar els cabals ecològics dels rius?; quins seran els sectors socioeconòmics que patiran més la manca hídrica i com podem fer-los menys vulnerables o fins i tot reconvertir-los?; quin model econòmic volem per al nostre país?; podem implementar els canvis necessaris de forma proactiva i previsor, o bé no farem res fins que ens hi veiem obligats per les circumstàncies?; aquestes transformacions, han de tocar més els interessos dels qui fan un consum vital d'aigua o els dels qui en fan un ús desproporcionat o desmesurat? Qüestions com aquestes ja es comencen a concretar en campanyes com «D'on no n'hi ha, no en raja», que trobareu a <https://www.noenraja.cat>.

## Estalvi d'aigua en el sector primari

### El sector forestal

Comencem pels boscos. Si bé és cert que plou menys i que fan falta més arbres a les ciutats, també ho és que els boscos són uns competidors per l'aigua blava des de les mateixes capçaleres dels rius i que s'ha negligit la gestió forestal del rerepaís. Els rius mediterranis baixen amb menys aigua circulant perquè cau menys pluja i perquè no hi ha reserves d'aigua a les muntanyes en forma de neu o glaceres com abans, però també perquè tenim una superfície forestal densa i descurada que obstaculitza el creixement adequat dels arbres mateixos si ho comparem amb els boscos madurs sans. Per descomptat, les forests superpoblades són molt més vulnerables i poc resilents davant dels incendis forestals per la presència de material combustible i la seva continuïtat (MIDMACC, 2024).

Es tracta d'un repte que demana tractar temes de gestió de les conques fluvials en sentit ampli, prenent en consideració aspectes com el despoblament i l'envelliment de les zones rurals i de muntanya, així com la promoció d'activitats rendibles i sostenibles econòmicament que permetin viure dignament i siguin compatibles, al seu torn, amb una rendibilitat i sostenibilitat ambiental. Per afegir complexitat a aquestes demandes diverses, cal tenir present que la majoria de boscos són de propietat privada i que els seus titulars no solen disposar de fons ni incentius per endegar feines de gestió del sotabosc, siguin manuals o animals (amb la reintroducció de ramats de cabres i ovelles, per exemple), o de recuperació del sistema de conreus, pastures i boscos, de producció racional de fusta o de restauració ecològica (aquí es poden plantejar solucions basades en la natura o de bioenginyeria). Ens trobem, doncs, molts equilibris que semblen difícils d'alinear pel que fa al manteniment i la conservació. Un instrument que ho pot fer possible són els acords de custòdia del territori que es poden establir entre els propietaris i les entitats gestores de custodiar-los (fundacions, associacions, cooperatives, organitzacions no governamentals, agents públics) i que puguin dur a terme tasques com les esmentades que s'hagin pactat per endavant i estableixin obligacions entre les dues parts. A casa nostra, l'entitat de referència que impulsa aquest model de conservació i restauració és la Xarxa per a la Conservació de la Natura, que recentment ha publicat la *Guia pràctica de custòdia del territori. Marc teòric i opcions jurídiques a Catalunya* (Basora i Cepas, 2023).

## El sector agrícola

A Catalunya, entre els anys 1993 i 2016, el nombre d'explotacions agrícoles han caigut un 25,6 %, alhora que han incrementat en més d'un 81 % les explotacions d'entre 100 i 200 hectàrees i en més d'un 56 % les de més de 200 hectàrees, en detriment de les petites explotacions de menys d'una hectàrea, que han caigut en un 62 %, i les d'entre 10 i 20 hectàrees, que han retrocedit en més d'un 33 % (OCCC, 2022). Les explotacions agrícoles de regadiu són les més rendibles econòmicament, però també les més dependents de l'aigua i, per tant, les més afectades pel canvi climàtic. La superfície dedicada a cultius de regadiu a Catalunya ha crescut un 13 % entre els anys 2007 i 2022, amb un parc dividit entre un 34 % de superfície de regadiu (254.081 hectàrees) i un 66 % de secà (494.059 hectàrees), si bé és cert que els sistemes de reg han anat evolucionant davant de la menor disponibilitat d'aigua i s'ha anat reduint el reg a manta per inundació cap al localitzat i d'aspersió (OCCC, 2022). El nou repte, tanmateix, és passar a adoptar tècniques de reg de precisió. En clau de país, el regadiu representa un 72,2 % de l'ús de l'aigua en relació amb els usos domèstics (11,6 %), els usos industrials, comercials i de serveis (8,8 %), els usos municipals o altres de no registrats (6,1 %) i els usos ramaders (1,3 %). Aquesta xifra, però, cal matisar-la en cada realitat territorial, amb un gran contrast, per exemple, entre les conques internes (regadiu, 34,6 %; ús domèstic, 28,7 %; ús industrial, comercial i serveis, 20,6 %; ús municipal o altres de no registrats, 14,5 %, i ús ramader, 1,6 %) en comparació amb les conques catalanes de l'Ebre (regadiu, 94,4 %; ús industrial, comercial i serveis, 1,8 %; ús domèstic, 1,5 %; ús municipal o altres de no registrats, 1,1 %, i ús ramader, 1,1 %) (Borràs-Calvo, 2021). No volem deixar d'apuntar que el fenomen mundial d'emprar un nombre cada vegada més reduït de llavors homologables i homogènies no només ens fa perdre biodiversitat, sinó que fa que els cultius siguin més vulnerables a plagues i que facin falta més herbicides i fitosanitaris químics que poden contaminar fàcilment el subsol i les aigües freàtiques (FAO, 2019).

Les dades aportades mostren que ens trobem davant d'un dels sectors més importants en el qual cal centrar esforços d'estalvi i reducció de l'ús de l'aigua, alhora que es tracta d'una esfera econòmica bàsica en la producció d'aliments, moltes vegades castigada per la depreciació dels preus en les xarxes de distribució. Els bons hàbits alimentaris, tendències com l'alimentació ecològica o el consum de proximitat o de quilòmetre zero i la sobirania alimentària posen en qüestió els models de monocultiu de l'agroindústria, que exporten més de la meitat (609000 tones o un 65 %) de la fruita dolça i cítrics que produïm cap a «les cadenes europees i internacionals més exigents quant a qualitat, traçabilitat i seguretat alimentària» (PRODECA, 2024a). En clau hídrica, això ens condueix a la paradoxa que unes terres vulnerables a la sequera i que, en alguns casos, hagin de passar a cultius de secà o perdin la viabilitat, visquin d'*exportar aigua en forma de fruita i verdura* a l'Europa continental humida, que començarà a tenir un clima —i, per tant, plantacions— similar al nostre.

Les veus crítiques de la petita pagesia i del món rural amb el model agroindustrial exportador i finançat conceben aquest model com una destrucció d'ecosistemes naturals de la biodiversitat, un espoli per part «del més fort» i un empitjorament de la salut humana. En manifestos com Terra fèrtil, la nostra energia, de 10 de març de 2024, disponible complet a [https://somdelaterra.cat/?page\\_id=30](https://somdelaterra.cat/?page_id=30), hi podem llegir les seves reivindicacions en relació amb l'aigua:

Aigua per a les produccions locals i no per a l'agroindústria exportadora. Cal posar criteris socials i ambientals de l'ús de l'aigua en temps d'escassetat, prioritzant les produccions locals i de la petita pagesia per davant de les exportacions de l'agroindústria. Prou infraestructures hidràuliques al

servei de l'expulsió de la pagesia i dels beneficis de les empreses d'obra pública. No als transvasaments ni a les interconnexions de conques. Sí al reequilibri demogràfic.

En aquest punt també cal fer un pensament, ni que sigui molt breu, per garantir que tothom tingui accés a un menjar sa, nutritiu i suficient com un dels drets reconeguts per la Declaració Universal dels Drets Humans de 1948, el Pacte Internacional sobre Drets Econòmics, Socials i Culturals de 1966 i altres convenis internacionals. L'agricultura, alhora, té dos efectes positius importants més en l'esmortement dels efectes del canvi climàtic amb la retenció dels gasos d'efecte hivernacle que fan les plantes i amb la producció de biocombustibles, menys contaminants en comparació amb els provinents de fonts fòssils causants del canvi climàtic —aquesta activitat, de vegades molt lucrativa, no hauria d'incrementar els preus dels aliments ni posar en risc la seguretat alimentària. Algunes d'aquestes plantes frenen processos d'erosió i també absorbeixen aigües pluvials durant els aiguats, de manera que, encara que només sigui en una petítíssima part, contribueixen a reduir-ne els danys. Cuidar els camps fa possible, finalment, un paisatge únic que configura la nostra identitat i societat.

La zona del Baix Ter es troba especialment afectada pels reptes esmentats i pateix una situació estructural d'estrès hídric —factors climàtics i d'explotació intensiva de l'aigua a banda— incrementada pel transvasament del riu Ter cap a l'àrea urbana de Barcelona des de fa mig segle. En aquest marc, entre els anys 2019 i 2023 es va executar el projecte d'especialització i competitivitat territorial (PECT) Girona, regió sensible a l'aigua (en trobareu més informació a <https://www.ddgi.cat/web/servei/3375/girona--regio-sensible-a-l-aigua-ambit-d-especialitzacio--aigua>), emmarcat en la RIS3CAT, l'estratègia per a l'especialització intel·ligent de Catalunya. En aquest projecte hi han participat la Junta Central d'Usuaris d'Aigües del Baix Ter, la Universitat de Girona, l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries i la Diputació de Girona. Els principals resultats d'aquest projecte es recullen en els capítols següents d'aquest volum. El projecte ha tingut una visió integral de tot allò que està relacionat amb l'aigua en aquest àmbit territorial, de les fites aconseguides. En relació amb l'ús eficient de l'aigua de reg destaquem:

Inversions per modernitzar el canal de reg de Sant Jordi Desvalls, d'uns 22 quilòmetres de longitud i que serveix 194 hectàrees de regadiu, que permeten disposar d'una infraestructura regulada per comportes automàtiques que es pot controlar mil·limètricament a distància per evitar pèrdues, saber-ne els consums en tot moment i coordinar torns de reg.

Un assaig de reg totalment automatitzat en una parcel·la demostrativa de 40 hectàrees a partir de sensors d'humitat del sòl i d'una petita comporta secundària automàtica que faci possible calcular l'estimació d'aigua necessària sense sobrepassar-se, gràcies a una estimació ajustada de la demanda hídrica del cultiu.

Un pla de gestió i explotació dels recursos disponibles que, a partir de les condicions llindar establertes, permeti una explotació ordenada i racional dels recursos hídrics superficials i subterranis de l'àrea del Baix Ter.

El Centre per a la Millora del Reg al Baix Ter, des del qual s'ofereix assessorament tècnic especialitzat als regants pel que fa a les tecnologies existents de reg de precisió, un sistema de programació de regs autòcton (GiroReg), mesures individualitzades per fomentar l'estalvi d'aigua, la reducció de



la contaminació difusa de nitrats d'origen agrari i l'ús d'energia solar fotovoltaica per al reg de baixa pressió.

Un visor d'informació cartogràfica web (Irriter) basat en dades obtingudes via satèl·lit que mostra gràficament i espacialment les necessitats hídriques dels cultius i altres variables relacionades de la zona amb prescripcions generals de reg per a cada parcel·la del territori del Baix Ter (podeu consultar-lo a <https://irriter.cat>).

Una avaluació i monitoratge en continu de l'estat ecològic dels sistemes aquàtics a partir del metabolisme ecosistèmic, mesurat amb sensors d'oxigen instal·lats en llacunes costaneres.

## El sector ramader

Pel que fa a la ramaderia, tal com s'ha vist en relació amb les hectàrees de regadiu agrícola, també creix de forma intensiva. A Catalunya, el sector porcí ha augmentat en un 58 % entre els anys 1997 i 2020 — ara hi ha un porc per habitant segons dades de l'IDESCAT, mentre que continuen sense gaires variacions el boví, el caprí i l'equí, amb una davallada pel que fa al conill, l'aviram i sobretot l'oví (–54 %). Aquest sobre-dimensionament, com passa en l'agricultura, mostra una centralització en forma de macrogranges amb destinació a l'exportació: es produeixen més de dos milions i mig de tones de carn anualment considerant totes les espècies, cosa que ens situa com a segon productor europeu i desè mundial de carn porcina. Un 75 % del que es produeix es ven a fora (el porcí representa més d'un 60 % del volum i del valor), una tendència doblada respecte al decenni anterior, amb un increment d'un 50 % en el darrer quinquenni. Les exportacions principals de carn i de derivats com embotits, en valor, són a França (16 %), la Xina (11 %), Itàlia (8 %), el Japó (6 %), Polònia (4 %) i Portugal (4 %) (PRODECA, 2024b).

Tot i la manca d'aigua actual i futura que assenyalen tots els indicadors del canvi climàtic, ens trobem amb la paradoxa que el sector ramader industrial visqui i creixi d'*exportar aigua en forma de carn* i no s'estiguin fent passos estructurals cap a la contenció prudent en relació amb els recursos naturals disponibles. Les xifres apuntades tenen un revers indestruïble: fan falta milers de litres d'aigua per produir pinsos i per abeurar el bestiar; són necessaris, per exemple, 15.415 litres d'aigua per un produir un quilo de carn de vedella, 5.988 si és de porc i 4.325 si és de pollastre (Mekonnen i Hoekstra, 2010). Una altra externalitat negativa és la contaminació difusa provocada per l'excés de nitrats provinents dels purins, que malmeten els sistemes aquàtics, especialment les aigües superficials i subterrànies. Per tant, es pot apuntar una altra paradoxa: ens manca aigua i la que tenim, superficial o subterrània, la contaminem.

Aquest model industrial intensiu, tot i ser molt lucratiu, especialment si no se li resten els inconvenients apuntats, és insostenible quan xoca amb els límits biofísics del nostre medi natural. Per això s'han de limitar, replantejar i potenciar formes alternatives com les explotacions mitjanes i petites locals i distribuïdes, i la ramaderia extensiva i regenerativa. Aquesta darrera permet l'aprofitament tradicional de prats, pastius, herbassars i rostollars, cosa que ajuda a conservar la superfície forestal. La ramaderia extensiva ens pot permetre recuperar el mosaic agro-silvo-pastoral, ja que, a més, augmenta la capacitat de retenció de l'aigua i en regula el cicle. També aporta beneficis a través d'una millora de l'estructura, qualitat i fertilitat del sòl i reforça la capacitat vegetal per fixar el carboni i emmagatzemar-lo, fet que mitiga el canvi climàtic i també ens hi adapta en minorar el risc i propagació d'incendis forestals. Un altre benefici és el foment de la biodiversitat no només ecosistèmica sinó també dels mateixos ramats, que es formen amb races

autòctones adients i adaptades al territori. En aquest model, la geografia i la vegetació existents dicten quin és el millor tipus de ramaderia a cada lloc, de manera que s'empra molta menys aigua i energia en la producció de pinsos i en el transport.

## Estalvi d'aigua en el sector turístic

L'exposició sobre l'optimització dels recursos hídrics que segueix es basa en les publicacions del projecte *Wat'saveruse*, impulsat per l'Euroregió Pirineus Mediterrània (Catalunya, les Illes i Occitània) i inclòs dins del programa Life: <https://lifewatsaveruse.eu/ca/recursos/campanyes/>. Per descomptat, moltes d'aquestes propostes són aplicables al sector domèstic amb la diferència que el sector turístic té un pes important en l'economia i que el turistes gasten —ja sigui directament o indirectament— entre 300 i 3000 litres per dia d'aigua en els hotels de les categories més altes, mentre que els residents permanents en gasten uns 150 (passa una cosa similar amb l'energia i la generació de residus).

A causa de la dimensió internacional que té, el nostre sector turístic ha de posar una atenció especial als usos de l'aigua. Cal fer saber als visitants que aquí l'aigua disponible és molt inferior a la de Londres, París o Viena, per exemple. Això no desmereix els atractius propis que ofereixen al visitant unes destinacions consolidades des de fa més de cinquanta anys sobre la base, principalment, d'un clima mediterrani privilegiat com a gran reclam turístic. Com que l'escassetat natural d'aigua, que tradicionalment ha coincidit amb l'època seca estiuenca, es veurà aguditzada pels efectes del canvi climàtic, els turistes han d'estar-ne assabentats i adaptar el comportament a la realitat en la qual es troben, que pot ser molt diferent de la que ells coneixen. Lemes com «Ajuda'ns a protegir el nostre tresor més valuós» seran cada vegada més coneguts i socialitzats.

D'una banda, els hostalers —però també els grans consumidors esportius i recreatius com piscines, càmpings, complexos esportius, camps de golf, parcs aquàtics, termes o spas i parcs temàtics d'atraccions— poden identificar i eliminar fuites i degotejos, així com fer inversions recuperables a curt o mitjà termini que els facin ser més eficients en la demanda d'aigua: col·locar comptadors i detectors d'infrarojos que accionin les aixetes només quan faci falta; reduir les necessitats de pressió i el cabal de sortida d'aigua amb reductors, reguladors o airejadors de flux; instal·lar botons de doble descàrrega a les cisternes dels vàters; emprar rentavaixelles i rentadores altament eficients per al servei de bugaderia amb programes i càrregues adequats; disposar d'espais verds o enjardinats en forma de prats secs que incloguin arbres, arbustos i varietats de gespa autòctons mediterranis adaptats i resistents a les sequeres; reaprofitar aigües per al reg; etc.

D'altra banda, la conscienciació dels visitants i usuaris és un altre factor clau que cal tenir en compte: han de fer un ús racional dels sistemes d'aire condicionat, de calefacció i de ventilació; han de prioritzar l'ús de dutxes (56 litres per dia) per sobre de banyeres (de 200 a 300 litres per dia); han de tancar les aixetes de les piques quan no es facin servir o mentre s'ensabonen, s'afaiten o es renten les dents; han de reutilitzar les tovalloles i la roba de llit tant com puguin mentre es trobin en bones condicions.

## Estalvi d'aigua des dels municipis

Els poders públics en general vetllen per garantir la conservació i la gestió correctes de l'aigua en un sentit ampli, no només per fer possible les activitats econòmiques i socials, sinó també perquè proveeixi els serveis ambientals i naturals sense els quals les altres activitats no són possibles. A escala local, l'Administració pública —els ajuntaments— té atribuïda la competència pròpia pel que fa al proveïment d'aigua potable a domicili i l'evacuació i tractament d'aigües residuals (art. 25 LRBRL i art. 66.3l LMRLC), que es considera un servei essencial (art. 86 LRBRL). La primera és un servei mínim (art. 67a LMRLC) que tenen tots els municipis independentment de la seva població, encara que els que tenen menys de vint mil habitants ho poden delegar a la diputació o entitat equivalent de referència (art. 26.1a i 26.2b LRBRL). Durant les darreres dècades s'han fet inversions importants pel que fa a la depuració d'aigües residuals, i l'atenció vira, ara, cap a la xarxa d'abastament d'aigua en baixa (des dels dipòsits municipals, on arriben les captacions d'aigua en alta, fins als domicilis i empreses particulars a través d'escomeses).

Les dues preocupacions principals en aquest sentit són garantir la potabilitat i evitar al màxim el nombre de pèrdues. Ens trobem amb dipòsits i xarxes que poden haver quedat antics o amb sistemes l'accés o control dels quals pot resultar difícil. En el primer cas és més probable que els materials constructius siguin problemàtics o s'hagin deteriorat o malmès amb el pas del temps, i en el segon és més fàcil que una fuga sigui invisible i indetectable. Si es donen aquests dos casos alhora —instal·lació vella i d'accés i control complicats—, ens podem trobar molt possiblement amb un rendiment no òptim. A més, cal tenir en compte que l'ús de la digitalització dels sistemes de gestió de l'aigua a través d'eines TIC permet detectar immediatament i remotament el punt concret on hi ha fuites (fins i tot permeten prelocalitzar-les), fer la telelectura dels comptadors d'aigua domiciliaris, disposar de cabalímetres amb sistema de telecontrol en tots els dipòsits de regulació, sectorialitzar o automatitzar vàlvules i altres mecanismes de control del recurs hídic. A aquest efecte, els municipis poden comptar amb subvencions com les de l'Agència Catalana de l'Aigua per millorar i renovar xarxes de subministrament d'aigua en baixa i per millorar, també, la digitalització dels sistemes de gestió de l'aigua, que consideren facilitats econòmiques com elaborar justificacions de pagaments parcials de la subvenció a partir de certificacions d'obra i factures al llarg de la seva execució.

La titularitat d'aquest servei és pública, però la gestió pot ser directa (per part del mateix ajuntament, d'un organisme autònom, d'una entitat pública empresarial local o d'una societat mercantil local) o indirecta (amb un contracte de concessió de serveis o un de serveis: la diferència entre l'un i l'altre és que en el primer es transmet el risc operacional al contractista i en el segon no). El context històric i polític de fa unes dècades va portar molts municipis a externalitzar aquesta gestió, però en els darrers temps s'han considerat com a negatives les conseqüències de la desregulació i privatització de serveis públics bàsics, de manera que s'intenta recuperar-ne el coneixement i control, la fiscalització i el seguiment amb nombrosos processos de remunicipalització en curs amb la finalitat que la gestió del servei esdevingui més transparent i democràtica. En alguns casos, sobretot per als municipis més petits, també es redueixen els costos econòmics. Un 79 % dels habitants s'abasteixen d'aigua per mitjà d'operadors privats, que tenen interès a comercialitzar-ne el màxim volum en lloc d'estalviar-ne, tal com denuncien organitzacions com l'Associació Catalana de Municipis i Entitats per l'Aigua Pública (AMAP).





Els consistoris municipals i l'Administració pública també disposen d'edificis i instal·lacions per dur a terme les funcions i prestacions de serveis que han de fer un ús racional de l'aigua; moltes de les mesures apuntades per al sector turístic també són d'aplicació aquí, considerant les fonts exteriors d'aigua potable, les piscines i pavellons esportius municipals i el reg de parcs i jardins. A més, cal afegir-hi la neteja viària i del clavegueram, i els brolladors, cascades i fonts exteriors ornamentals. L'atenció s'ha de posar tant en la demanda (eliminar malbarataments, gestionar la pressió de l'aigua a la necessitat real, disposar de xarxes i sistemes eficients, implantar pràctiques sostenibles i responsables basant-se en la informació i el canvi d'hàbits o tenir en compte els efectes del canvi climàtic abans d'aprovar nous projectes constructius o urbanístics que incloguin, per exemple, la instal·lació de xarxes dobles separatives segons la finalitat de l'aigua) com en l'oferta (disposar de recursos alternatius com les aigües freàtiques, regenerades, pluvials, reutilitzades o grises). Per tant, l'Administració ha de donar exemple sobre com gestiona ella mateixa l'aigua que necessita o fa falta per prestar els serveis públics a la població en un context de canvi climàtic. Cal que aquesta difusió, conscienciació i pedagogia de coneixements i pràctiques s'incorpori en els plans de comunicació municipals o bé que es plantegin crear campanyes específiques.

Un instrument reglamentari que pot aprovar el ple municipal en el marc de la seva autonomia són les ordenances per a l'estalvi d'aigua, que, en el mateix sentit que van les lleis i els reglaments, poden perfilar-ne i adaptar-ne l'aplicació a la seva realitat concreta en el marc de les seves competències (art. 4.1a LRBRL i art. 8.1a LMRLC). Moltes de les mesures de rendiment del sistema, aprofitament eficient, reaprofitament, reutilització i substitució del recurs hídic esmentades més amunt es poden incloure en una ordenança d'estalvi o d'usos d'aigua; també se'n poden aprovar d'específiques per a situacions de sequera. Tot plegat en funció de cada conjuntura i necessitats concretes, dirigides tant a particulars i empreses del terme municipal com a la mateixa entitat reguladora. Existeixen models tipus i casos d'èxit d'ordenances a disposició de les corporacions locals que poden orientar-ne la redacció, però és fonamental que tot allò que s'acabi aprovant respongui a la realitat local particular i específica després d'un procés d'anàlisi i reflexió

estratègica local que s'hauria de consensuar amb tots els agents implicats a fi de dotar de recursos suficients per implantar-ho i supervisar-ho. A banda de transformar la realitat actual, ha de tenir impacte en el futur, per exemple incorporant els previsibles efectes del canvi climàtic abans d'autoritzar nous projectes constructius o urbanístics (UAB, 2011).

Els municipis que tenen una població empadronada de més de vint mil habitants tenen l'obligació de disposar de plans d'emergència municipals per sequera —mentre que els que tenen una població inferior a aquest llindar és molt recomanable que ho facin voluntàriament—, en els quals s'han incloure mesures específiques en els diferents escenaris de sequera (prealerta, alerta, excepcionalitat i emergència). Són instruments validats per l'Agència Catalana de l'Aigua que tenen per objectiu garantir el compliment de les dotacions màximes d'aigua i que es posen a disposició dels ciutadans perquè puguin conèixer com els afectaran les mesures concretes que s'adoptaran en cadascun d'aquests casos, que poden anar des de reduccions de la pressió fins a la suspensió temporal de l'abastament d'aigua (ACA, 2024). Aquests plans poden tenir en compte que els grans consumidors d'aigua tinguin un pla específic de mesures d'estalvi i reducció del consum en relació amb l'habitual per a cada escenari, que, com a mínim, ha de ser d'un 5 % en cas d'alerta, d'un 15 % en cas d'excepcionalitat i d'un 25 % en cas d'emergència. Hi ha municipis que proporcionen equips de suport per elaborar aquests plans de mesures d'ús eficient i estalvi d'aigua a les empreses i particulars que hi resideixen (Ajuntament de Barcelona, 2024).

L'aigua ens és essencial: en depèn el nostre estil de vida i prosperitat socioeconòmica, i també els ecosistemes dels quals formem part. No es tracta d'un fenomen nou, com demostra, per exemple, el fet que ja faci més de dues dècades que es reivindica el concepte de «nova cultura de l'aigua» (Prat, 2003). De mica en mica, però, en prenem consciència, en part, pels episodis de sequera indefugibles que el canvi climàtic —el gran repte estructural i de civilització del nostre temps— fa més greus i sovintejats. Amb això, però, no n'hi ha prou: des d'ara mateix cal adoptar i continuar implementant mesures de tota mena cap a aquest ús més racional i eficient de l'aigua en tots els sectors i àmbits. Fins aquí hem esbossat algunes recomanacions; n'hi ha moltes més, com els casos pràctics que es presenten en els capítols que segueixen.

## Referències

- ACA (Agència Catalana de l'Aigua), 2024. Plans d'emergència per ajuntaments i estalvi. <https://sequera.gencat.cat/ca/la-sequera/el-pla-especial-de-la-sequera/plans-emergencia-estalvi/index.html>
- Ajuntament de Barcelona/Àrea d'Urbanisme, Transició Ecològica, Serveis Urbans i Habitatge. 2024. La sequera a Barcelona. <https://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/ca/sequera-a-barcelona/grans-consumidors-aigua>
- Basora, X. i A. Cepas, 2023. Guia pràctica dels acords de custòdia del territori: marc teòric i opcions jurídiques a Catalunya. Vic: Xarxa per a la Conservació de la Natura (XCN). Disponible a: <https://xcn.cat/recursos/guia-practica-dels-acords-de-custodia-del-territori-marc-teoric-i-opcions-juridiques-a-catalunya/>
- Borràs-Calvo, G., 2021. Recursos i demandes d'aigua a Catalunya. Quaderns Agraris, 50:43-58.
- FAO, 2019. The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture. Roma: Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments. <http://www.fao.org/3/CA3129EN/CA-3129EN.pdf>
- Mekonnen, M. M. i A. Y. Hoekstra, 2010. The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products. Amsterdam: UNESCO-IHE <https://www.waterfootprint.org/time-for-action/what-can-consumers-do/>
- IDESCAT, 2022. Caps de bestiar porcí. <https://www.idescat.cat/indicadors/?id=aec&n=15430>
- Martin-Vide, J., O. Puig, A. Queralt, J.D. Ros & S. Samitier, 2016 Tercer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans i Generalitat de Catalunya. Disponible a: [https://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/tercer-informe-sobre-canvi-climatic-catalunya/TERCER\\_INFORME\\_CANVI\\_CLIMATIC\\_web.pdf](https://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/tercer-informe-sobre-canvi-climatic-catalunya/TERCER_INFORME_CANVI_CLIMATIC_web.pdf)
- MEDACC, 2019. Projecte Life MEDACC. Adaptant la Mediterrània al canvi climàtic. Layman's report [http://medacc-life.eu/sites/medacc-life.eu/files/docuemnts/layman\\_medaccfinal\\_ca.pdf](http://medacc-life.eu/sites/medacc-life.eu/files/docuemnts/layman_medaccfinal_ca.pdf)
- MIDMACC, 2024. Informe de Layman. [https://life-midmacc.eu/wp-content/uploads/2024/07/LaymanReport\\_MIDMACC\\_CAT\\_v6.pdf](https://life-midmacc.eu/wp-content/uploads/2024/07/LaymanReport_MIDMACC_CAT_v6.pdf)
- OCCC (Oficina Catalana del Canvi Climàtic), 2022. Evolució de les explotacions familiars agràries a Catalunya. [https://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/02\\_OFICINA/publicacions/publicacions\\_de\\_canvi\\_climatic/Estudis\\_i\\_docs\\_adaptacio/Informe\\_Explotacions\\_agraries\\_definitiu.pdf](https://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/02_OFICINA/publicacions/publicacions_de_canvi_climatic/Estudis_i_docs_adaptacio/Informe_Explotacions_agraries_definitiu.pdf)
- Prat, N., 2003. La nova cultura de l'aigua i la gestió i ordenació del territori. L'Atzavara, 13, p. 113-119. Disponible a: <https://raco.cat/index.php/Atzavara/issue/view/5850>
- PRODECA, 2024a. El sector de la fruita i l'horta a Catalunya. <https://www.prodeca.cat/ca/sectors/el-sector-de-la-fruita-i-horta-catalunya>
- PRODECA, 2024b. El sector de la carn i embotits. <https://www.prodeca.cat/ca/sectors/el-sector-de-la-carn-i-embotits>

UAB/Institut de Ciències i Tecnologies Ambientals, 2011. Estudi sobre l'aplicació de les ordenances municipals per a l'estalvi d'aigua a Catalunya. Barcelona: Diputació de Barcelona. [https://www.diba.cat/documents/553295/963215/estudi\\_final\\_ordenances\\_virtual-pdf.pdf](https://www.diba.cat/documents/553295/963215/estudi_final_ordenances_virtual-pdf.pdf)

# Estudi per establir criteris hidrogeològics de protecció del medi per a la regulació d'activitats d'extracció d'àrids al Baix Ter

Pere Pons, Juan Manuel López, Agustí Rodríguez i Joan Solà

Junta Central d'Usuaris d'Aigua del Baix Ter JCUABT



## Introducció

Els àrids i les roques d'interès industrial són recursos presents de forma dispersa, no aleatòria, en el territori de Catalunya, on poden ser objecte d'explotació. Per terme general, les extraccions de roques d'interès industrial solen ser poc problemàtiques en relació amb el medi hídic, mentre que les extraccions d'àrids, amb motiu de la seva proximitat i relació amb els cursos fluvials, i de ser constituents de les unitats aquífères granulars quaternàries, són més propenses a poder afectar el medi hidrogeològic on s'implanten.

L'àmbit geogràfic del Baix Ter no és aliè a aquest fet, ja que les activitats extractives, en domini públic hidràulic o en zones hidrogeològicament connectades amb els cursos superficials i els aquífères al·luvials del Baix Ter, (DMAH-GEOSERVEI, 2008; Montaner *et al.* 2010) suposen i han estat històricament, una de les principals pressions sobre les aigües subterrànies.

Aquestes activitats poden afectar tant l'estat químic de l'aigua (per un augment de la vulnerabilitat i, per tant, afavorir un increment d'exposició enfront de contaminants) com al seu estat quantitatiu (minvant el volum d'aquífer preexistent i afavorint un drenatge i posterior evaporació del recurs si la làmina d'aigua queda exposada en superfície).

En aquest context, és necessària la implementació decidida d'actuacions de prevenció en forma de programes de protecció a l'esti dels proposats per GEOSERVEI (2008) i Solà *et al.* (2010) destinades a protegir la qualitat i quantitat dels recursos d'aigua subterrània disponibles. A gran escala, les estratègies de protecció de l'aigua subterrània han de ser promogudes i desenvolupades per les administracions d'àmbit general competents en matèria d'aigua i medi ambient, sense menystenir les administracions i ens locals (Ajuntaments i Junta Central d'Usuaris d'Aigua del Baix Ter, JCUABT), que han de tenir un paper fonamental en la definició i implementació de mesures preventives en el territori per a la protecció dels recursos d'aigua subterrània, a partir de promoure la realització i incorporació de programes de protecció als corresponents planejaments urbanístics, així com la seva aplicació i gestió.

Adicionalment, cal tenir en compte que el Pla de gestió del districte de conca fluvial de Catalunya 2016-2021 (2n cicle de planificació) i 2022-2027 (3r cicle de planificació vigent en el moment), recull (1) aspectes relacionats amb les activitats extractives i (2) posen èmfasi en la protecció del medi hidrogeològic general (aquífères i àrees de recàrrega) i local (captacions municipals), motius pels quals els treballs fets per la JCUABT s'alineen perfectament amb les directrius de l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA).

## Objectius

Els objectius principals establerts per a cada un dels dos programes de referència són els següents:

- Adaptar els criteris tècnics i metodològics de protecció definits per l'ACA a la realitat territorial de l'àmbit del Baix Ter.



- Obtenir una cartografia precisa i detallada, amb les àrees específiques de protecció i els seus graus d'exclusió i/o de restricció d'activitats segons les seves especificitats.
- Definir els protocols d'actuació que permetin als Ajuntaments, amb el suport de la JCUABT, la implementació i gestió, en el territori, del programa de protecció.

## Àrea de treball

L'àmbit de treball és tota l'extensió de la massa 33, Fluviodeltaic del Baix Ter, constituïda pels aqüífers superficials de la cubeta de Celrà i de la plana al·luvial del Baix Ter i Daró i l'aqüífer profund de la plana al·luvial del Baix Ter (figura 1).

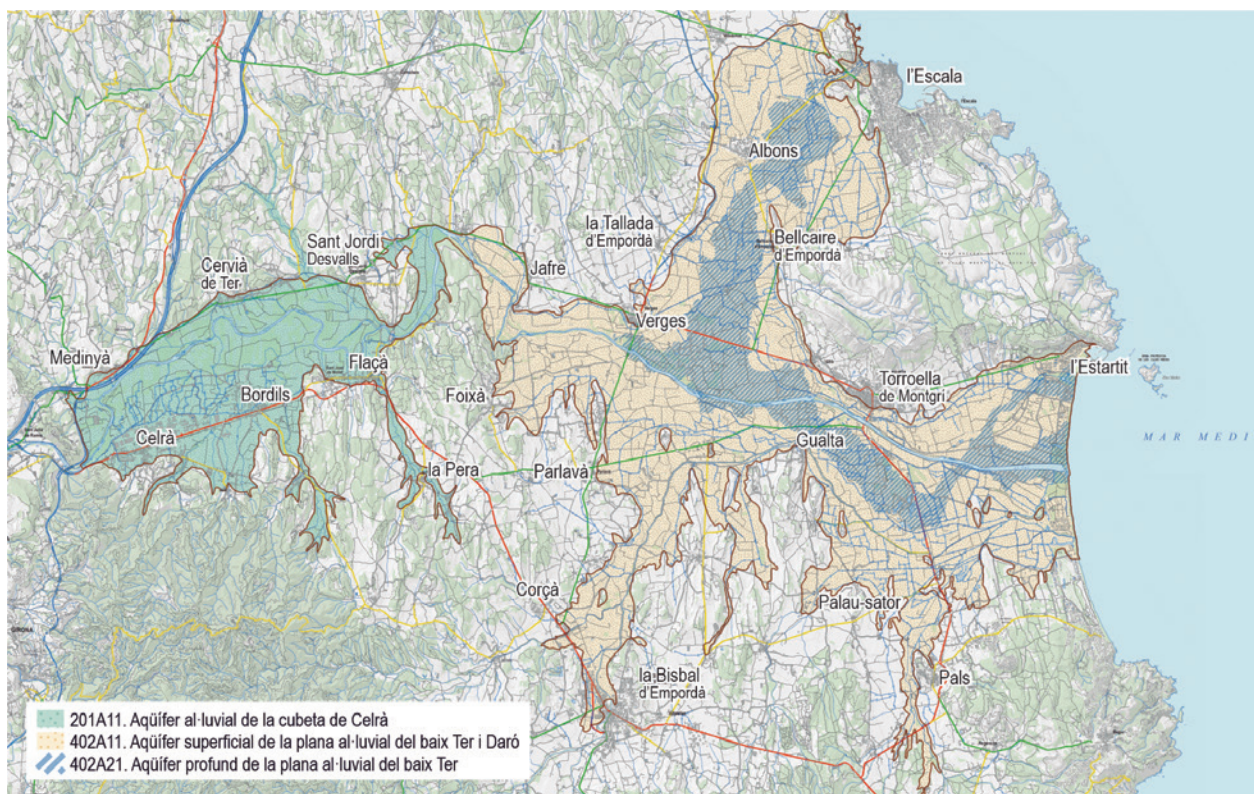


Figura 1. Àmbit del treball. Font: Elaboració pròpia.

## Marc geològic i hidrogeològic

### Geologia

El context geològic en què està situada la massa d'aigua subterrània 33 (figura 2) permet diferenciar dos tipus d'unitats geomorfològiques:



- les unitats al·luvials de la plana del Baix Ter, més la plana del Daró i Rissec, el corredor d'Albons fins a l'Escala i el corredor de Palafrugell, i
- les unitats de substrat, que constitueixen els límits exterior i basal de la massa 33 on s'emmotllen les unitats al·luvials referides.

Els límits S i W de la massa queden definits per les unitats de substrat de les Pregavarres, d'edat paleògena i neògena, i per les Gavarres, d'edat paleozoica. Al N, en el sector d'Empúries, la massa 33 limita amb la massa 32 Fluviodeltaic del Fluvià-Muga. A l'E, finalment, la plana al·luvial del Baix Ter limita amb el massís calcari del Montgrí, d'edat mesozoica, i amb el litoral de la badia de l'Estartit i de Pals (ICGC 1994,1995 i 2001).



Figura 2. Cartografia geològica del Baix Ter i activitats extractives. Font: Elaboració pròpia a partir de la cartografia de l'ICGC.

Estructuralment, els elements tectònics més característics dins l'àmbit geogràfic són,

- el sistema d'encavalcaments que constitueixen la unitat al·lòctona del Montgrí, i
- un sistema de falles normals, de direcció dominant NW-SE, originades per la tectònica distensiva que afectà la Mediterrània Occidental des de finals de l'Oligocè fins a l'actualitat.

L'evolució sedimentària posterior a la fase distensiva va conduir al desenvolupament de diversos ventalls al·luvials i deltaics des del Neogen fins al Quaternari, els quals es van dipositar a la conca per l'acció dels dominis paleohidrogràfics dels rius Ter, Daró i Fluvià, en un ambient eminentment continental. Durant els

diferents episodis de rebliment de la depressió de l'Empordà, alguns d'aquests ventalls van evolucionar fins al litoral i propiciaren el seu trànsit i la seva progradació sobre sediments de transició continental-marí i marins d'edat neògena.

Els materials que conformen el Fluviodeltaic del Baix Ter s'han dipositat per l'avulsió i al·luvionament de materials procedents principalment dels rius Ter i Daró, al llarg de dos períodes de temps compresos entre la part final del Plistocè superior i l'Holocè. Cada un d'aquests dos períodes està representat per un cos sedimentari limitat per superfícies de discordança, que respon al funcionament d'una seqüència deposicional sedimentària regulada per un cicle d'oscil·lació baixada/pujada del nivell del mar. Cada una de les seqüències està constituïda per diversos sistemes deposicionals que inclouen les principals fàcies fluvials i de transició a medis litorals.

Les dues seqüències deposicionals definides en el Baix Ter (SQT2 i SQT1) es correlacionen amb les unitats de terrassa al·luvial T2 i T1, reconegudes cartogràficament i mitjançant testificació de sondatges a la cubeta de Celrà i en el tram mitjà del riu. En el cas de la SQT1 també es diferencien els dipòsits de progradació que tanquen el cicle de pujada i estabilització del nivell del mar, i que anomenem unitat progradant o PROG. En el perfil longitudinal de la (figura 3) s'indica la disposició espacial de les dues seqüències deposicionals (SQT2 i SQT1), i també queda diferenciada la situació i disposició del cicle progradant (PROG) que rebleix la unitat SQT1 (ACA, 2008).

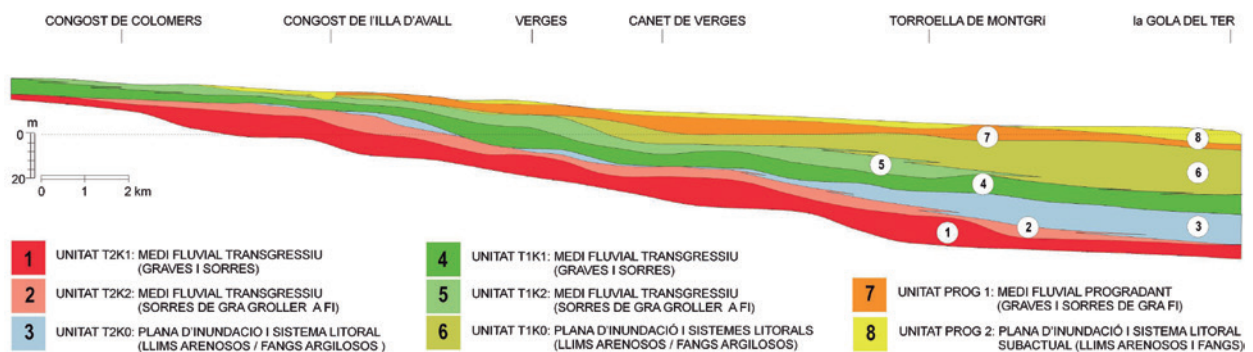


Figura 3. Perfil longitudinal de les unitats de permeabilitat de la plana al·luvial del Baix Ter.

A la zona d'estudi destaca la implantació d'extenses àrees destinades a l'extracció d'àrids, que representen una pressió alta per a la massa 33. Aquestes explotacions es concentren especialment en el tram del riu Ter comprès entre les poblacions de Bordils i Verges (figura 2).

## Hidrogeologia

En base al model geològic conceptual descrit, les diferents tipologies d'aqüífers que es poden reconèixer a l'àrea són:

- Aquífers superficials: integren els aquífers al·luvials de terrassa fluvial, els aquífers de plana al·luvial superficial (figura 4), els aquífers de vessant (al·luvial-col·luvials i de ventall al·luvial). Són aquífers granulars de tipologia lliure que estan situats en els torrents, en valls de fons planer, en les planes

al·luvials del Ter, Daró i Rissec i en els vessants que enllacen aquestes planes al·luvials amb els relleus terciaris adjacents.

- Aqüífers al·luvials profunds: corresponen als aqüífers al·luvials profunds de les planes al·luvials del Ter i el Daró (figura 4). Són aqüífers granulars i de tipologia confinada o semi confinada.

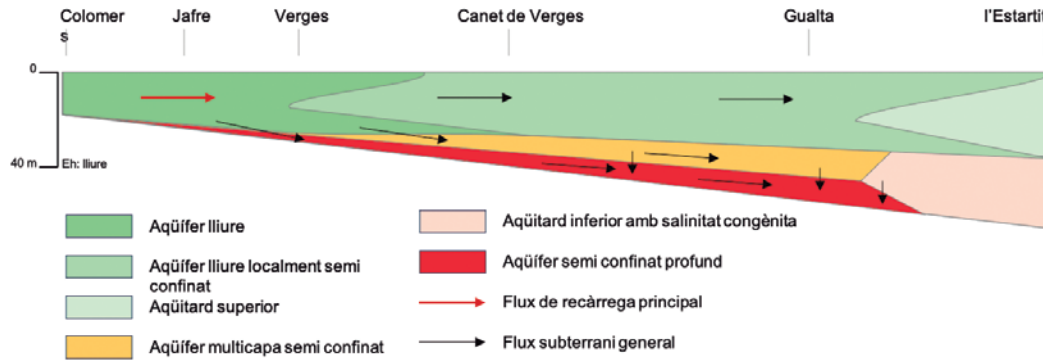


Figura 4. Esquema simplificat del comportament hidrogeològic. Font: Elaboració pròpia.

Del conjunt del coneixement hidrogeològic del Baix Ter, destaca l'existència d'una relació de tipus influent entre el riu i l'aqüífer localitzada en el sector proximal de la plana entre les poblacions de Colomers, Jafre i Verges. Des d'aquesta zona es transfereix la major part de la recàrrega subterrània als aqüífers, especialment el semi confinat profund, de la plana al·luvial (ACA, 2012).

## Metodologia

Els treballs que es descriuen a continuació s'han dut a terme d'acord amb l'Estudi de base per a l'establiment de criteris d'avaluació de les extraccions d'àrids a Catalunya (ACA, 2010), que va desenvolupar una metodologia (ACA, 2002) per aplicar a qualsevol territori de Catalunya els principis de correcta gestió de les activitats extractives en relació amb les aigües superficials i subterrànies, i que comptà amb una zona pilot a l'àmbit del riu Manol entre Figueres i Fortià.

Els criteris hidrogeològics desenvolupats en el treball de referència permeten fraccionar un territori concret, amb potencial divers per a l'explotació dels recursos minerals (àrids i roques d'interès industrial), en tres àrees:

- Zones d'exclusió de la possibilitat de dur a terme activitats extractives.
- Zones de restricció de la possibilitat de dur a terme activitats extractives.
- Zones d'explotació d'àrids condicionades a una profunditat màxima d'extracció admissible.

En els subapartats que segueixen es descriuen els criteris i les bases cartogràfiques utilitzades per determinar la zonificació de la massa d'aigua subterrània 33, que serveix de fonament per definir les àrees específiques del programa de protecció dels aqüífers i els seus graus d'exclusió i/o de restricció d'activitats extractives, segons les seves especificitats de protecció.



## Zones d'exclusió

Són les zones on no és permesa l'extracció d'àrids. Es considera que són zones d'exclusió aquelles que es troben dins les situacions que es relacionen a continuació en funció de criteris fonamentats amb la piezometria, la geologia, àrees d'interès ambiental, infraestructures (pous d'abastament), etc.

### Piezometria

La modelització matemàtica vigent dels aqüífers de la massa 33 (JCUABT) en el moment de dur a terme els treballs reproduïx la seva evolució piezomètrica pel període 2000-2007 amb uns valors de nivell alt (no màxim i descartant els cons de depressió) que, a la pràctica i amb diferències centimètriques, es repeteixen anualment.

D'acord amb el criteri de garantia de protecció del nivell piezomètric i d'acord amb les pautes de l'estudi per a l'establiment de criteris d'avaluació de les extraccions d'àrids de l'ACA, s'han obtingut les dades de la piezometria de nivell alt representativa del sector (figura 5) corresponents a la modelització matemàtica (vigent), les quals s'han pres com a piezometria de base sobre la qual determinar el criteri d'exclusió relacionat amb:

- **Àrees de plana al·luvial litoral amb cota del nivell freàtic igual o inferior a 2,50 msnm:** aquest criteri d'exclusió es proposa per a protegir els aqüífers superficials de les àrees litorals. S'adopta una àrea de salvaguarda litoral que comprendrà els terrenys que presenten una cota del nivell freàtic de valor igual o inferior a 2,5 msnm. És una mesura preventiva per a incrementar la protecció de la zona no saturada litoral, no interferir en la recàrrega neta d'aquesta àrea, i en conseqüència, mantenir el gradient natural de descàrrega, la contenció de la falca salina litoral i l'alimentació dels espais humits i llacunes litorals.

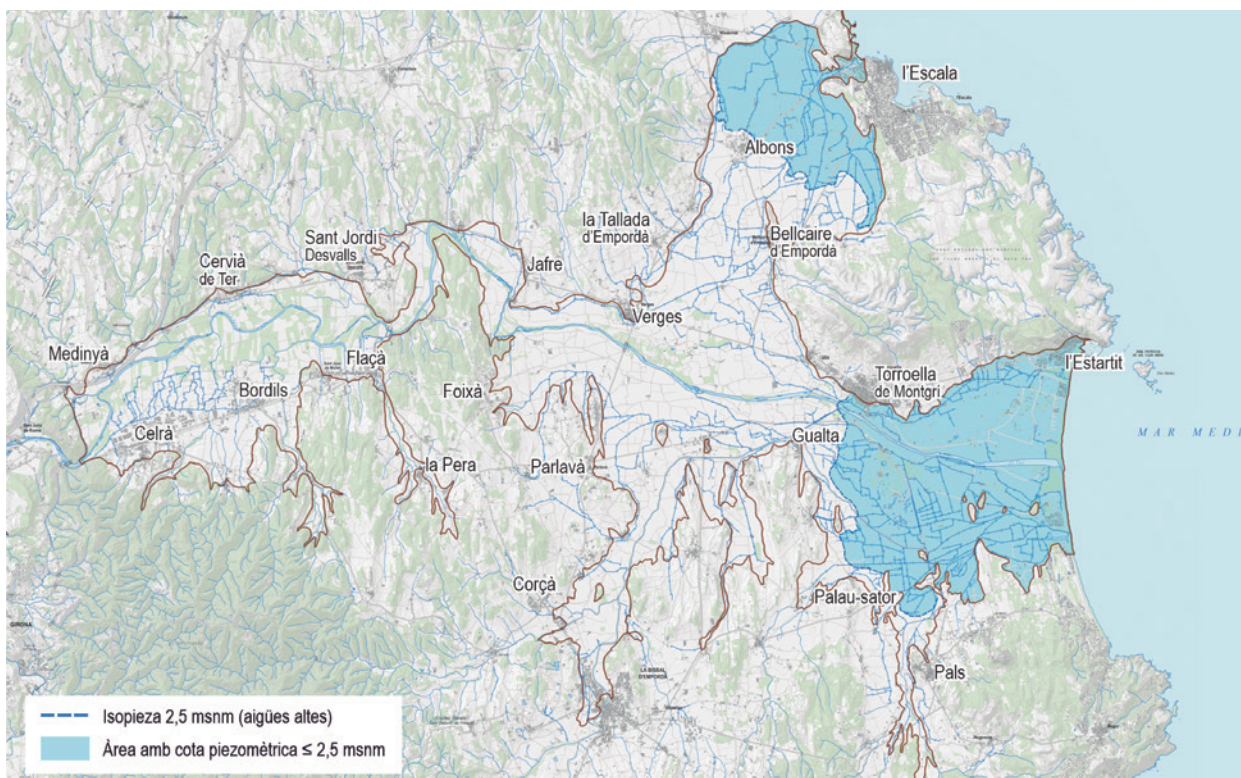


Figura 5. Àrees de plana al·luvial amb cota piezomètrica  $\leq 2,5$  msnm. Font: Elaboració pròpia.

## Geologia

Els fulls del mapa geològic de Catalunya a escala 1:25.000 que formen part del projecte Mapa Geològic de Catalunya a escala 1:25.000 MGC25M són la base sobre la qual s'emmarca el model conceptual geològic, hidrològic i hidrogeològic del Baix Ter. En aquest cas, la informació que conté s'ha utilitzat per determinar les zones d'exclusió corresponents a:

- **Àrees endorreiques i palustres tant interiors com litorals** (figura 6): són àrees que presenten diferents gradacions d'endorreisme i inundació, podent presentar un nivell freàtic a poca profunditat i aigües més o menys temporànies en determinades èpoques de l'any o en determinats anys. En general, són àrees d'interès natural regulades per altres figures de protecció i sense interès per a l'extracció d'àrids, de manera que no té sentit plantejar-se la seva explotació.

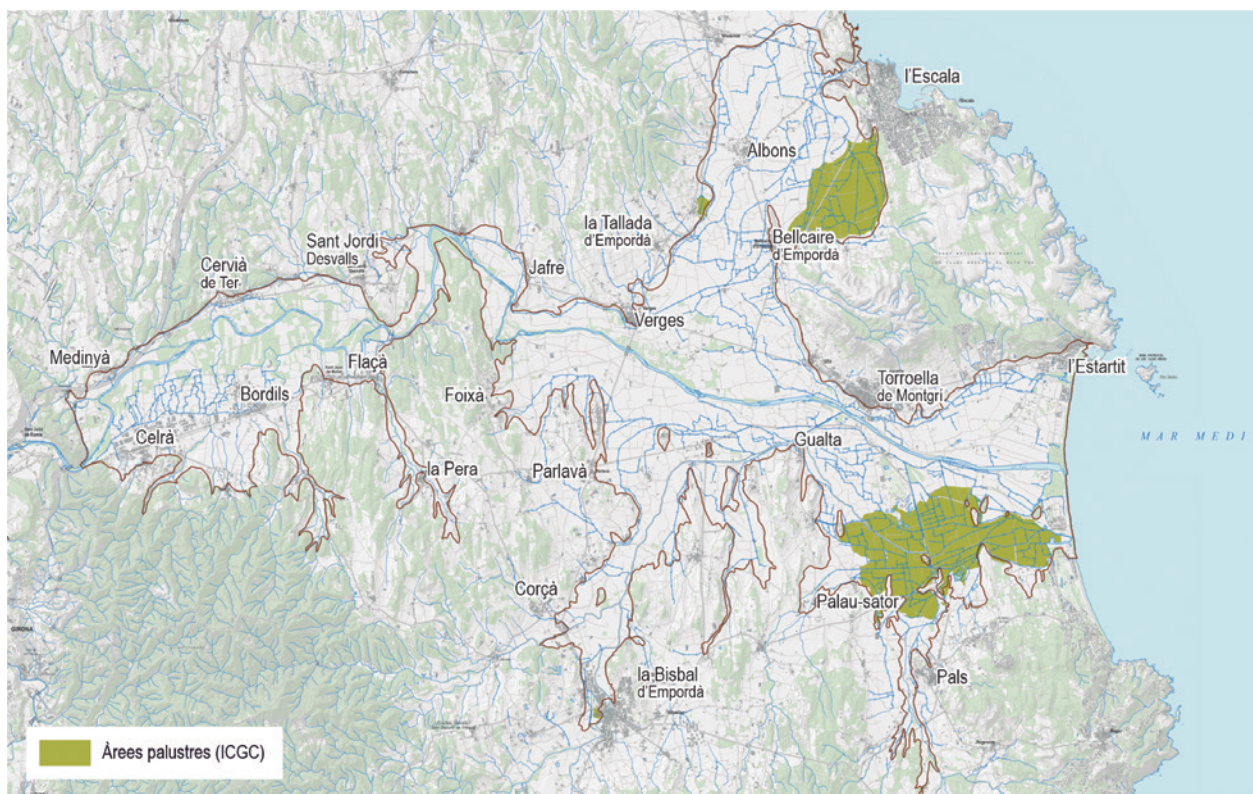


Figura 6. Àrees endorreiques i palustres. Font: Elaboració pròpia amb les dades de ICGC.

- **Àrees dunars i platges associades a sistemes d'aiguamolls litorals** (figura 7): corresponen a àrees amb desenvolupament d'unitats dunars i sistemes de platges litorals i maresmes que formen part del sistema d'aiguamolls litorals. Per tant, no es consideren les dunes sense continuïtat física amb el litoral (sistemes dunars interiors). Aquests sistemes dunars es caracteritzen per la seva fragilitat i per la funció barrera respecte a la salinització litoral. Són àrees singulars regulades també per altres figures de protecció i tampoc té sentit l'establiment de l'activitat extractiva.





Figura 7. Platges, àrees dunars litorals i maresmes. Font: Elaboració pròpia amb les dades de ICGC.

### Zones humides

D'acord amb les delimitacions establertes a les bases cartogràfiques de l'Inventari de zones humides de Catalunya elaborat pel Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya, es determinen les àrees d'exclusió corresponents a aigües superficials i àrees circumdants (figura 8):

- **Àrees amb superfícies d'aigua lliure i zones humides:** fan referència a qualsevol àmbit amb presència d'aigua superficial, bé permanent bé temporània. No s'inclou en aquesta definició els rius i torrents, els embassaments, preses de retenció de sediments i àmbits amb retenció d'aigua causada per rescloses i d'altres infraestructures fluvials; aquests casos s'avaluen en altres punts.
- **Àmbits circumdants d'elements hidrològics singulars (d'origen natural) inclosos els d'inundació temporal i recurrent amb superfícies d'aigua lliure:** es pretén establir una mesura de protecció física entre els elements referenciats d'origen natural, com els àmbits adjacents a llacunes endorreiques interiors o àmbits d'inundació temporal situats en zones al·luvials i una possible actuació extractiva. La delimitació s'estableix mitjançant una franja de 25 metres entorn de les àrees cartografiades en l'Inventari de zones humides de Catalunya.

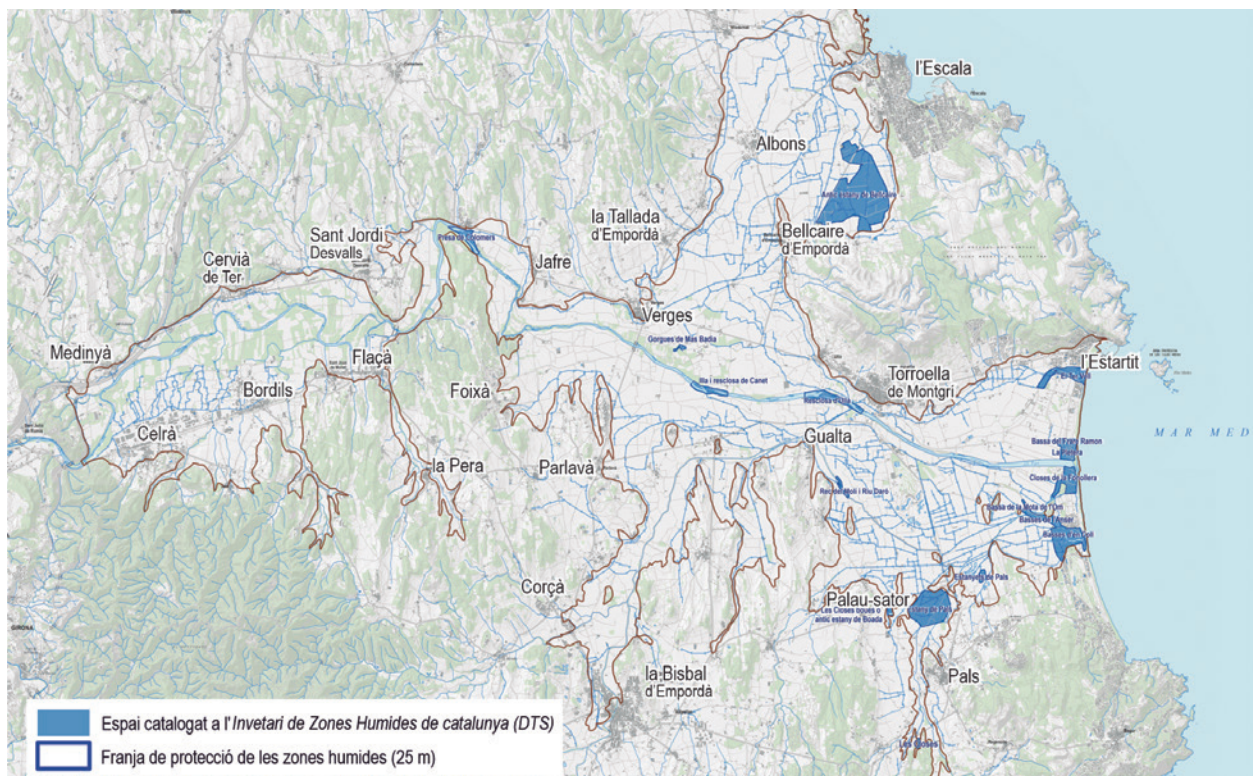


Figura 8. Zones humides i àmbits circumdants. Font: Elaboració pròpia a partir de l'Inventari de zones humides de Catalunya (DTS).

### Perímetres de protecció i de salvaguarda de captacions

La preservació del recurs hídric subterrani passa per la correcta protecció de l'aquífer que el conté, però també per les infraestructures de captació que puguin existir. A Catalunya la protecció de les captacions municipals compta amb dues figures, els perímetres de protecció i les zones de salvaguarda, recollides pel Pla de Gestió del Districte de Conca Fluvial de Catalunya (ACA, 2n cicle de planificació 2016-2021). D'aquesta manera, es considera l'emplaçament dels abastaments per tal de determinar com a àrees d'exclusió els perímetres de protecció de les captacions i les àrees de salvaguarda (figura 9). Els perímetres i àrees de salvaguarda són definits a partir dels límits establerts al Pla de Gestió (Annex IX Zones Protegides) i futurs.

Per aquells proveïments en què no s'hagin definit els perímetres de protecció o les àrees de salvaguarda específics al Pla de Gestió, inclosos els futurs abastaments sense perímetre definit, s'aplica un àmbit d'exclusió de 300 m de radi entorn de cada captació.

La determinació d'aquest radi de protecció és coherent amb els valors proposats per l'ACA en el document "Criteris tècnics supletoris per a la determinació dels perímetres de protecció" (Zona II de formacions no fissurades), i als valors assignats a la Cartografia de zones de salvaguarda de les captacions de proveïment municipal al Pla de Gestió.

A partir de les pautes de l'estudi de base per a l'establiment de criteris d'avaluació de les extraccions d'àrids de l'ACA, aquestes zones corresponen a:



- **Àrees incloses dins perímetres de protecció i àrees de salvaguarda de captacions de proveïment municipal:** Aquest criteri constitueix una mesura bàsica de protecció de la hidrodinàmica i la qualitat entorn de les captacions de proveïment municipal.

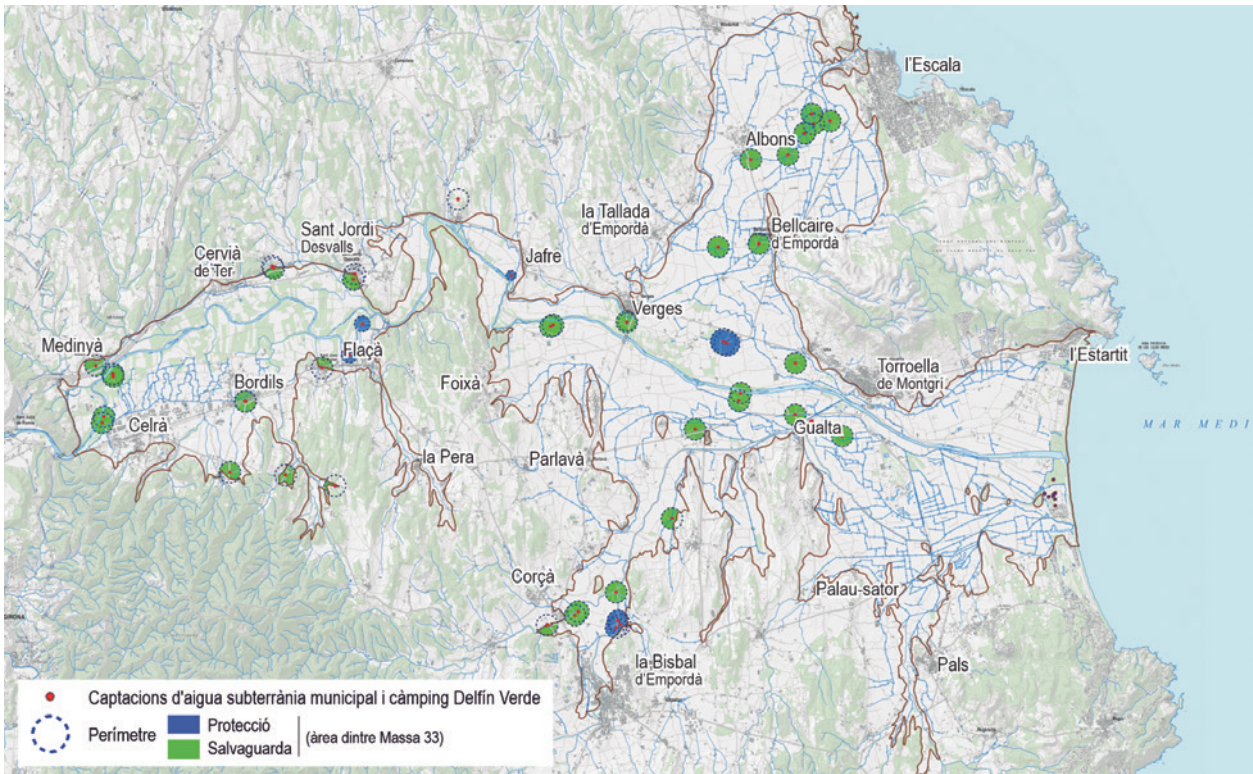


Figura 9. Perímetres de protecció i salvaguarda de les captacions municipals. Font: Elaboració pròpia i PGDCFC (2n cicle).

A la Taula 1, es relacionen els proveïments inclosos en aquest criteri d'exclusió, especificant el radi i l'origen del perímetre cartografiat.

BDH	NOM	UTM X (ETRS89)	UTM Y (ETRS89)	RADI (m)	FONT
17022-0027	POU FORALLAC	50347751	464769316	300	Perímetre de protecció (A)
17022-0026	POU NOU CASTELL	50342712	464748890	300	Perímetre de protecció (A)
17199-0060	CÀMPING DELFÍN VERDE (9)	51548554	465129611	30	Perímetre de protecció (A)
17199-0061	CÀMPING DELFÍN VERDE (10)	51548854	465129811	30	Perímetre de protecció (A)
17199-0016	CÀMPING DELFÍN VERDE (2)	51578254	465113611	30	Perímetre de protecció (A)
17199-0029	CÀMPING DELFÍN VERDE (6)	51578654	465131211	30	Perímetre de protecció (A)
17199-0017	CÀMPING DELFÍN VERDE (1)	51578954	465095311	30	Perímetre de protecció (A)
17199-0062	CÀMPING DELFÍN VERDE (8)	51559654	465121111	30	Perímetre de protecció (A)
17199-0015	CÀMPING DELFÍN VERDE (7)	51559754	465120911	30	Perímetre de protecció (A)
17199-0063	CÀMPING DELFÍN VERDE (5)	51572954	465122711	30	Perímetre de protecció (A)



BDH	NOM	UTM X (ETRS89)	UTM Y (ETRS89)	RADI (m)	FONT
17199-0018	CÀMPING DELFÍN VERDE (4)	51573655	465170011	30	Perímetre de protecció (A)
17199-0014	CÀMPING DELFÍN VERDE (3)	51574954	465128211	30	Perímetre de protecció (A)
17199-0068	CÀMPING DELFÍN VERDE (3 BIS)	51574954	465128411	30	Perímetre de protecció (A)
17067-0020	POU CAMP DE FUTBOL - FLAÇA	49659654	465515526	50	Perímetre de protecció (A)
17085-0023	POU DE JAFRE (Pou Nou del Pla de l'Illa)	50047443	465750374	135	Perímetre de protecció (A)
17067-0001	POU ILLA	49628529	465612625	220	Perímetre de protecció (A)
17067-0013	POU PAU CASALS	49592316	465524268	225	Perímetre de protecció (A)
17211-0025	POU 1 DE VERGES (bessons)	50373563	465617866	250	Perímetre de protecció (A)
17195-0019	POU CANET 1 (Torroella de Montgrí)	50644699	465562480	360	Perímetre de protecció (A)
17195-0028	POU CANET 2 (Torroella de Montgrí)	50654616	465557062	360	Perímetre de protecció (A)
17081-0030	POU GUALTA NOU A-1 (Palafrugell)	50893637	465335619	Àrea de recàrrega	Perímetre de protecció (A)
17022-0023	POU VELL CASTELL D'EMPORDÀ	50354500	464757800	300	Zona de salvaguarda (A)
17166-0006	POU VELL SANT JORDI DESVALLS	49603400	465739200	300	Zona de salvaguarda (A)
17057-0014	POU 2 (INTERIOR) DE CAN BASSA	50227250	464784121	300	Zona de salvaguarda (A)
17068-0018	-	50165156	465609023	300	Zona de salvaguarda (A)
17057-0006	POU 1 (MAISBE)	50343063	464850104	300	Zona de salvaguarda (A)
17018-0013	POU DE LA FONT DE MONTSERRAT	50744811	465840473	300	Zona de salvaguarda (A)
17205-0012	POU DIPÒSIT ULLASTRET (Les Salades)	50499908	465059466	300	Zona de salvaguarda (A)
17049-0021	POU NORIA EXTERN	48896422	465331239	300	Zona de salvaguarda (A)
17049-0012	POU NORIA INTERN	48896915	465330588	300	Zona de salvaguarda (A)
17173-0007	POU ST MARTÍ	49412718	465182657	300	Zona de salvaguarda (A)
17191-0054	POU 1 DE SERRA	50565206	465312962	300	Zona de salvaguarda (B)
17057-0034	POU 2 (MAISBE)	50236113	464795150	300	Zona de salvaguarda (B)
17211-0013	POU 2 DE VERGES (bessons)	50372763	465618066	300	Zona de salvaguarda (B)
17057-0031	POU 3 (MAISBE)	50148563	464756604	300	Zona de salvaguarda (B)
17049-0036	POU CAMÍ DE MOLINS (NOU)	48901252	465348732	300	Zona de salvaguarda (B)
17062-0004	POU COMUNS 1	50893296	466209331	300	Zona de salvaguarda (B)
17062-0070	POU COMUNS 2	50898649	466181188	300	Zona de salvaguarda (B)
17068-0050	POU DE FOIXÀ	50157970	465604986	300	Zona de salvaguarda (B)
17195-0031	POU DE LA TALLADA	50630218	465831132	300	Zona de salvaguarda (B)
17169-0041	POU DE MEDINYÀ	48878041	465494411	300	Zona de salvaguarda (B)
17168-0014	POU DE SANT JOAN	49515357	465487263	300	Zona de salvaguarda (B)
17004-0017	POU ETAP ALBONS	50722015	466079792	300	Zona de salvaguarda (B)
17204-0037	POU ETAP ULLÀ	50847549	465500564	300	Zona de salvaguarda (B)
17070-0049	POU FONTANILLES-ETAP	50688385	465394400	300	Zona de salvaguarda (B)
17070-0069	POU FONTANILLES-RIU	50693421	465415885	300	Zona de salvaguarda (B)
17081-0018	POU GUALTA (Poble)	50846768	465354266	300	Zona de salvaguarda (B)
17081-0012	POU GUALTA (Torroella)	50978968	465293766	300	Zona de salvaguarda (B)
17087-0027	POU JUIÀ	49255908	465191145	300	Zona de salvaguarda (B)

BDH	NOM	UTM X (ETRS89)	UTM Y (ETRS89)	RADI (m)	FONT
17062-0005	POU NICETO (en reserva)	50945383	466189411	300	Zona de salvaguarda (B)
17025-0010	POU NOU	49300200	465392200	300	Zona de salvaguarda (B)
17166-0005	POU NOU	49603242	465739033	300	Zona de salvaguarda (B)
17049-0039	POU ORRIOLS GRAN (Fora servei)	48926973	465470865	300	Zona de salvaguarda (B)
17049-0024	POU ORRIOLS NOU	48926569	465469346	300	Zona de salvaguarda (B)
17049-0017	POU ORRIOLS PETIT	48927673	465462770	300	Zona de salvaguarda (B)
17050-0015	POU RASET NOU	49375473	465776149	300	Zona de salvaguarda (B)
17050-0012	POU RASET VELL	49379111	465769866	300	Zona de salvaguarda (B)
17018-0010	POU SANT CRIST	50826319	466092977	300	Zona de salvaguarda (B)
17004-0007	POU SIFONS 1 (en reserva)	50873415	466154246	300	Zona de salvaguarda (B)
17004-0070	POU SIFONS 2	50873915	466155146	300	Zona de salvaguarda (B)
17025-0005	POU VELL	49298900	465392300	300	Zona de salvaguarda (B)
17166-0003	POU VELL	49607628	465754263	300	Zona de salvaguarda (B)
17173-0016	POU VILOSA (fora de servei)	49551951	465152727	300	Zona de salvaguarda (B)
17081-0008	POU GUALTA NOU B-2 (Palafrugell)	50893514	465332243	Àrea de recàrrega	Zona de salvaguarda (B)
17081-0077	POU GUALTA NOU C-3 (Palafrugell)	50890216	465333526	Àrea de recàrrega	Zona de salvaguarda (B)

Taula 1. Emplaçament de les captacions municipals i d'abastament d'aigua potable del càmping Delfín Verde. (A): Perímetre de protecció o Zona de salvaguarda establert a l'Annex 9 (PGDCFC: 2n cicle) i (B): Zona de salvaguarda establert en el present estudi.

### Ribera fluvial salina

Aquesta zona d'exclusió es relaciona amb l'àrea al·luvial dels rius Ter i Daró Vell que puguin presentar valors anòmals de salinitat a conseqüència de la seva proximitat al litoral.

En no poder estimar la salinització en la ribera fluvial i establir l'exclusió en tota la superfície en què les aigües subterrànies mostrin valors anòmals de salinització, s'adopta l'àmbit d'exclusió en tota l'extensió del tram dels rius que es consideren potencialment salinitzats (figura 10).

D'aquesta manera, s'ha determinat una franja de 100 m d'amplada paral·lela al tram de llera fluvial salinitzada (a banda i banda dels rius i comptada des de la delimitació del talús de la llera), en un tram comprès entre el domini públic hidràulic de la costa fins a la isolínia de 250 [Cl<sup>-</sup>] mg/L de la intrusió salina en l'aqüífer superficial:

Àrees de ribera fluvial salines o associades a un tram de riu amb valors anòmals de salinitat: L'aplicació d'aquest criteri s'estableix amb la finalitat de determinar mesures per evitar la salinització de l'aqüífer amb aigües superficials de drenatge d'afloraments salins i trams litorals dels rius amb comportament estuari o oberts als efectes d'episodis de llevantada.

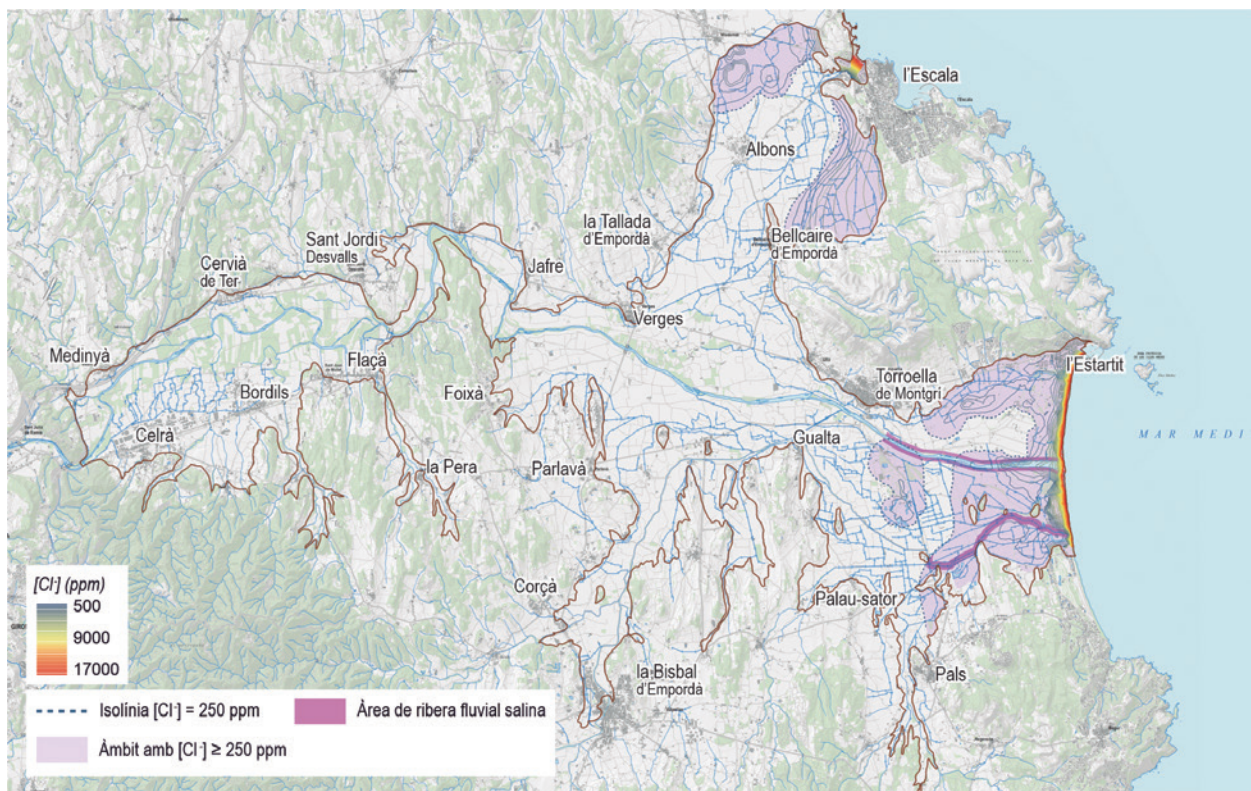


Figura 10. Àrea de ribera fluvial salina. Font: Elaboració pròpia.

### Àrees de recàrrega principal

Són les àrees on es constata una connexió entre les diferents unitats permeables de la plana. En general, són àrees que cal identificar expressament i que estan situades en les parts proximals de les planes al·luvials. En aquesta ubicació, la no presència de tram llim-argilós intermedi típic de les planes al·luvials facilita el procés de recàrrega des del riu a les unitats permeables superficials, i la seva posterior transmissió al conjunt de l'aquífer.

El sector comprès entre el congost de Colomers fins passat el congost de l'Illa d'Avall, entre Foixà i Verges, correspon a la principal àrea de recàrrega de tot el sistema fluviodeltaic del Baix Ter, tant pel que respecte a l'àmbit de tipologia lliure com el de tipologia semi confinada.

En aquesta part de la massa d'aigua 33, tota la vertical està formada per les terrasses T2 (subjacent) i T1/plana al·luvial constituïdes per fàcies granulars sobreposades i amb comportament conjunt d'aquífer lliure. Aquesta connexió es manté fins poc més aigües avall abans de diferenciar-se dos paquets detrítics separats per sediments llims-argilosos de baixa permeabilitat que determinen un comportament lliure –pel paquet superior- i semi confinat –pel paquet inferior.

El Pla de gestió del districte de conca fluvial de Catalunya (Annex IX Zones Protegides; Taula 27. ACA, 2n cicle de planificació 2016-2021) declara com a zona de protecció especial aquesta àrea de recàrrega de la massa d'aigua subterrània 33 del Baix Ter.



D'acord amb les relacions geomètriques descrites per les unitats permeables quaternàries, la zona de recàrrega contemplada en el Pla de gestió es pot subdividir en una de més extensa, arealment corresponent a l'aqüífer superficial, i una de menor extensió, que actua com a àrea de recàrrega de l'aqüífer semi confinat que es desenvolupa més a l'E (figura 11).

Àrees de recàrrega principal dels aqüífers de les planes al·luvials: Es considera prioritària l'exclusió de les zones de recàrrega principal de l'aqüífer profund, amb l'objectiu de garantir la seva màxima protecció, i evitar interferències i barreres respecte a la dinàmica natural de les aportacions.

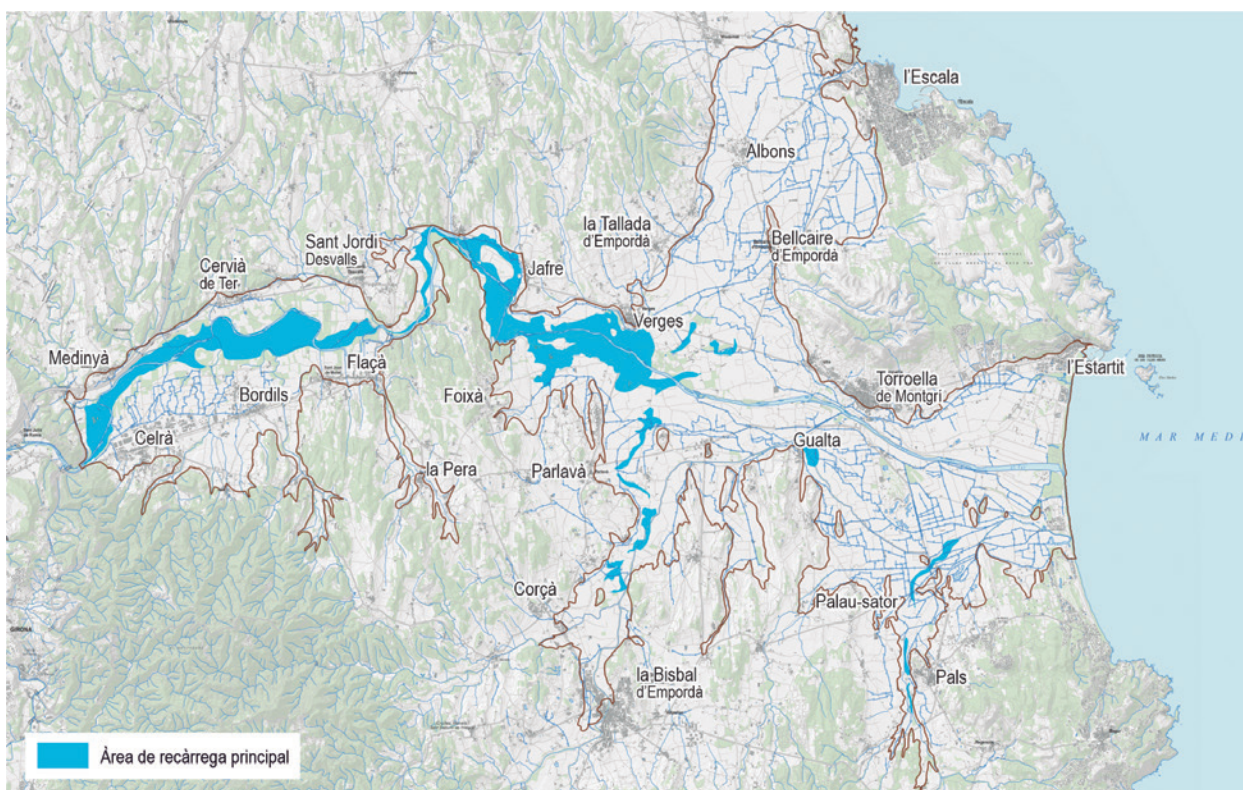


Figura 11. Àrea de recàrrega del fluviodeltaic del Ter. Font: Elaboració pròpia i dades de l'annex IX del PGDCFC (2n cicle).

### Àmbits de ribera

Aquest criteri d'exclusió es refereix a àmbits vinculats a la ribera fluvial, especialment a aquells que presenten elements de protecció hidràulica, com per exemple les motes i esculleres, i a la plana al·luvial on el riu manté una dinàmica de tipus influent en relació amb l'aqüífer al·luvial adjacent. La ribera fluvial correspon a la porció de terrenys immediatament adossada al límit de la llera fluvial o escarpament de la terrassa T1. S'aplica una franja de protecció de 25 m al voltant de la llera (figura 12).

Tanmateix, en els cursos de règim general influent, aquesta franja s'amplia fins als 100 m. Aquesta restricció s'aplica en tots els cursos fluvials excepte en el riu Ter. En aquest cas, en existir trams alterns influents i efluentes, la franja de seguretat variarà. En els trams influents es mantindrà, com a la resta de cursos, una banda de protecció de 100 m, mentre que en els trams efluentes aquesta es mantindrà en els 25 m. Els trams influents o efluentes del Ter s'obtenen a partir del model matemàtic vigent (figura 13) en el moment de dur a terme els treballs.

En els cursos fluvials on estigui definit el domini públic hidràulic es comptarà a partir d'aquest, mentre que per aquells en què no està definit, la banda de seguretat es fixa a partir del límit cartogràfic de la llera fluvial segons la definició del Reglament del Domini Públic Hidràulic (figura 14).

Queden excloses d'aquest criteri, aquelles actuacions ordenades per la mateixa administració hidràulica amb destinació a minimitzar els riscos de les inundacions.

- Àmbits de ribera, incloent-hi els que presenten infraestructures i elements de protecció hidràulica: la finalitat d'aquest criteri és establir una banda física de protecció de ribera, entre la llera fluvial i l'excavació d'una determinada extracció d'àrids. Aquesta protecció comporta també l'establiment d'una franja contínua de connexió mínima entre el riu i l'aqüífer.

Així, aquest criteri pretén evitar la creació de barreres hidrodinàmiques permanents entre el riu i l'aqüífer en els trams influents i mantenir inalterada la dinàmica influent deixant finestres d'expansió de la recàrrega.

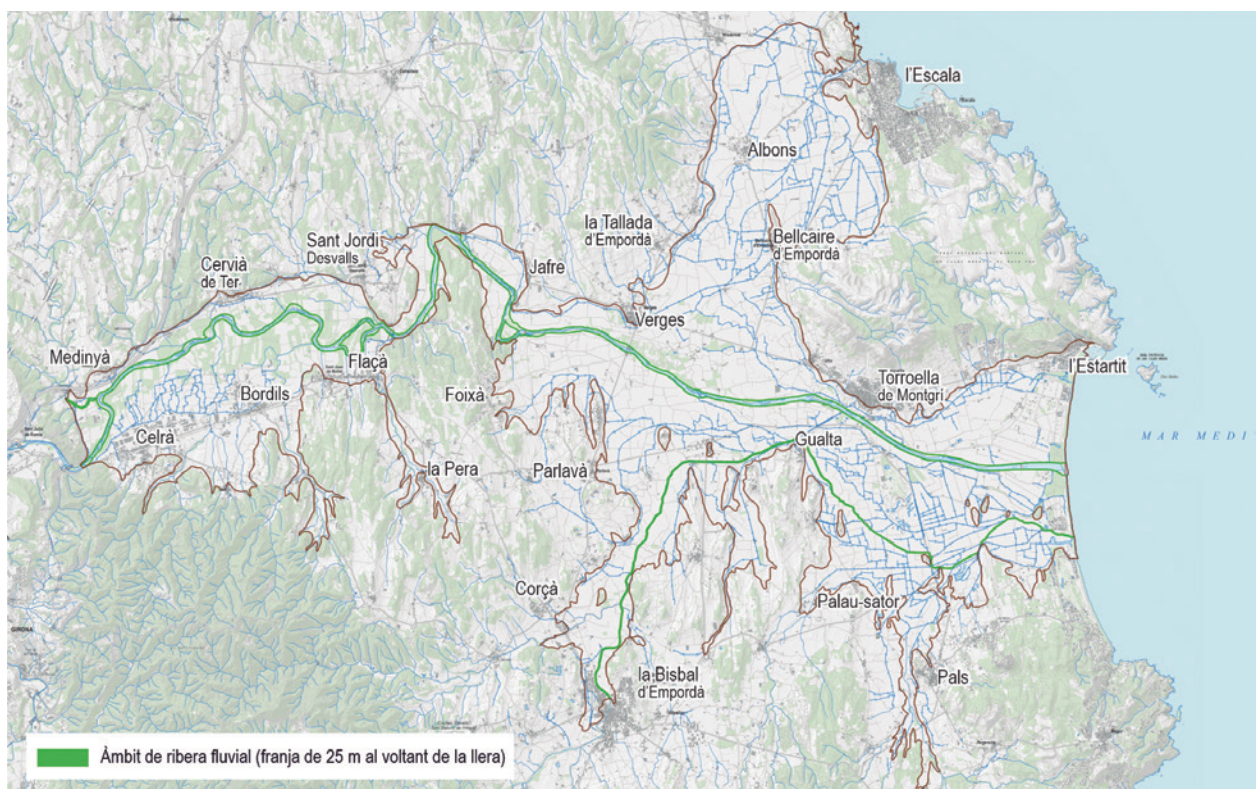


Figura 12. Àmbits de ribera fluvial. Font: Elaboració pròpia.



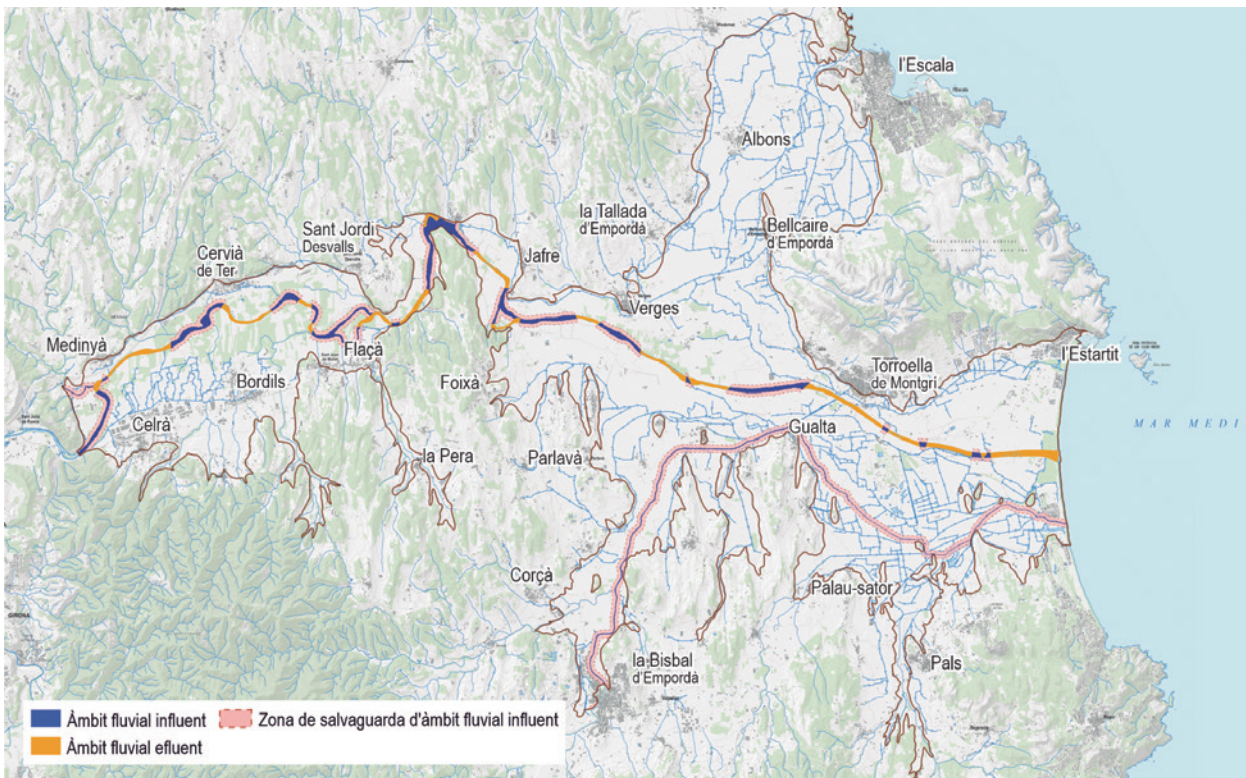


Figura 13. Àrees de protecció d'àmbits de ribera en trams fluvials influents. Font: Elaboració pròpia.



Figura 14. Lleres amb el Domini Públic Hidràulic definit. Font: Elaboració pròpia i ACA (2020).

## Zones de restricció

Corresponen a àrees a priori excloses de l'extracció d'àrids, però que en consideració a determinats aspectes de seguretat hidràulica, ecològiques, ambientals, hidrològiques, o de qualsevol altre tipus, mentre estigui adequadament justificat, poden passar a ser zones d'extracció condicionada. També inclou els casos en què inicialment s'admet l'extracció, però que, pels mateixos motius anteriors es pugui considerar la necessitat d'aplicar una determinada restricció. La consideració de zones de restricció s'aplicarà en els casos que es descriuen a continuació.

### Gestió del sediment fluvial

L'àmbit fluvial es considera com a una zona d'exclusió, però en determinades circumstàncies pot passar a ser una zona d'extracció condicionada. Aquestes zones de restricció s'associen a les lleres fluvials (àmbits amb renovació de sediment) i a trams fluvials propers a la desembocadura en què habitualment es manifesten problemes d'intrusió marina.

Per a projectes justificats d'intervenció sobre aquestes zones, que no es cartografien, cal remetre's a l'aplicació metodològica establerta en les 'Directrius de gestió del sediment fluvial' (ACA, 2008) on es proposa un model per a la gestió de l'espai fluvial amb relació a l'activitat extractiva, principalment en les zones de renovació de sediment.

En el document de directrius es reflecteixen els conceptes i principis que justifiquen la restricció de l'extracció d'àrids en les lleres fluvials dels rius de Catalunya, i únicament es reserva l'extracció d'àrids dins la llera fluvial per a casos singulars i a proposta de l'organisme de gestió hidràulica o a instàncies de l'administració local.

Així, a fi de preservar al màxim la morfodinàmica fluvial, només poden atorgar-se autoritzacions per l'extracció d'àrids en lleres en casos molt puntuals, quan sigui l'única solució per resoldre problemes locals d'inundabilitat o bé en cues d'embassaments/rescloses o en zones amb fenòmens d'acreció ocasionats per causes antròpiques, o bé per raons d'utilitat pública de l'extracció, determinada de comú acord per l'ACA i l'Administració Minera.

Concretament, les àrees i les justificacions d'aquestes restriccions són:

- **Lleres de cursos fluvials de qualsevol ordre (àmbits fluvials amb renovació del sediment fluvial):** en el cas d'extraccions dins la llera fluvial es pretén evitar la incisió del llit i la seva repercussió sobre el drenatge de l'aqüífer i la seva recàrrega.
- **Trams fluvials amb cota de la base de la llera igual o inferior a 0 msnm:** aquest criteri constitueix una mesura de protecció de l'aqüífer davant la potencial salinització. Així, la restricció es justifica per tal d'evitar la progressió de la falca salina estuarina i la salinització de l'aqüífer de ribera litoral.

## Restauració ambiental

Fa referència a àmbits relacionats amb antigues zones d'inundació, lleres fluvials antigues, zones de meandre i d'altres àmbits fluvials singulars (actius o inactius), que puguin ser de consideració per a la realització de projectes de restauració ecològica, ambiental, hidrològica o projectes específics d'interès públic. Aquesta consideració es pot estendre també a zones hidrològicament singulars inicialment catalogades com d'exclusió, en el cas que l'interès públic i els arguments de millora de la gestió hidrològica quedin adequadament justificats. L'estudi de base per a l'establiment de criteris d'avaluació de les extraccions d'àrids de l'ACA defineix aquestes àrees com a:

- **Àmbits amb potencial interès per a la seva restauració ambiental, hidrològica o el desenvolupament d'actuacions d'interès públic:** aquestes zones tampoc es cartografien, ja que la restricció vindrà condicionada a la valoració ambiental de l'actuació proposada. De fet, la restricció s'aplica amb l'objectiu d'avaluar específicament les actuacions a realitzar en l'àmbit singular en qüestió.

## Zones d'explotació

En aquestes àrees és permesa l'extracció d'àrids però condicionada a una profunditat màxima d'extracció admissible. Inclou totes les zones que no hagin estat catalogades com a zones d'exclusió i tots els escenaris particulars de restricció en què s'admeti el desenvolupament de projectes d'extracció d'iniciativa privada.

La consideració de les zones d'explotació no comporta, en cap cas, que en aquestes zones es pugui donar per suposada l'existència del recurs àrid en quantitat i qualitat suficient per a la seva explotació. En qualsevol cas, les activitats extractives no podran generar afeccions a tercers ni a infraestructures existents, fet que caldrà justificar tècnicament amb un estudi de no afecció si es preveuen possibles interferències.

## Àmbits vinculats a la dinàmica fluvial

Els àmbits vinculats a la dinàmica fluvial agrupen aquelles unitats amb potencialitat per a l'extracció d'àrids que estan connectades hidràulicament amb el riu o, si no n'hi ha, amb el nivell de base de la llera fluvial. En general, compleixen aquesta condició les unitats de terrassa baixa d'edat T1, subactual i actual, i parcialment les d'edat T2. L'activitat extractiva que s'instaura normalment en aquestes unitats és l'explotació en gravera.

La protecció de l'aqüífer requereix establir una franja de salvaguarda respecte a la posició del nivell freàtic, tot definint la profunditat màxima d'explotació dels àrids. Aquesta salvaguarda, que es tradueix en un condicionant d'explotació, s'expressa com la cota absoluta més baixa que pot assolir la base de l'excavació, de tal manera, que la profunditat màxima d'excavació admissible ha de respectar una banda de resguard de 2 metres entre la base de l'excavació i el nivell freàtic.



Així, es fixa la cota màxima d'extracció admissible a partir d'afegir 2 metres de resguard a la cota piezomètrica que s'estableixi amb les dades de nivell del medi obtingudes a partir d'una xarxa de control específica. La cota piezomètrica de referència s'obtéindrà d'interpol·lar una superfície a partir del percentil 70 de les dades de nivell obtingudes del seguiment en cada punt afegint-hi els 2 metres de resguard. El resultat serà un ràster continu amb una mida de píxel de 5x5m.

Les característiques mínimes de la xarxa piezomètrica instal·lada en la potencial àrea d'explotació seran les següents:

- Nombre de punts: 1 per hectàrea, amb un mínim de 3.
- Distribució: màxima cobertura espacial i d'acord amb la direcció de flux general determinada a partir del mapa piezomètric de referència adjunt (Figura 16) (obtingut a partir de la modelització matemàtica vigent dels aqüífers de la massa 33 calibrat pel període 2000-2007).
- Profunditat: mínim fins a 3 metres dins de la zona saturada.
- Durada del control previ: mínim d'un any.
- Periodicitat de les dades: setmanal.
- Representativitat de les dades aportades: representatives del nivell estàtic no influenciades per cons de bombament propers.

La xarxa de control s'ha de mantenir durant la fase d'explotació junt amb el seu seguiment de nivells per garantir que la cota mínima d'explotació fixada compleix amb l'objectiu de protegir el medi aqüífer.

Les pautes de l'estudi de base per a l'establiment de criteris d'avaluació de les extraccions d'àrids de l'ACA, defineixen i estableixen la justificació de la salvaguarda com a:

- **Àmbit format per les unitats connectades hidràulicament amb el riu, o per defecte, amb el nivell de base fluvial:** la profunditat màxima d'extracció admissible ha de respectar la franja de resguard de 2 m entre la base de l'excavació i el nivell freàtic. Aquest resguard s'adopta com a principi de prevenció bàsica, però a la vegada, es sustenta també en les següents consideracions: s'estableix per tal d'evitar l'aflorament d'aigües subterrànies i la penetració de la isolínia 0 msnm en els aqüífers litorals, per mantenir parcialment inalterada la zona no saturada, per evitar l'alteració de l'estructura, permeabilitat i porositat natural de l'aqüífer, per protegir les condicions edàfiques naturals i per evitar la formació de barreres hidrodinàmiques en el flux natural, entre d'altres.

# Criteris i resultats

## Criteris

Del conjunt d'informació de caracterització recollida en el capítol precedent s'han extret els següents criteris que s'han traslladat a la base territorial per a definir les àrees d'exclusió, restricció i d'explotació amb fondària màxima regulada. A títol de resum, es fixen les àrees amb els següents criteris:

### **Àrees d'exclusió**

- Zones de plana al·luvial litoral amb una cota del nivell freàtic igual o inferior a 2,50 msnm.
- Dunes i sistemes de platges associades a sistemes d'aiguamolls litorals.
- Àrees endorreiques i palustres de qualsevol tipus.
- Superfícies d'aigua lliure, permanent o temporània, i franja de 25 m al seu entorn.
- Àrea de salvaguarda de 300 m entorn de les captacions de proveïment municipal o perímetre de protecció i/o àrea de salvaguarda si està definit en el Pla de Gestió del Districte de Conca Fluvial de Catalunya.
- Àrea de recàrrega de tot el sistema fluviodeltaic profund del Baix Ter.
- Franja de seguretat de 100 m entorn del Ter i el Daró Vell, en el tram de llera fluvial salinitzada.
- Franja de seguretat de 100 m entorn dels trams influents del Ter i de 25 m en els trams efluents.
- Franja de seguretat de 100 m entorn de la resta dels cursos fluvials.

### **Àrees de restricció**

- Lleres de cursos fluvials.
- Trams fluvials amb cota de la base de la llera igual o inferior a 0 msnm.
- Àmbits fluvials singulars (actius o inactius), que puguin ser d'especial interès per a la realització de projectes de restauració o específics d'interès públic.

### **Àrees d'extracció amb fondària màxima regulada**

- S'estableix un tram de protecció de 2 m entre el nivell piezomètric en aigües altes, establert amb les dades de nivell del medi obtingudes a partir d'una xarxa de control específica, i la cota absoluta de base de l'extracció.

## Resultats: mapa proposta de regulació

La combinació dels mapes temàtics i l'aplicació dels criteris a què s'ha fet referència en l'anterior apartat ha permès l'elaboració d'una cartografia de l'àmbit de la massa 33, Fluviodeltaic del Baix Ter on s'estableix, amb relació a possibles projectes d'ampliació o nova execució d'activitats extractives, la delimitació areal de les àrees d'exclusió, de restricció i amb fondària màxima regulada (figura 15).

La piezometria de l'àrea d'explotació a utilitzar per determinar la distribució dels punts que han de formar la xarxa piezomètrica a les zones d'explotació per controlar la franja de salvaguarda de 2 m respecte a la posició del nivell freàtic, es presenta a la figura 16.

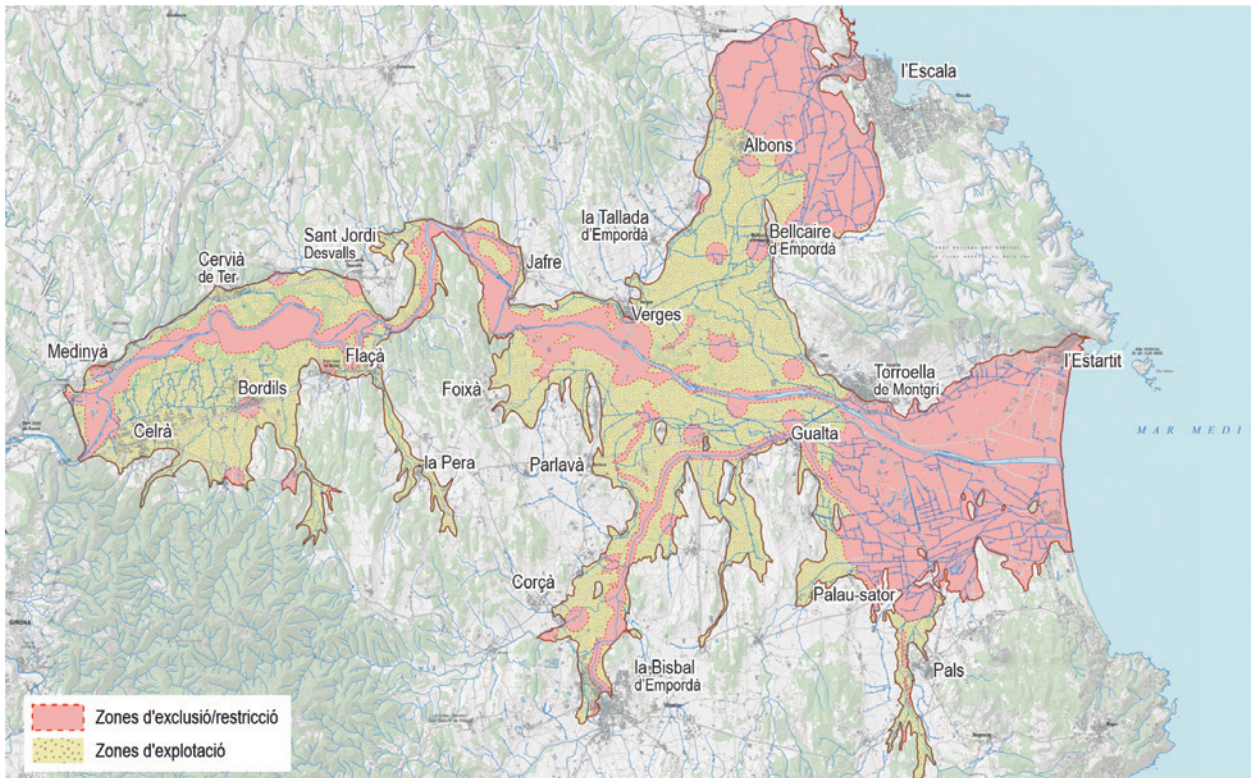


Figura 15. Proposta de regulació de les activitats extractives: àrees d'exclusió/restricció i àrees explotables amb limitacions de cota mínima de la base del rebaix. Font: Elaboració pròpia.

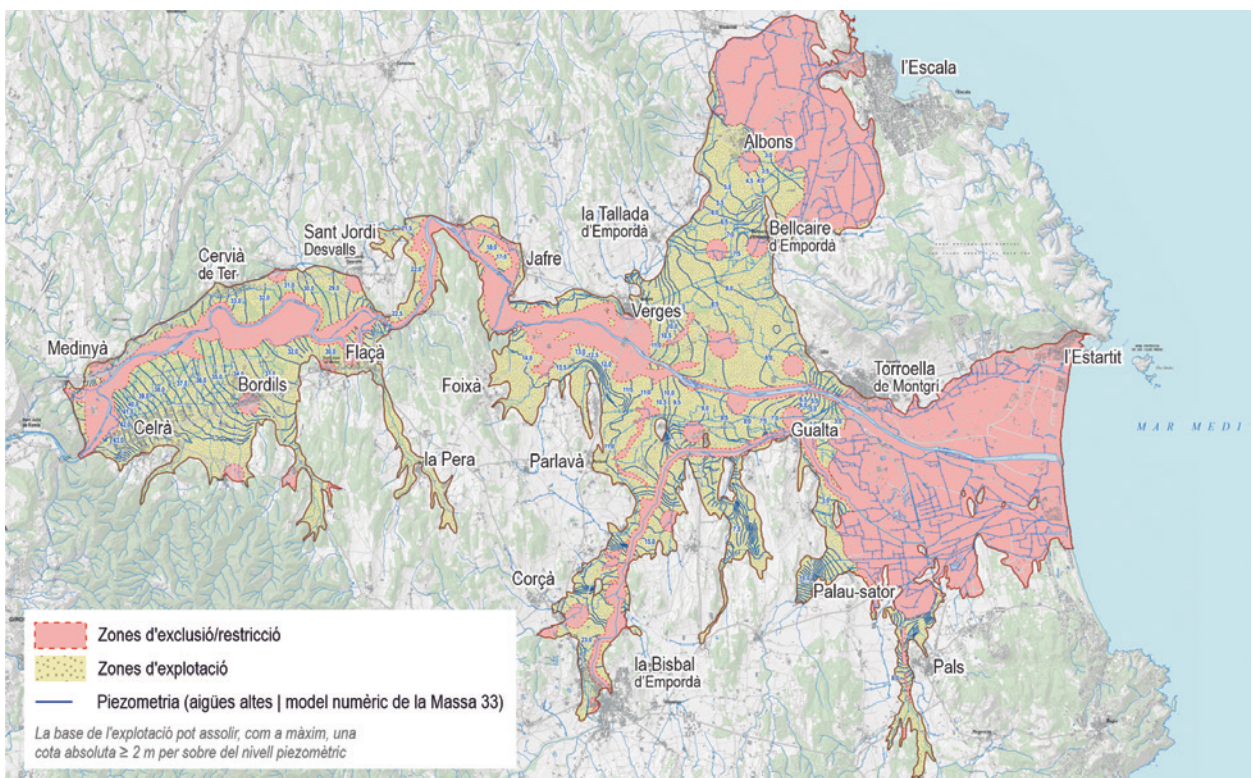


Figura 16. Piezometria orientativa de referència de l'àrea d'explotació. Font: Elaboració pròpia amb les dades de la Modelització matemàtica de la massa d'aigua subterrània 33 (massa 33) Fluviodeltaic del Baix Ter.



# Restauració

## Criteris de restauració

En la majoria dels casos, els criteris de restauració per a la finalització i clausura d'una activitat extractiva d'àrids (extracció en graveres) segueixen les recomanacions tècniques de condicionament de l'activitat que marca la normativa vigent i que estan encaminades a recuperar la cota topogràfica original del terreny, la reparació de l'impacte visual i el restabliment dels usos del sòl anteriors prioritant el rebliment dels rebaixos generats producte de l'explotació. Tanmateix, aquesta pràctica no té en compte el medi hidrològic (en sentit ampli) ni els canvis hidrodinàmics que es puguin haver produït durant l'extracció de material ni, tampoc, els que es puguin produir a conseqüència del nou material aportat i que ben segur alteren i modifiquen, la permeabilitat, el gruix saturat i el gradient hídic. Per tant, es modifiquen les relacions hidrodinàmiques de flux i recàrrega que tenen lloc en el mateix emplaçament i en relació amb el seu entorn més immediat.

Per donar resposta la situació descrita, en el present estudi es proposa l'adopció de criteris que permetin decidir sobre la conveniència de restaurar una determinada extracció d'àrids i sobre la idoneïtat del mètode de restauració d'acord amb dues opcions:

- a) restauració amb criteris paisatgístics i d'impacte visual de l'activitat extractiva atenent les recomanacions tècniques de condicionament que marca la normativa vigent, i les recomanacions ja establertes de maneig i ús, o
- (b) restauració amb criteris hidrogeològics considerant la possible integració de l'excavació en projectes de millora de la dinàmica hidrològica i hidrogeològica entorn de l'àmbit a restaurar.

Per a determinar un mètode de restauració o altre i la seva conveniència i idoneïtat cal partir d'un bon coneixement territorial que permeti la identificació d'àmbits singulars en relació amb la dinàmica hidrològica i hidrogeològica. En aquest sentit, alguns projectes de restauració d'activitats extractives amb criteris hidrogeològics podrien contemplar la creació de basses de recàrrega dels aqüífers, recuperació de braços i lleres fluvials antigues i històriques, laminació d'avingudes o episodis d'aigües altes, recuperació de zones humides, àrees pilot d'investigacions hidrològiques (e.g. desnitrificació, dinàmica zona no saturada...) equiparables al concepte de Living Lab (Lupp *et al.* 2021).

De forma general, es considera que els àmbits amb major potencial per admetre projectes de restauració destinats a la millora de la dinàmica hidrològica i hidrogeològica són els següents:

Àmbits limítrofs a les àrees de recàrrega principal dels aqüífers. Es considera que són susceptibles d'aplicabilitat aquelles activitats que s'emplacin en una franja perimetral de 150 m.

Àmbits limítrofs a trams de riu influent. Es considera que són susceptibles d'aplicabilitat aquelles activitats que s'emplacin en una franja perimetral de 150 m.

Àrees inundables per a un període de retorn de 10 anys.

Pel que respecta a la idoneïtat de la restauració s'ha considerat que:

En les zones en què no es compleix cap d'aquests supòsits, la restauració es podria fer segons l'opció (a), és a dir, segons les condicions de restauració establertes en la normativa vigent.

En les zones en què es compleix almenys un d'aquests supòsits, seria recomanable que la restauració es desenvolupés segons l'opció (b), és a dir, de manera integrada en projectes de millora hidrològica de l'àmbit en qüestió.

Així i tot, en aquells casos en què s'hagi optat per la primera opció de restauració caldrà considerar que, per tal de minimitzar l'impacte sobre la hidrodinàmica, el rebliment es faci amb materials inerts i de permeabilitat similar a l'original, prioritzant una adequada selecció, ordenació, i anàlisi de la disposició de les capes del rebliment d'acord amb proves de permeabilitat i de compactació.

En qualsevol cas, les propostes de millora hidrològica relacionada amb la restauració d'activitats extractives restaran subjectes a la tramitació que requereixi l'administració de l'aigua.

## Referències

- ACA (Agència Catalana de l'Aigua), 2002. Estudi sobre els criteris tècnics de referència que ha de delimitar i condicionar les expectatives d'extracció d'àrids.
- ACA (Agència Catalana de l'Aigua), 2008. Caracterització addicional de la massa d'aigua 33 (massa 33) Fluviodeltaic del Baix Ter.
- ACA (Agència Catalana de l'Aigua), 2010. Estudi de base per a l'establiment de criteris d'avaluació de les extraccions d'àrids a Catalunya.
- ACA (Agència Catalana de l'Aigua), 2010. Directrius de gestió del sediment fluvial.
- ACA (Agència Catalana de l'Aigua), 2012. Modelització matemàtica del flux d'aigua subterrània i transport de soluts de la massa d'aigua subterrània 33 (massa 33) Fluviodeltaic del Baix Ter.
- ACA (Agència Catalana de l'Aigua), 2020. [https://sig.gencat.cat/visors/VISOR\\_ACA.html](https://sig.gencat.cat/visors/VISOR_ACA.html) (Espais fluvials/Zonificació/Domini Públic Hidràulic)
- DMAH (Direcció General de Medi Natural -Àrea de Medi Natural dels Serveis Territorials de Girona) / GEOSERVEI, 2008. Caracterització del flux hidrològic en l'àmbit del futur Parc Natural del Montgrí-Medes-Baix Ter. Informe inèdit. 48 p, 86 plànols.
- GEOSERVEI, 2008. Proposta de Pla de Protecció del Subsòl del Baix Ter. Agenda 21 del Baix Ter. Ajuntaments (21) del Baix Ter i Diputació de Girona, inèdit.
- ICGC (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya), 1994. Full de Sarrià de Ter del mapa geològic de Catalunya a escala 1:25.0000 (MGC25M).
- ICGC (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya), 1994. Full de Torroella de Montgrí del mapa geològic de Catalunya a escala 1:25.0000 (MGC25M).
- ICGC (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya), 1995. Full de l'Estartit del mapa geològic de Catalunya a escala 1:25.0000 (MGC25M).
- ICGC (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya), 1995. Full de l'Escala del mapa geològic de Catalunya a escala 1:25.0000 (MGC25M).
- ICGC (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya), 2001. Full de la Bisbal d'Empordà del mapa geològic de Catalunya a escala 1:25.0000 (MGC25M)
- Lupp, G., A. Zingraff-Hamed, J.J. Huang, A. Oen, S. Pauleit, 2021. Living Labs—A Concept for Co-Designing Nature-Base Solutions. Sustainability 13(1)188.
- Montaner, J., P. Pons, J.M. López, 2010. Caracterització del flux hidrològic a la plana litoral del Baix Ter. Recerca i Territori, 2: 53-182.
- Solà, J., J. Montaner, C. Bayés, 2010. Un pla de protecció el subsol del Baix Ter. Recerca i Territori, 2: 203-235.

# Avaluació de l'estat ecològic a les llacunes del Baix Ter a partir del metabolisme ecosistèmic

Xavier Quintana<sup>1</sup>, Maria Antón-Pardo<sup>2</sup>, Maria Bas-Silvestre<sup>1</sup>, Valentina Amore<sup>1</sup>, Dani Boix<sup>1</sup>, Jordi Bou<sup>3</sup>, Xavier Casamitjana<sup>4</sup>, Jordi Compte<sup>1</sup>, Stéphanie Gascón<sup>1</sup>, Luis Martín<sup>1</sup>, Anna Menció<sup>5</sup>, Warren Meredith<sup>5</sup>, Biel Obrador<sup>6</sup>, Jordi Sala<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Càtedra d'Ecosistemes Litorals Mediterranis i Institut d'Ecologia Aquàtica. Universitat de Girona

<sup>2</sup>Institut Cavanilles de Biodiversitat i Ecologia Evolutiva. Universitat de València

<sup>3</sup>LAGP-Flora i Vegetació, Institut de Medi Ambient. Universitat de Girona

<sup>4</sup>Departament de Física. Universitat de Girona

<sup>5</sup>Grup de Recerca de Geologia Aplicada i Ambiental (GAiA-Geocamb), Departament de Ciències Ambientals. Universitat de Girona

<sup>6</sup>Departament de Biologia Evolutiva, Ecologia i Ciències Ambientals i Institut de Recerca de la Biodiversitat. Universitat de Barcelona





## Introducció

Les llacunes costaneres són ecosistemes molt productius i dinàmics, amb molta rellevància per a l'activitat humana gràcies als serveis ecosistèmics que proporcionen i la gran biodiversitat que contenen (Newton *et al.*, 2018; Pérez-Ruzafa *et al.*, 2019, 2020). Diverses directives europees posen de manifest la importància ecològica de les llacunes costaneres. La Directiva Hàbitat (Directiva 92/43/CEE) les inclou dins de l'Annex I com a hàbitat prioritari d'interès comunitari a causa de la seva progressiva degradació i artificialització. La Directiva Marc de l'Aigua (Directiva 2000/60/EC) les considera com a aigües de transició en la interfase entre els sistemes aquàtics continentals i els marins i obliga a la conservació del seu bon estat ecològic. A la costa mediterrània, les llacunes costaneres estan sotmeses a variacions de nivell, salinitat i concentracions de nutrients a causa de la variabilitat en els fluxos d'aigua i en la connexió amb els sistemes adjacents marins i d'aigua dolça (Guelorget *et al.*, 1983; Kjerfve, 1994). La intervenció humana ha estat sempre molt present i ha causat canvis notables en aquests fluxos, fet que incrementa la ja destacable variabilitat d'aquests ecosistemes (Comín, 2018).

Al Baix Ter hi ha diferents tipus de llacunes costaneres que es poden ordenar segons un doble gradient: un gradient de renovació de l'aigua i un gradient d'influència d'aigua dolça o marina (Trobaso *et al.*, 2002). Hi trobem des de llacunes amb molta circulació de l'aigua que es comporten gairebé com un estuari fins a llacunes confinades on l'aigua es manté estancada durant mesos i on el nivell es manté gràcies a les aportacions subterrànies i d'aigua del mar (Badosa *et al.*, 2006a, 2007; Menció *et al.*, 2017). La major circulació generalment ve determinada per aportacions superficials d'aigua dolça, sovint provinent d'excedents de regadiu. Això fa que els cabals circulants sovint depenguin més de les necessitats d'aigua per al reg que d'aspectes meteorològics com la precipitació i portin a un règim de cabals invertits, amb màxims a l'estiu i mínims a la primavera i l'hivern (Badosa *et al.*, 2006a, 2007; Montaner, 2010).

Gairebé totes les llacunes costaneres presents al Baix Ter estan incloses en el Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter, amb una categoria de protecció de Reserva Natural Parcial, la categoria més alta de protecció que hi ha a la part continental del parc (només al darrere de la de reserva integral, aplicable a la zona emergida de les illes Medes). En termes de requeriments ambientals, l'existència de llacunes costaneres implica la necessitat de conservació del funcionament hídric característic d'aquests sistemes per preservar-ne l'estat ecològic i la biodiversitat associada, funcionament que és diferent segons el tipus de llacuna. Això inclou la permanència de l'aigua (aigües temporànies o permanents), l'origen (superficial o subterrània, marina o continental) i la distribució espacial (interconnexió per facilitar la dispersió d'espècies aquàtiques) i temporal (adaptada a l'estacionalitat característica del clima mediterrani).

Una primera avaluació dicotòmica de l'estat ecològic en llacunes separa les aigües transparents dominades per macròfits submergits i arrelats en el sediment (que representen el bon estat ecològic) de les aigües tèrboles dominades per fitoplàncton i amb sediments sovint anòxics (que representen un estat ecològic deficient), cosa que s'ha definit com a «estadis estables alternatius» (Scheffer *et al.*, 1993). Més enllà d'aquesta primera separació, l'avaluació de l'estat ecològic a les llacunes costaneres no resulta senzilla pel fet que sovint és difícil distingir quins canvis en la composició de l'aigua (salinitat, nutrients, matèria orgànica) són causats per l'activitat humana i quins es deuen a processos naturals d'acumulació; per exemple, durant el confinament, quan l'aigua s'evapora i la matèria orgànica i els nutrients es con-

centren (Serrano *et al.*, 2017; Àvila *et al.*, 2019). S'han utilitzat diverses eines per avaluar l'estat ecològic en llacunes costaneres: unes basades en la concentració de matèria orgànica, clorofil·la, oxigen dissolt o nutrients (p.e., Carlson 1977; Vollenweider *et al.*, 1998; Pettine *et al.*, 2007; Nojavan *et al.*, 2019), i d'altres en la composició d'espècies d'invertebrats aquàtics en funció de la sensibilitat que tinguin a l'eutrofització (p.e., Loughheed *et al.*, 2002; Boix *et al.*, 2005; Quintana *et al.*, 2015). En el cas d'indicadors basats únicament en la composició de nutrients, la proximitat del sediment, la influència marina o l'acumulació de nutrients causada pel simple estancament de l'aigua en els períodes de confinament poden donar lloc a interpretacions errònies (Badosa *et al.*, 2008; Serrano *et al.*, 2017). Els indicadors basats en invertebrats resulten més fiables, però requereixen temps de processament, representen un cost elevat per mostra i poden ser poc operatius si es planteja un pla de monitoratge d'alta freqüència.

L'ús de sensors instal·lats a camp per mesurar en continu variables ambientals permet obtenir dades d'alta freqüència de gran utilitat en el marc d'un monitoratge de l'estat ecològic en sistemes fluctuants. Els sensors de nivell i salinitat permeten identificar de manera immediata les fluctuacions causades per entrades d'aigua de diferent origen. També un sensor d'oxigen instal·lat en un punt representatiu de la massa d'aigua permet estimar la producció i respiració d'un ecosistema aquàtic, el que es coneix com a *metabolisme ecosistèmic* (Staeher *et al.*, 2010). L'ús del metabolisme com a indicador de l'estat ecològic es basa en la premissa que l'activitat humana causa mobilització de matèria orgànica i nutrients que, de manera puntual (aportacions d'aigües residuals) o difusa (a través de l'aigua d'escorrentia), contamina els sistemes aquàtics. Això provoca el que es coneix com a eutrofització: l'increment de nutrients dona lloc a un augment de la producció primària i de la respiració dels organismes aquàtics que descompensa el balanç d'oxigen a l'aigua, fet que dona lloc a sobresaturació d'oxigen durant el dia, però manca d'oxigen durant la nit. La relació existent entre metabolisme i procés d'eutrofització la va establir Margalef (1980), que defineix el grau d'eutròfia com «la capacitat de producció».

L'objectiu d'aquest treball és analitzar l'estat ecològic de llacunes costaneres del Baix Ter a partir de les dades obtingudes amb sensors en continu instal·lats al camp; en especial, dels valors d'oxigen dissolt, obtinguts mitjançant sensors d'oxigen, que permeten l'estimació del metabolisme ecosistèmic. També analitzem els principals factors de pertorbació que es donen a les llacunes del Baix Ter i com aquests factors poden afectar el metabolisme i l'estat ecològic. Comparem finalment els resultats obtinguts a partir del metabolisme amb els obtinguts utilitzant altres indicadors més clàssics d'estat ecològic per tal de validar-ne l'ús en un possible pla de monitoratge i discutir les limitacions que puguin sorgir en aquest ús.

## Mètodes

Les dades obtingudes s'han recollit a través de sondes de camp de mesura en continu (cada 10 minuts) instal·lades en un punt central i representatiu de cada llacuna en el marc de diferents projectes. Això fa que els períodes no siguin sempre coincidents. En la major part dels casos, les dades han estat recollides durant el desenvolupament del projecte d'especialització i competitivitat territorial (PECT) *Girona, regió sensible a l'aigua* entre el novembre de 2018 i el gener de 2021. Per analitzar els patrons estacionals s'han organitzat els anys en cicles anuals que comencen a l'octubre i s'acaben al setembre, pensant a reproduir el patró d'inundació de les llacunes, que s'inicia a la tardor i s'acaba amb els valors més baixos a l'estiu.

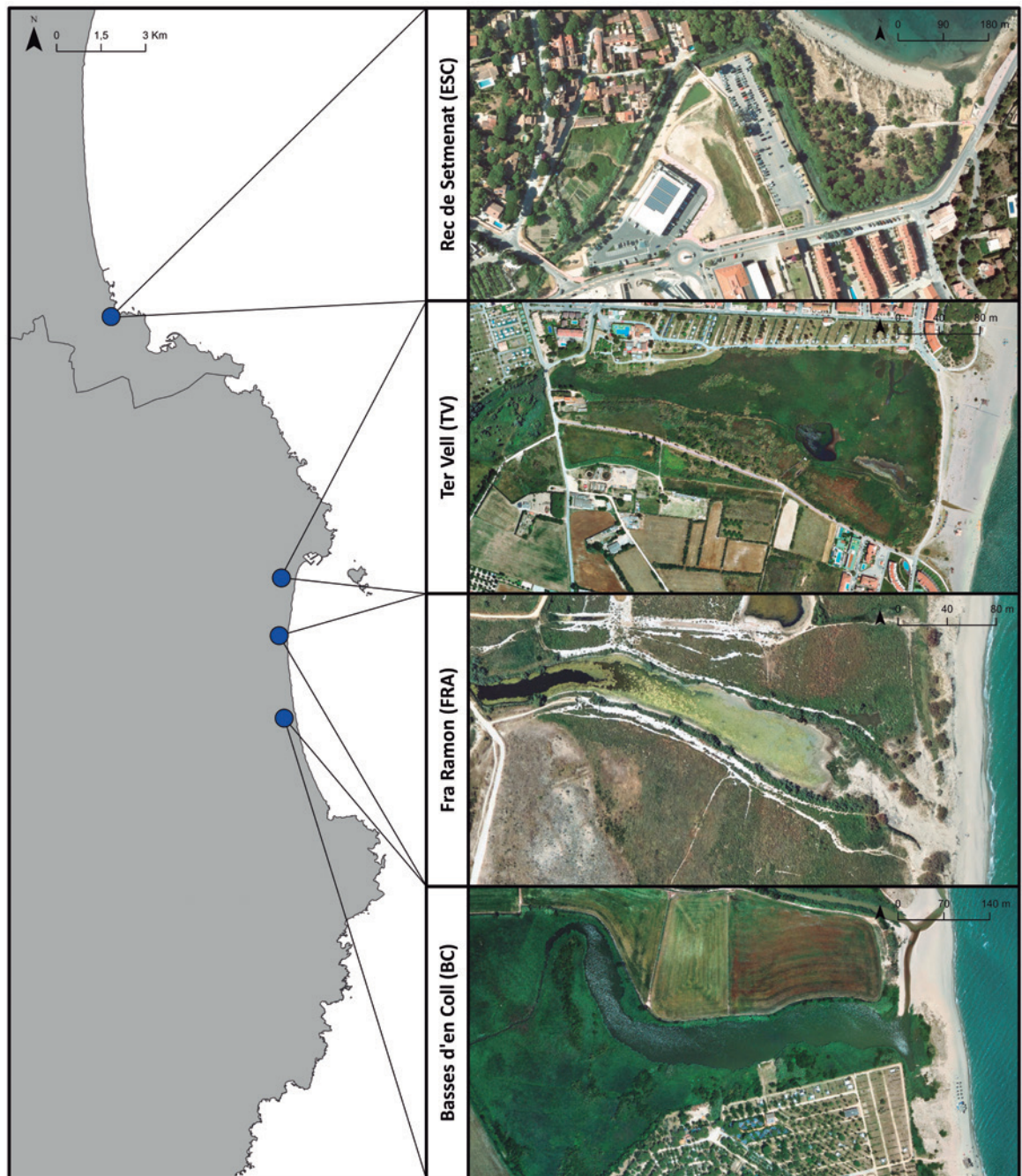


Figura 1: Mapa de situació de les llacunes estudiades.

S'han instal·lat sondes de nivell (Van Essen Cera-Diver), salinitat (Van Essen CTD-Diver) i oxigen (PME miniDOT). Totes elles també mesuren la temperatura. Les sondes de salinitat i d'oxigen estan penjades d'un flotador, de manera que sempre llegeixen a una fondària d'uns 30 cm sota la superfície de l'aigua (foto 1). La sonda de nivell està situada en una cota fixa i mesura el nivell a partir de les diferències de pressió en funció de l'alçada de la columna d'aigua. Aquests sensors s'han instal·lat en quatre de les principals llacunes permanents del Baix Ter (figura 1) i que representen el gradient de circulació-confinament característic de les llacunes costaneres mediterrànies. De més a menys circulació d'aigua dolça (per tant, de menys a més confinament):





Foto 1: Detall de la instal·lació de les sondes a la llacuna del Ter Vell.

El tram final del rec de **Sentmenat a l'Escala** (ESC). El rec de Sentmenat és un dels tres principals recs històrics que deriva cap al marge esquerre del riu Ter i distribueix l'aigua de regadiu al sector més nord del delta. Funciona com un estuari típic, amb una estructura de canal obert que desemboca directament al mar sense cap sistema de llacunes costaneres associades. Hi ha una relació directa entre el cabal que circula pel rec i les necessitats de regadiu, amb màxims de cabal concentrats en l'època de reg, de maig a setembre. Com a conseqüència d'això, el règim de cabals és invertit, amb màxims a l'estiu i mínims a l'hivern (Montaner, 2010).

La llacuna de les **basses d'en Coll** (BC) drena part de l'aigua circulant pel marge dret del riu Ter, derivada a través del rec del Molí de Pals (un altre dels tres recs històrics de la plana), que en alguns trams coincideix amb l'antiga llera del riu Daró. A les basses d'en Coll ja es troba una estructura de llacuna, amb més superfície i amplada i amb major temps de residència de l'aigua que al tram final del rec de Sentmenat. Actua com a afluent del tram final del rec del Molí de Pals, de manera que no tota l'aigua derivada cap al marge dret circula per la llacuna. La major part de l'aigua que circula per les basses d'en Coll prové dels escòrrecs dels arrossars de Pals que drenen cap al rec de les Bassetes, i això té dos efectes importants des del punt de vista ecològic: d'una banda, com en el cas anterior, el règim hídic és invertit, condicionat per les necessitats d'aigua del conreu de l'arròs; de l'altra, l'aigua que arriba a les basses d'en Coll ha circulat prèviament per camps d'arròs i arriba amb una concentració de nutrients més baixa (Badosa *et al.*, 2006a).

La llacuna del **Ter Vell** (TV) drena el sector situat entre el marge esquerre del riu Ter i el vessant sud del massís del Montgrí. Recull part de les aigües del tercer rec històric de la plana, el sistema rec Vell - rec del Molí de Torroella, que actualment només actua com a rec de drenatge des que l'any 2001, amb la modernització del regadiu, es va deixar d'utilitzar com a rec de distribució d'aigua per regar. D'aleshores ençà, les entrades d'aigua al Ter Vell segueixen un patró més determinat pel clima, amb entrades durant els períodes de pluja, però una disminució del nivell i una intrusió marina més gran al pic de l'estiu, quan es donen les condicions de màxim confinament (Badosa *et*

*al.*, 2008). El Ter Vell era l'antiga desembocadura del riu Ter fins que es va desviar a la gola actual a principis del segle XIX. Per aquest motiu, la circulació subterrània continua molt activa i pel Ter Vell hi drenen una bona part de les aigües subterrànies del tram final de la plana. En aquest cas, a més de les dades recollides entre el novembre de 2018 i el gener de 2021, s'hi inclou la informació de dos cicles anuals més, entre el novembre de 2021 i el juny de 2023. Just el 7 de novembre de 2021 es va produir un incendi que va cremar tot el canyissar de l'entorn de la llacuna.

La llacuna de **Fra Ramon** (FRA) representa les llacunes amb el màxim grau de confinament i amb la màxima salinitat que es troben al Baix Ter i que formen part del conjunt de la Pletera. No hi ha cap curs d'aigua dolça superficial que aporti aigua de manera més o menys contínua. Les entrades d'aigua superficial es donen de manera puntual coincidint amb temporals de mar o pluges intenses i van seguides de llargs períodes de confinament en què el nivell d'aigua baixa i la salinitat augmenta. La circulació subterrània d'aigua tant dolça com marina representa la major part de les aportacions en aquesta llacuna (Menció *et al.*, 2017; Meredith *et al.*, 2022). Les dades de Fra Ramon corresponen al període entre el juliol de 2015 i el setembre de 2019, recollides en el marc del seguiment del projecte Life Pletera de restauració d'aquesta maresma ([www.lifepletera.com](http://www.lifepletera.com)).

Per determinar la circulació de les llacunes i poder comparar la taxa de renovació de l'aigua en llacunes tan dispars, on els temps de retenció de l'aigua varien entre poques hores i uns mesos, s'ha utilitzat la modelització a partir del General Lake Model (GLM), basat en el fet que el volum i l'origen de l'aigua circulant es poden estimar a partir dels canvis de nivell, temperatura i salinitat que causa a la llacuna (Casamitjana *et al.*, 2019). Atès que els sensors instal·lats donen lectures en continu d'aquestes variables, es pot aproximar un volum entrant i/o sortint diari. Com a mesura de temps de residència de l'aigua hem utilitzat el que es coneix com a edat de l'aigua (water age o age a la taula 1 i a les figures), estimada a partir dels resultats obtinguts amb el GLM. Es defineix com el temps que ha necessitat l'aigua per arribar des de l'entrada fins a un punt concret de la llacuna (per exemple, un punt central) i és una mesura de temps de residència especialment adequada en aigües estancades, on la circulació és molt lenta (Monsen *et al.*, 2002). Per completar la informació anterior s'han utilitzat anàlisis mensuals d'isòtops estables de l'aigua ( $\delta^2\text{H}$  i  $\delta^{18}\text{O}$ ) que permeten estimar l'origen principal de l'aigua de les llacunes (aigües superficials, subterrànies continentals o marines), així com els possibles processos d'evaporació, a través d'un model de mescla- evaporació elaborat amb el programari PhreeqC (Parkhurst i Appelo, 1999; Menció *et al.*, 2017, 2023) i d'una Anàlisi de Mescla de Membres Extremes (Christophersen *et al.*, 1990). Per a la definició dels membres extrems s'han utilitzat les anàlisis d'aigua de mar i de les aigües subterrànies obtingudes en projectes previs o, en el cas de la zona del rec de Sentmenat i de les basses d'en Coll, dels piezòmetres de l'Agència Catalana de l'Aigua (<https://aplicacions.aca.gencat.cat/sdim21/>) ubicats en aquestes zones. Les variables meteorològiques necessàries per als càlculs del metabolisme i les variacions del nivell del mar s'han obtingut de l'estació meteorològica de l'Estartit (<http://meteolestartit.cat>).

	Codi	Variable	Unitat	Freqüència	Observacions
Sondes de camp	Temp	Temperatura	°C	10 minuts	Mesurada a 30 cm de fondària
	Cond	Conductivitat	mS·cm <sup>-1</sup>	10 minuts	Mesurada a 30 cm de fondària
	O2	Oxigen dissolt	mg·L <sup>-1</sup>	10 minuts	Mesurat a 30 cm de fondària
	O2sat	Percentatge de saturació d'oxigen	%	10 minuts	Mesurat a 30 cm de fondària
	Cota	Nivell de l'aigua	m	10 minuts	Cota sobre el nivell mitjà del mar a l'Estartit
	PAR	Radiació solar incident, en l'espectre visible	μmols·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup>	10 minuts	Sonda única ubicada a la Pletera
Composició de l'aigua	TOC	Matèria orgànica total	mg·L <sup>-1</sup>	Mensual	
	TRIX			Mensual	Indicador d'estat ecològic basat en la composició de nutrients
	δ <sup>18</sup> O i δ <sup>2</sup> H	Isòtops estables de l'aigua	0/00 VSMOW	Mensual	
Estat ecològic	QAELS <sup>e</sup> <sub>2010</sub>	Estat ecològic		Trimestral	Estat ecològic a partir de la composició d'invertebrats aquàtics
Circulació	vol	Volum de la llacuna	m <sup>3</sup>	Diari	Estimades a partir de la modelització amb el General Lake Model (vegeu "Mètodes")
	entrades	Volum d'entrades d'aigua	m <sup>3</sup>	Diari	
	sortides	Volum de sortides d'aigua	m <sup>3</sup>	Diari	
	age	Edat de l'aigua a la llacuna	dies	Diari	
Metabolisme	GPP	Producció bruta	mgO <sub>2</sub> ·L <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup>	Diari <sup>(1)</sup>	<sup>(1)</sup> Si el model s'ajusta (vegeu "Mètodes")
	ER	Respiració	mgO <sub>2</sub> ·L <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup>	Diari <sup>(1)</sup>	
	PR	log(GPP/ER)		Diari <sup>(1)</sup>	

Taula 1: Variables ambientals mesurades en els diferents ecosistemes, classificades per les variables obtingudes de les sondes de camp i les variables relacionades amb la composició de l'aigua, l'estat ecològic, la circulació de l'aigua i el metabolisme ecosistèmic.

Amb la mesura del metabolisme ecosistèmic obtenim valors de producció primària, respiració i del balanç producció/respiració. La producció i la respiració s'estimen a partir dels canvis en la concentració d'oxigen en el medi aquàtic mesurats en continu (amb una freqüència de 10 minuts) en un punt representatiu de la llacuna (Staeher *et al.*, 2010). L'augment de la concentració d'oxigen durant el dia degut a la fotosíntesi i la seva disminució durant la nit es poden relacionar amb la producció primària i amb la respiració, respectivament. En concret, producció i respiració s'obtenen a partir de la relació entre el canvi de la concentració d'oxigen, de la temperatura i de la radiació solar incident, un cop corregides les variacions d'oxigen ( $DO_t$ ) causades per la simple difusió física, segons l'equació proposada per Giling *et al.* (2017):

$$[DO]_{t+1} = [DO]_t + \underbrace{A \cdot PAR_t^p}_{\text{"A"}} - \underbrace{ER_T(\Theta^{T_t-T})}_{\text{"B"}} + k_t \frac{(DO_{eq_t} - DO_t)}{Z_{mix}} + Adv$$

on el component "A" representa la producció primària bruta a un determinat valor de radiació solar incident (PAR) i el component "B" representa la respiració en funció de la temperatura (T). La resta de components es refereixen a l'intercanvi físic d'oxigen entre l'aigua i l'atmosfera. A partir de l'equació (1) es pot obtenir un valor diari de producció primària bruta (GPP) i de respiració ecosistèmica (ER), sempre que el model estadístic doni significatiu (si no, el valor del dia en qüestió es descarta).

Un cop obtinguts els valors diaris de GPP i ER també es pot estimar el balanç entre la producció i la respiració ( $PR = \log(GPP/ER)$ ). Atès que la producció implica emissió d'oxigen i consum de  $CO_2$  i la respiració el contrari, aquestes dues variables donen una idea del balanç de carboni i permeten veure si l'ecosistema actua com a embornal ( $PR > 0$ ) o si, tot al contrari, està causant emissions de carboni a l'atmosfera ( $PR < 0$ ). La hipòtesi de partida seria que un sistema madur i en bon estat ecològic tendria a produir poc (valor baix de GPP), però també a respirar poc i a actuar com a embornal de carboni ( $PR > 0$ ). Per contra, l'aportació de nutrients i l'estrès ambiental portarien a un augment de la producció i a que el sistema respirés més del que produeix. Així, el quocient PR podria utilitzar-se com a indicador d'estat ecològic.

Per tal de validar que les taxes metabòliques es poden utilitzar per a l'avaluació de l'estat ecològic, s'han recollit mostres d'aigua mensualment per analitzar els continguts de matèria orgànica i nutrients i per determinar els indicadors d'estat ecològic basats en la composició de l'aigua (com l'índex TRIX descrit per Vollenweider *et al.* (1998), que utilitza els valors de nitrogen, fòsfor, oxigen dissolt i clorofil·la). També s'han recollit, amb freqüència trimestral, mostres d'organismes per al càlcul del QAELS<sub>2010</sub><sup>e</sup>, indicador d'estat ecològic basat en la composició d'espècies d'invertebrats aquàtics, d'acord amb la metodologia descrita a Boix *et al.* (2005) i Quintana *et al.* (2015). Les variables analitzades es recullen a la taula 1. El mostreig d'aquestes variables utilitzades per a la validació es va haver d'interrompre el març de 2020 a causa de la pandèmia de la COVID-19. No així la recollida de dades obtinguda amb les sondes que van continuar aportant dades durant el confinament.

## Factors que determinen el metabolisme ecosistèmic

Per a l'ús del metabolisme ecosistèmic en l'avaluació de l'estat ecològic ens basem en dues premisses. En primer lloc, els sistemes aquàtics amb una pressió antròpica més alta tendrien a tenir major grau d'eutròfia i valors més alts de producció i de respiració, a conseqüència del flux de nutrients i matèria orgànica

que hi arriben. En segon lloc, els sistemes aquàtics en bon estat ecològic tendrien a produir més que no respirar (tindrien un balanç producció/respiració positiu) i actuarien així com a embornals de carboni; tot al contrari, les aigües en condicions d'estrès tendrien a respirar més del que produeixen (tindrien un balanç producció/respiració negatiu) i actuarien com a emissors de carboni. Segons aquestes dues premisses, uns valors baixos de GPP però alts de PR indicarien bon estat ecològic.

Cal contrastar si aquestes premisses són certes, atès que en determinades condicions el patró podria ser fins i tot el contrari. En relació amb el balanç PR, els sistemes aquàtics situats en entorns molt vegetats, malgrat tenir condicions prístines, poden donar lloc al domini de la respiració per sobre de la producció a causa de la degradació de la matèria orgànica provinent de la vegetació adjacent i de la limitació de la producció primària per la poca entrada de llum a l'aigua si hi ha molta cobertura vegetal. Per tant, aquest factor és variable en cada sistema aquàtic i s'ha de valorar prèviament a l'aplicació d'un pla de monitoratge basat en el metabolisme ecosistèmic. D'altra banda, la producció augmenta amb les entrades de nutrients i matèria orgànica, però pot disminuir amb l'entrada de contaminants que siguin tòxics, especialment per als productors primaris aquàtics. En aquestes condicions, uns valors baixos de GPP no es deuen a un baix grau d'eutrofització i un bon estat ecològic sinó, tot al contrari, a la presència de tòxics que limiten la producció. Seria el cas d'alteracions de l'estat ecològic causades per pesticides o contaminants emergents (medicaments, antibiòtics, cosmètics).

Hi ha factors que també influeixen en el metabolisme ecosistèmic que són variables en el temps i que no depenen de l'activitat antròpica de la conca, com la temperatura, la radiació solar o la taxa de renovació de l'aigua. La ER és especialment sensible a la temperatura i la GPP ho és a la radiació solar. Un altre factor no antròpic que pot incidir en les taxes metabòliques és el temps de residència de l'aigua. Els valors de GPP i ER poden augmentar quan l'aigua s'estanca i, en canvi, disminuir quan hi ha més circulació. Un major confinament també causa un augment de la concentració de nutrients i de matèria orgànica, però això no vol dir que aigües confinades tinguin un pitjor estat ecològic. El confinament és una característica inherent a les llacunes costaneres mediterrànies i molts organismes que les colonitzen estan molt ben adaptats a aquestes condicions de confinament (Quintana *et al.*, 1998a; Badosa *et al.*, 2006b; López-Flores *et al.*, 2006). La variació en el temps de residència de l'aigua, però, també pot tenir un origen antròpic si l'ús dels recursos hídrics altera el flux que circula per les llacunes. De fet, és així en la major part dels casos. Ara bé, relacionar la circulació real amb la ideal i l'estat ecològic és un aspecte que s'ha d'abordar de manera independent i específica per a cada massa d'aigua.

La concentració d'oxigen també és una variable que podria ser conseqüència de factors naturals o antròpics. Òbviament, l'entrada de matèria orgànica en excés causa una disminució de la concentració d'oxigen i, fins i tot, l'anòxia. La manca d'oxigen, però, també pot ser conseqüència de la simple concentració de matèria orgànica en condicions de màxim confinament. Altes concentracions de nutrients i anòxies han estat descrites en llacunes confinades en bon estat ecològic localitzades en espais amb màxima protecció (Serrano *et al.*, 2017). Discriminar quina part de la manca d'oxigen és atribuïble a l'excés d'entrada de nutrients i quina ho és al confinament resulta difícil, especialment al pic de l'estiu. Uns valors baixos de la concentració d'oxigen dissolt també poden emascarar condicions d'alt grau d'eutròfia atès que les condicions d'anòxia també limiten la producció. Uns valors baixos de GPP, que suggeririen un bon estat ecològic, poden no ser deguts a un baix contingut de nutrients sinó, tot al contrari, a un excés d'aquests nutrients i a les condicions d'anòxia que causarien.



## Metabolisme, circulació i estat ecològic

Per analitzar si les taxes metabòliques ens poden donar informació sobre canvis en l'estat ecològic de les llacunes hem comparat els valors de GPP i PR amb les concentracions de matèria orgànica i amb els valors de l'índex  $QAELS_{2010}^e$  d'estat ecològic basat en la composició d'invertebrats aquàtics (figura 2). Els valors més baixos de  $QAELS_{2010}^e$  es troben a les llacunes amb més circulació i són més alts a les llacunes més confinades (figura 2A), fet que suggereix un millor estat ecològic com més baixa és la circulació d'aigua. Les concentracions de matèria orgànica (TOC) i els valors de GPP, però, també mostren una relació ascendent amb el confinament, d'acord amb el fet que les aigües més estancades acumulen més matèria orgànica i generen més producció (figures 2B i 2C). Això, però, ens porta al contrasentit que les aigües que tenen millor estat ecològic són les que tenen més matèria orgànica i més producció, si bé s'esperaria un patró invers entre l'estat ecològic ( $QAELS_{2010}^e$ ) i les variables relacionades amb l'estat tròfic de l'aigua (matèria orgànica i producció). En el cas del quocient PR no es dona aquest contrasentit, atès que els valors més baixos de  $QAELS_{2010}^e$  també són els més baixos de PR, d'acord amb una major proporció de respiració en sistemes estressats (figura 2D). Quan s'analitzen les correlacions entre les diferents variables implicades s'obtenen conclusions coincidents (figura 3). El  $QAELS_{2010}^e$  disminueix quan augmenta la circulació i es correlaciona positivament amb el quocient PR. En canvi, la GPP es relaciona amb les variables lligades amb el contingut de nutrients (TOC i TRIX), però no amb l'estat ecològic. La GPP i la ER estan força correlacionades entre elles.

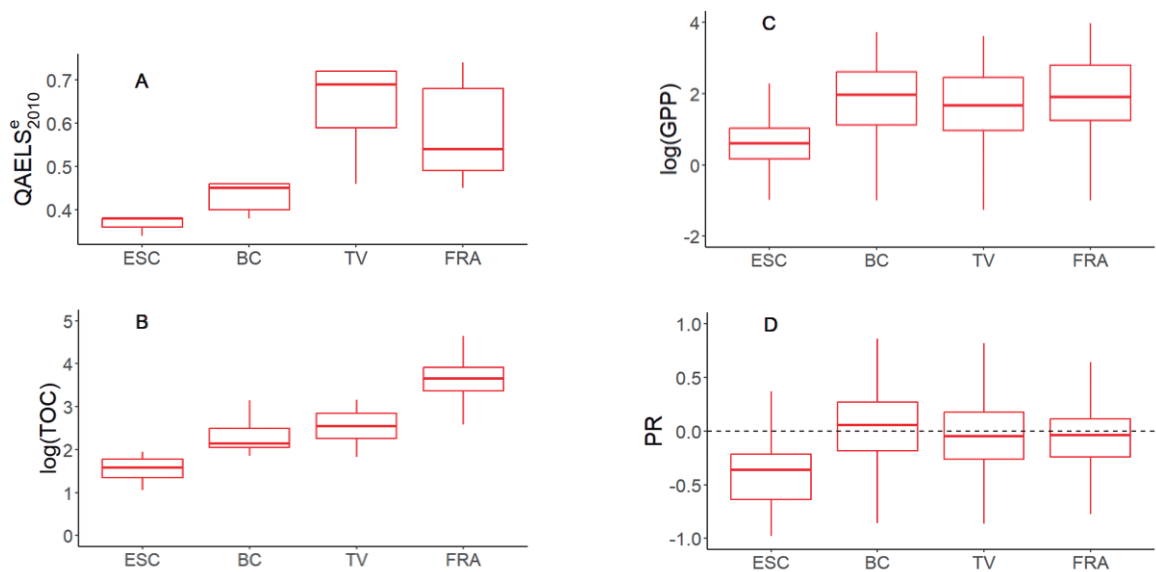


Figura 2: Diagrames de caixa dels valors A) d'estat ecològic ( $QAELS_{2010}^e$ ), B) matèria orgànica (TOC), C) producció bruta (GPP) i D) del quocient producció/respiració (PR) a les llacunes del Baix Ter, ordenades de major circulació (ESC) a major confinament (FRA). TOC i GPP, representats a escala logarítmica. Abreviacions de les llacunes com a la figura 1. Codis i unitats de les variables com a la taula 1.

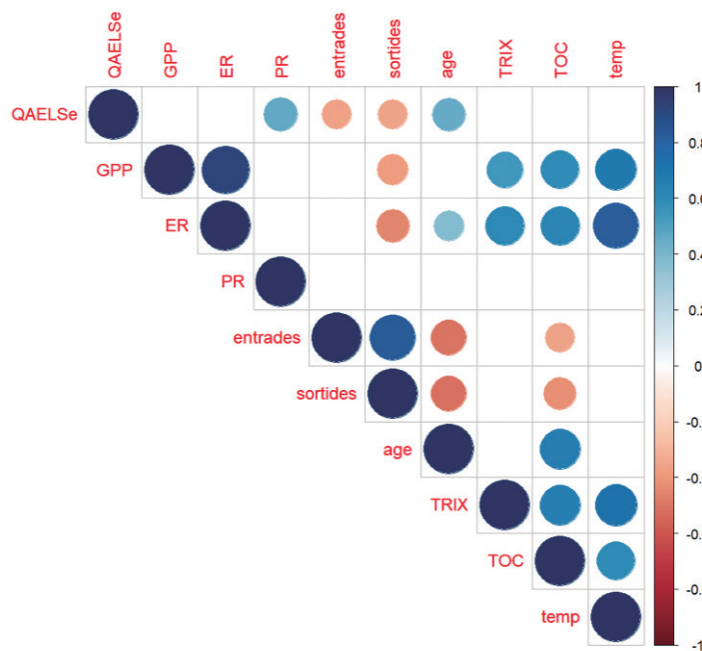


Figura 3: Correlacions entre les taxes metabòliques, les variables de circulació de l'aigua i les variables relacionades amb les concentracions de matèria orgànica i nutrients i amb l'estat ecològic. Únicament es mostren les correlacions significatives; la mida del cercle i el color estan relacionats amb el coeficient de correlació. Codis de les variables com a la taula 1.

Tot això indicaria que l'estat ecològic no seria tan dependent del contingut de nutrients sinó del flux d'entrada d'aquests nutrients a la llacuna i estaria d'acord amb el fet que la comunitat d'organismes aquàtics està adaptada a les condicions d'alta concentració de nutrients que es pot donar durant el confinament. També indicaria que el quocient PR reflecteix millor les condicions de bon estat ecològic, condicions en què les llacunes actuarien com a embornal de carboni (quocient PR positiu). La GPP, en canvi, estaria més relacionada amb les concentracions de nutrients, que tindrien més a veure amb una major o menor circulació de l'aigua, que portaria, respectivament, a més rentat o a més acumulació, però que sembla que tenen un efecte menor sobre l'estat ecològic.

## El tram final del rec de Sentmenat

Els valors de QAELS<sub>2010</sub> al tram final del rec de Sentmenat sempre són baixos, inclosos dins del rang d'estat ecològic dolent, i són els més baixos trobats a les llacunes estudiades (taula 2, figura 2A). També els valors de PR són negatius gairebé tot l'any (figura 4), la qual cosa indica que aquest sistema aquàtic està estressat i respira més del que produeix. Únicament hi ha dos pics positius de PR, tots dos al mes de març, atribuïbles a pics de producció dels organismes fotosintètics aquàtics. Sobre una línia de base de PR negativa, hi ha moments puntuals en què es donen baixades encara més marcades de PR. Aquestes baixades coincideixen amb pics d'entrades d'aigua de més del 75% del volum de la llacuna, que al seu torn coincideixen amb episodis de pluja de més de 30 mm (figura 4), excepte el 25 de març de 2020, quan probablement les entrades d'aigua tenien un origen artificial relacionat amb l'ús de l'aigua de reg. Al tram final del rec de Sentmenat hi ha una relació significativa ( $r=0.42$ ;  $p<0.001$ ) entre les entrades d'aigua i la disminució de PR.

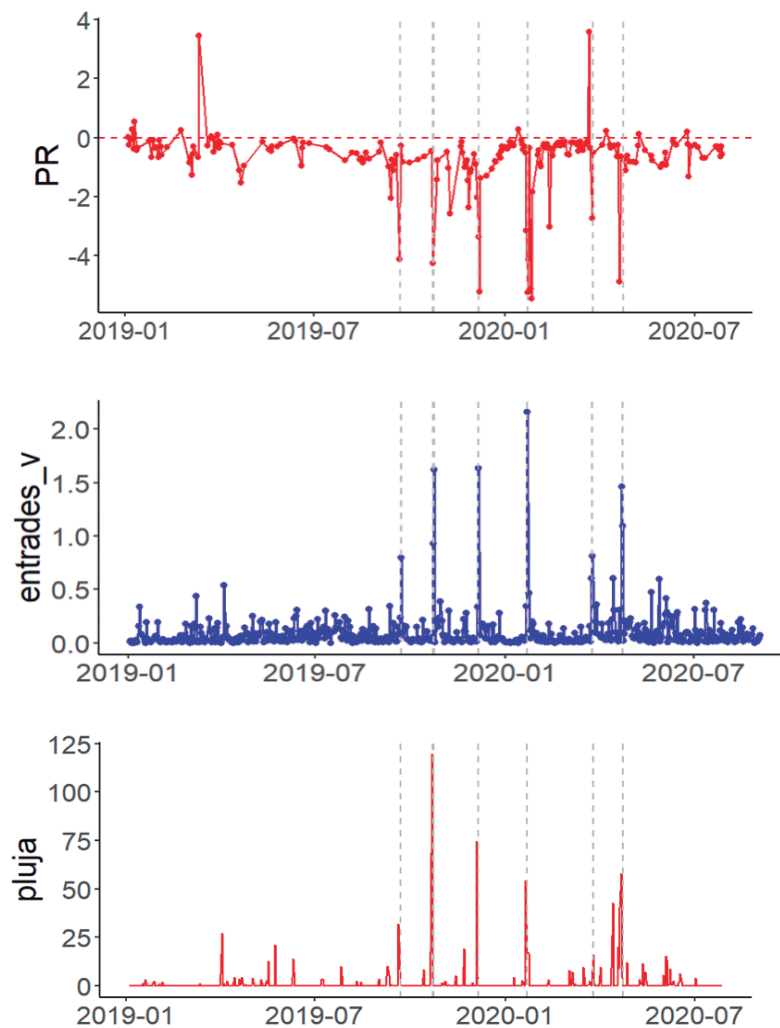


Figura 4: Variació al tram final del rec de Sentmenat de PR, del volum d'entrades d'aigua (en tant per u del volum de la llacuna) i de la pluja (en mm). Les línies discontinües verticals indiquen els dies amb una entrada d'aigua superior a 0.75 (superior al 75% del volum d'aigua).

Aquests resultats suggereixen que al rec de Sentmenat existeix una relació directa i força immediata entre les entrades d'aigua (amb la matèria orgànica i els nutrients que hi arriben per via difusa) i l'estat ecològic d'aquesta llacuna. Això no es tradueix en canvis notables de nivell o de conductivitat, perquè l'aigua sempre té una salinitat semblant i l'augment de cabal no implica un augment de nivell perquè l'aigua circula i surt cap a mar. Aquesta circulació ràpida de l'aigua també es fa evident a nivell isotòpic, en no observar-se l'evaporació de l'aigua durant els mesos més càlids (taula 3). Aquesta circulació també evita que la matèria orgànica i els nutrients s'acumulin, i això fa que la llacuna tingui les concentracions més baixes (figura 2B) i també evita que es donin episodis de manca d'oxigen.

Llacuna	Data	QAELS <sup>e</sup> <sub>2010</sub>	Categoria
ESC	21-01-2019	0.38	Dolent
	08-04-2019	0.34	Dolent
	22-07-2019	0.38	Dolent
	18-11-2019	0.36	Dolent
	15-01-2020	0.42	Dolent
BC	21-01-2019	0.40	Deficient
	08-04-2019	0.38	Dolent
	22-07-2019	0.67	Bo
	18-11-2019	0.45	Deficient
	15-01-2020	0.46	Deficient
TV	21-01-2019	0.72	Molt bo
	08-04-2019	0.46	Deficient
	22-07-2019	0.59	Mediocre
	18-11-2019	0.69	Bo
	15-01-2020	0.72	Molt bo
FRA	16-10-2014	0.54	Deficient
	20-01-2015	0.74	Molt bo
	21-04-2015	0.72	Molt bo
	16-07-2015	0.5	Deficient
	15-10-2015	0.48	Deficient
	15-01-2016	0.72	Molt bo
	15-04-2016	0.68	Bo
	13-07-2016	0.51	Deficient
	11-10-2016	0.46	Deficient
	10-01-2017	0.62	Bo
	19-04-2017	0.45	Dolent
	11-07-2017	0.5	Deficient
	9-10-2017	0.46	Deficient
	16-01-2018	0.68	Bo
	16-04-2018	0.64	Bo

Taula 2: Valors de QAELS<sup>e</sup><sub>2010</sub> obtinguts a les llacunes estudiades i la categoria d'estat ecològic resultant<sup>(1)</sup>.

(1) Els llindars de QAELS<sup>e</sup><sub>2010</sub> que determinen els canvis de categories varien entre diferents tipus de llacunes. És per això que un mateix valor numèric de QAELS<sup>e</sup><sub>2010</sub> pot donar una categoria diferent entre llacunes de diferent tipus.

## Les basses d'en Coll

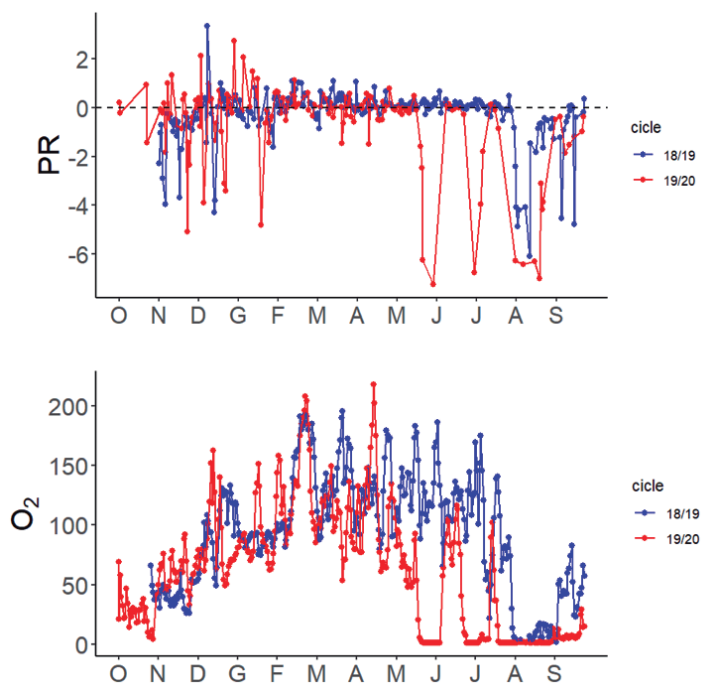


Figura 5: Variació estacional (d'octubre a setembre) del quocient PR i de la concentració mitjana diària d'oxigen (% de saturació) a les basses d'en Coll. Unitats de les variables com a la taula 1.

A les basses d'en Coll no hi ha una relació tan directa entre les entrades d'aigua i els valors del metabolisme (figura 5). Els valors de PR mostren un patró estacional força ben marcat. D'octubre a febrer els valors de PR fluctuen de manera molt ràpida, i alternen valors molt positius (de domini de la producció) amb valors molt negatius (de domini de la respiració), però sempre amb retorn ràpid cap a uns valors basals propers a 0. Durant els mesos de febrer a maig, PR s'estabilitza en valors propers a 0 i amb poques oscil·lacions. Finalment, de maig a setembre, coincidint amb el conreu de l'arròs, s'observen disminucions de PR fins a valors molt negatius, amb una recuperació posterior cap als valors més propers a 0 molt més lenta. En aquest període també són freqüents els episodis d'anòxia, tot i que el moment en què es produeixen varia entre cicles

anuals (figura 5). A nivell hidrològic, a les basses d'en Coll s'observa que, durant la tardor i l'hivern, hi ha una proporció més important de l'aigua de l'aqüífer, excepte durant la tardor de 2019, quan la proporció d'aigua superficial va ser alta (taula 3). A la primavera i l'estiu, augmenta significativament la proporció d'aigua superficial del canal, especialment degut a les aportacions de reg durant el conreu de l'arròs.

	Rec de Sentmenat	Basses d'en Coll	Ter Vell									
	% sup.	% sub.	% mar	% evap.	% sup.	% sub.	% mar	% evap.	% sup.	% sub.	% mar	% evap.
Tardor 2018	10-25*	65-80*	10*	<5*	0-5	80-95	5-15	<5	15-35	50-80	5-30	<5
Hivern 2019	5-40	55-90	5-10	<5	10-30	60-85	<5	<5	40-75	5-60	5-20	<5
Primavera 2019	0-95	0-85	5-15	<5	75-100	0-25	<5	<5	35-75	0-60	0-25	0-30
Estiu 2019	>95	<5	<5	<5	70-100	0-30	<5	<5	0-70	0-55	30-45	40-50
Tardor 2019	80-90	5-10	5-10	<5	70-100	0-25	<5	<5	>90	<5	<10	<5
Hivern 2020*	90-95	<5	<5	<5	40-70	25-40	5-20	<5	40-80	15-60	<10	<5

Taula 3: Rang de percentatges de l'origen de l'aigua en cadascuna de les bases i del percentatge d'evaporació determinats a través de l'anàlisi de mesclures de membres extrems i el model elaborat amb PhreeqC, en què es detallen els percentatges mínims i màxims de: % sup., aigua superficial; % sub., aigua subterrània; % mar, aigua marina; % evap., percentatge d'evaporació. \*Només es tenen dades de dos dels tres mesos de l'estació.

Els valors de QAELS<sup>e</sup><sub>2010</sub> no són tan baixos com els trobats al tram final del rec de Sentmenat, però predomina l'estat ecològic mediocre, amb un únic valor d'estat ecològic bo el juliol de 2019 (taula 2). Uns valors de QAELS<sup>e</sup><sub>2010</sub> mediocres coincideixen amb uns valors de PR baixos els dies anteriors (gener de 2019 i 2020, novembre de 2019), mentre que el valor de QAELS<sup>e</sup><sub>2010</sub> més alt, que indica estat bo, es troba el juliol de 2019, després d'un període llarg en què dominen valors de PR positius propers a 0. El mes d'abril de 2019 hi ha un valor de QAELS<sup>e</sup><sub>2010</sub> més baix, tot i que no s'observen variacions notables en el valor de PR. Aquest fet suggereix que a la primavera es dona algun tipus de pertorbació, a la qual el valor de PR no és sensible (vegeu l'apartat "Factors que determinen el metabolisme ecosistèmic").

Basant-nos en una relació entre els valors de PR i l'estat ecològic, podem identificar tres períodes ben marcats a les basses d'en Coll. Un primer període de tardor-hivern, amb freqüents pertorbacions hídriques (pluges, temporals) i baixades sobtades, però puntuals, del valor de PR. Això indicaria que aquestes pertorbacions hídriques causarien baixades notables de l'estat ecològic, de les quals el sistema es recuperaria molt ràpidament; és a dir, es comportaria de manera molt resilient. Un segon període primaveral més estable, sense tanta variabilitat hídrica, en què el valor de PR és sempre proper a 0 i generalment positiu, que estaria d'acord amb un bon estat ecològic coincidint amb condicions d'estabilitat hídrica. Un tercer període estival, amb disminucions notables de l'estat ecològic, normalment amb episodis d'anòxia, dels quals el sistema es recuperaria de manera molt més lenta, molt menys resilient. Tant les pertorbacions hivernals com les anòxies estivals es donen de manera molt variable entre els dos cicles anuals, i dona una idea de la variabilitat estacional que hi ha en aquests sistemes costaners mediterranis.

## El Ter Vell

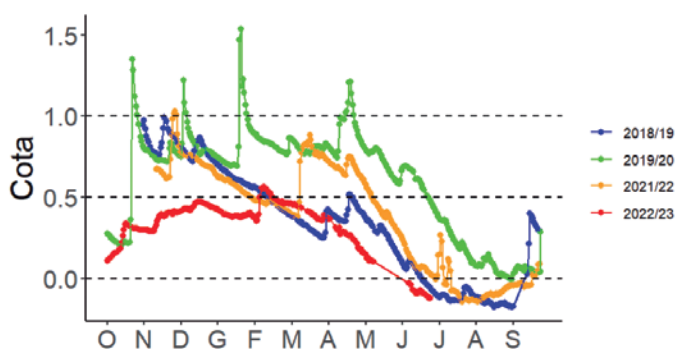


Figura 6: Variació estacional (d'octubre a setembre) del nivell d'aigua a la llacuna del Ter Vell (mesurat com la cota sobre el nivell del mar; vegeu la taula 1) durant els diferents cicles estudiats.

Es disposa de dades del Ter Vell de quatre cicles estacionals amb diferències en l'estat ecològic de la llacuna. Les variacions de nivell dels quatre cicles es mostren a la figura 6. És comú a tots els cicles que el nivell de la llacuna sigui alt a la tardor i l'hivern, sovint per sobre de la cota de 0.5 m que marca el desbordament de les cubetes més fondes de la llacuna i la inundació del canyissar del litoral. Puntualment supera la cota d'1 m, que suposa el desbordament del conjunt del Ter Vell cap als terrenys adjacents. A la primavera i l'estiu, els nivells són més baixos, gairebé

sempre per sota de la cota de 0.5 m i amb tendència a disminuir a mesura que avança l'estiu. Al marge d'aquest patró general, la hidrologia del Ter Vell mostra matisos diferents entre cicles i també diferències en les pertorbacions, que afecten l'estat ecològic. Durant el cicle 2018/19 no hi va haver inundacions importants; només puntualment a la tardor el nivell de la llacuna va arribar a superar 1 m, però es va mantenir per sobre de 0.5 m la major part de l'hivern. Durant aquest cicle, a la llacuna hi dominaven les aigües clares, amb macròfits submergits (majoritàriament, herbassars de *Ruppia spiralis*), condicions indicadores de bon estat ecològic. En canvi, durant el cicle següent, 2019/20, es van produir fins a 4 episodis d'inundació, entre



els quals el més intens va ser el temporal Gloria (gener de 2020), amb abundant entrada d'aigua superficial, probablement rica en matèria orgànica i nutrients. Durant aquest cicle, les aigües eren tèrboles, amb dominància del fitoplàncton, sense macròfits i amb un estat ecològic més dolent. El cicle 2021/22 correspon als mesos següents a un incendi que es va donar a la llacuna el 7 de novembre de 2021 i que va reduir a cendres gairebé tot el canyissar que volta les aigües del Ter Vell. Pel que fa a les variacions del nivell de l'aigua, aquest cicle va ser molt semblant al de 2018/19. Per acabar, el cicle 2022/23 va ser un cicle molt sec, en què el nivell d'aigua rares vegades va pujar per sobre de la cota de 0.5 m, és a dir, gairebé no hi va haver inundació del canyissar que volta les cubetes més fondes. Les sondes no van estar operatives durant el cicle 2020/21. També s'observen diferències entre cicles en el percentatge d'aigua d'entrada que prové de l'aqüífer. Segons la composició isotòpica, la proporció de l'aigua provinent de l'aqüífer és més alta durant el cicle 2018/19 que durant el cicle 2019/20 (taula 3), probablement a causa de les precipitacions intenses que es van donar a la tardor i l'hivern d'aquest segon cicle. No disposem de dades d'isòtops dels altres dos cicles. A diferència de les basses anteriors, el Ter Vell es veu afectat per l'evaporació durant els mesos d'estiu, i per una proporció més alta de l'aigua del mar, que fa que arribi a proporcions superiors a 30% (taula 3).

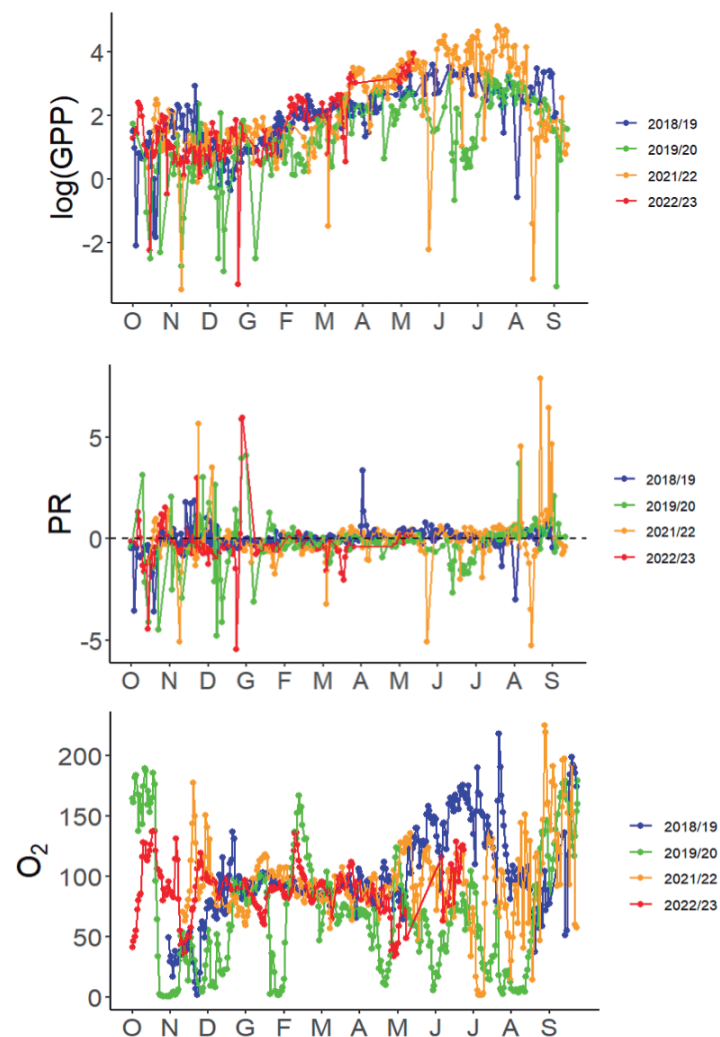


Figura 7: Variació estacional (d'octubre a setembre) de la producció primària bruta (GPP, a escala logarítmica), del quocient PR i de la concentració mitjana diària de l'oxigen dissolt ( $O_2$ , % de saturació) a la llacuna del Ter Vell durant els cicles estudiats. Unitats de les variables com a la taula 1.

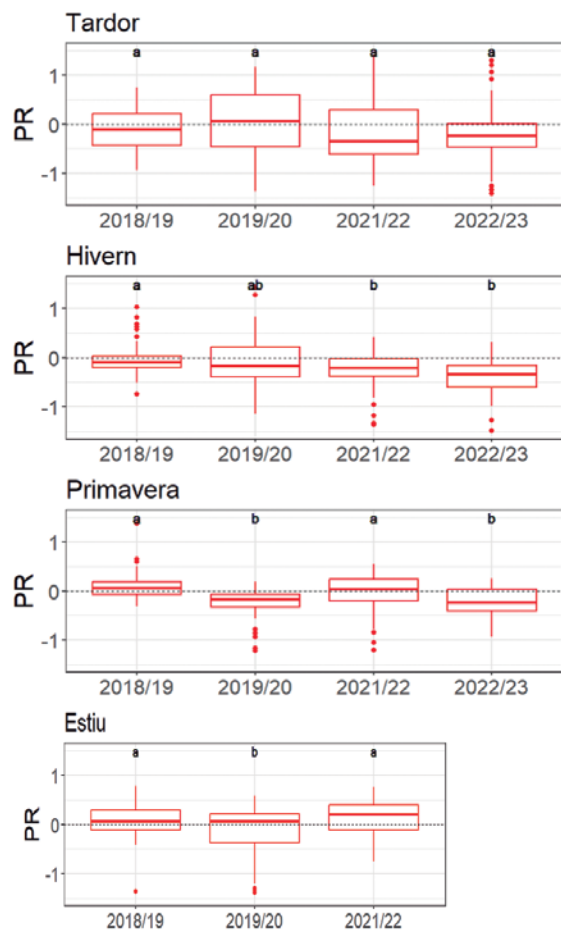


Figura 8: Diagrames de caixa de les diferències entre cicles del quocient PR durant les diferents estacions a la llacuna del Ter Vell. Els diagrames amb la mateixa lletra no tenen diferències significatives.

llacuna al mes de juliol de 70% en el cicle 2021/22 de l'incendi i de 5% en el cicle 2022/23, més sec; el recobriments de macròfits no es va quantificar durant els dos primers cicles, però era molt alt en el cicle 2018/19 i proper a 0 en el cicle 2019/20). Hi ha dos factors que poden ajudar a explicar aquest fet. D'una banda, el fet que l'incendi es produís a la tardor, quan els nivells de l'aigua són alts i el desbordament és freqüent. Aquest desbordament facilitaria la sortida dels nutrients aportats per les cendres i n'evitaria l'acumulació. També a la tardor les fluctuacions dels valors de PR són molt grans i fa difícil detectar-hi diferències respecte a altres anys. Tot i així, s'observen baixades del valor de PR a la tardor després de l'incendi, però amb recuperació ràpida com després d'un temporal de mar o una pluja intensa. D'altra banda, el període productiu dels macròfits es concentra a la primavera i l'estiu, lluny del moment en què es va produir l'incendi. Això fa pensar que un incendi de primavera o estiu podria tenir un efecte molt més perniciosos perquè coincidiria amb el període vegetatiu dels macròfits i amb nivells baixos de l'aigua que facilitarien la concentració dels nutrients aportats per les cendres.

Com a les llacunes anteriors, els valors de variació de GPP no són consistents amb un augment de la producció quan disminueix l'estat ecològic. Els valors més baixos de GPP es donen a la primavera i l'estiu de l'any més humit (2019/20), però no indiquen un millor estat ecològic al Ter Vell, sinó tot al contrari,

Els valors de PR (figura 7) fluctuen en un rang molt ampli durant els mesos de tardor i hivern dels quatre cicles estacionals, però tendeixen a establir-se en valors propers a 0 durant la primavera i l'estiu. En aquestes dues estacions, els valors de PR van ser més alts durant el cicle dominat per macròfits i el cicle després de l'incendi (2018/19 i 2021/22) i més baixos durant el cicle més humit i el cicle més sec (2020/21 i 2022/23) (figura 8). Aquestes variacions de PR estarien d'acord amb un millor estat ecològic en situacions de nivell d'aigua intermèdies i un estat ecològic pitjor tant quan es dona molta entrada d'aigua superficial com en situació de sequera extrema. La capacitat d'embornal de carboni també disminuiria a mesura que l'estat ecològic fos pitjor, quan les condicions d'estrès farien que el sistema tendís a respirar més (i alliberar més carboni).

Un resultat que pot ser sorprenent és el poc efecte en l'estat ecològic que va tenir l'incendi del novembre de l'any 2021. Això és visible no només en els valors de PR, sinó també en els de densitat de macròfits, que són més abundants l'any després de l'incendi que en els anys de més estrès hídric (valors de recobriments de macròfits mesurats al litoral de la

que la producció és especialment baixa degut a episodis freqüents de manca d'oxigen (figura 7). Aquests episodis de manca d'oxigen també es donen durant l'estiu del cicle després de l'incendi, tot i que no són tan freqüents. L'estiu postincendi destaca pels valors alts de GPP (figura 7), fet que indicaria un augment de la producció probablement causat per l'aportació de nutrients de les cendres, però no causaria molta descompensació del balanç entre producció i respiració. També es dona una baixada acusada d'oxigen el juliol de 2022, després d'un augment del nivell de l'aigua al pic de l'estiu no atribuïble ni a pluges ni a una pujada del nivell del mar (figura 6) i que va provocar una oscil·lació molt marcada del quocient PR (figura 7). Com en el cas de les basses d'en Coll, les diferències entre cicles donen una idea del caràcter fluctuant que tenen aquests sistemes aquàtics costaners en el clima mediterrani.

## La llacuna de Fra Ramon

A Fra Ramon s'hi poden distingir dos períodes diferents al llarg de l'any (figura 9), que segueixen un patró d'inundació-confinament característic d'aquestes llacunes de tipus confinat, amb baixa renovació de l'aigua, que no reben aportacions continuades d'aigua superficial (Quintana *et al.*, 1998b; Trobajo *et al.*, 2002; Badosa *et al.*, 2006b). S'identifica un període hivernal amb més circulació d'aigua, nivells d'aigua més alts

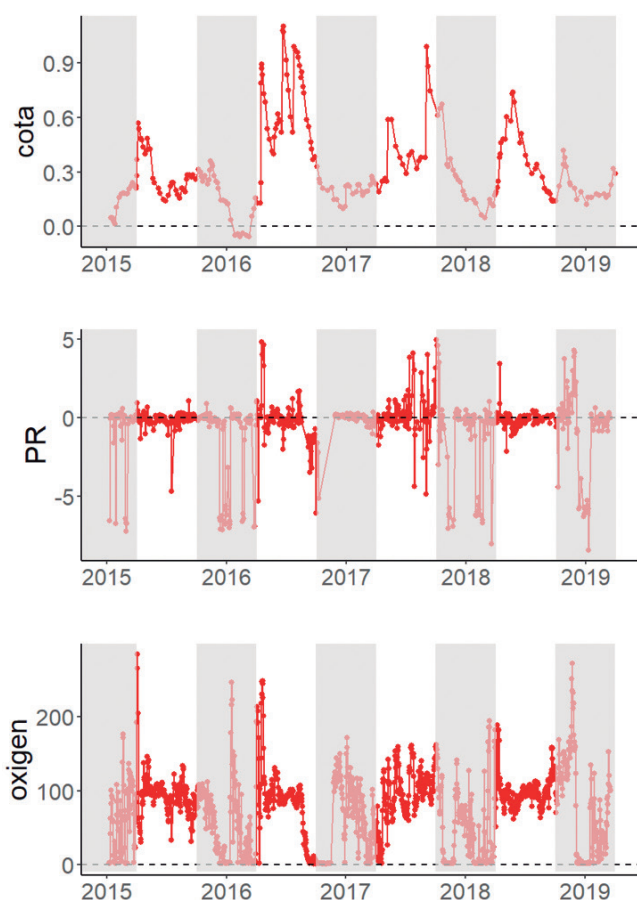


Figura 9: Variació de la cota, del quocient PR i de la concentració mitjana diària d'oxigen (% de saturació) a la llacuna de Fra Ramon entre el juliol de 2015 i el setembre de 2019. Les bandes grises corresponen al període estival. Unitats de les variables com a la taula 1.

i concentracions d'oxigen que no arriben mai a l'anòxia. Durant aquest període, els valors de PR són propers a 0, amb episodis puntuals d'alta producció i valors de PR més alts. El segueix un període estival, amb nivells d'aigua més baixos i salinitat més alta, en què la manca d'oxigen és molt més freqüent, sobretot a la nit (Bas-Silvestre *et al.*, 2020; Quintana *et al.*, 2021), i en què es troben disminucions acusades de PR. Tant les pujades de PR a l'hivern com les baixades a l'estiu es donen de manera irregular i en moments diferents del cicle estacional i probablement depenen de diferències entre anys de les característiques hidrològiques (moments d'inundació, temporals de llevant o canvis de nivell) o meteorològiques (intensitat del vent o diferències dia-nit en la temperatura de l'aigua).

Les diferències hivern-estiu són determinants en la composició del plàncton de la llacuna, on alternen comunitats d'aigües més fredes i més sensibles a la manca d'oxigen amb comunitats que hi són més tolerants (Quintana *et al.*, 2021). Això també es reflecteix en els valors de l'índex QAELS<sub>2010</sub><sup>e</sup> d'estat ecològic basat en la composició d'organismes, amb

valors generalment bons o molt bons durant l'hivern i valors deficients o dolents durant l'època estival (taula 2). Els valors de PR també segueixen aquesta dinàmica.

Un altre aspecte diferencial de Fra Ramon respecte a les altres llacunes estudiades és el fet que presenta una estratificació molt marcada, a causa del doble origen, marí i continental, de les aigües que l'alimenten (Pascual i Martinoy, 2016; Quintana *et al.*, 2018). Les aigües més dolces, de menys densitat, se situen en superfície; les aigües més salades i més denses es troben en fondària. Les diferències en l'estratificació són molt més marcades a l'hivern, quan el flux d'aigua subterrània més dolça és més intens (Menció *et al.*, 2017). En canvi, la columna d'aigua és molt més uniforme a l'estiu, amb salinitats sempre superiors a la del mar. La capa profunda és anòxica gairebé tot l'any, però a l'estiu la manca d'oxigen arriba a la superfície totes les nits i alguns dies dura tot el dia (Bas-Silvestre *et al.*, 2020).

## Patrons en l'estat ecològic de les llacunes del Baix Ter

Els diferents sistemes de llacunes del Baix Ter varien de comportament en funció de les seves particularitats hidrològiques i això fa que canvis hidrològics que milloren l'estat ecològic en un sistema puguin ser negatius per a sistemes adjacents. Tot i això, es poden identificar algunes regularitats, que ajuden a comprendre quins elements són determinants en l'estat ecològic d'aquestes llacunes.

Un primer element que cal tenir en compte és la rapidesa amb què arriba a les llacunes l'aigua d'es-correntia. Una interacció molt immediata porta a aigües amb pitjor estat ecològic. Si l'aigua circula per altres aiguamolls abans d'arribar, l'estat ecològic millora, i més si l'aigua arriba per via subterrània, atès que els aquífers en zones costaneres contenen matèria orgànica que permet la desnitrificació i, per tant, que l'entrada de nutrients a les llacunes sigui baixa (Menció *et al.*, 2023). A nivell de gestió, promoure la retenció de l'aigua per facilitar la infiltració pot tenir efectes positius en l'estat ecològic de les llacunes receptores perquè redueix la càrrega de nutrients que hi arriba. De les dades comparatives entre cicles també destaca que els efectes d'una pertorbació poden no ser visibles de manera immediata, sinó que es manifesten a final de cicle, a la primavera i l'estiu, quan les aigües es troben en condicions de confinament i tendeixen a concentrar-se. Aquest desacoblament entre els moments d'entrada d'aigua i els episodis de pertorbació ja ha estat descrit a les llacunes del Baix Ter (Bas-Silvestre *et al.*, 2020).

Un segon element té a veure amb les variacions en la concentració d'oxigen. Les condicions d'anòxia són més freqüents: 1) a la nit, quan la manca de llum fa que els organismes respirin però no produeixin; 2) a l'estiu, ja que la temperatura més alta fa augmentar la respiració, i 3) en aigües estancades, on la manca de circulació no permet la renovació de l'aigua anòxica amb aigua amb més oxigen. L'anòxia a la nit és un fet habitual a les llacunes confinades, com a Fra Ramon i a les llacunes de la Pletera, on es dona cada dia durant l'estiu i hi condiciona la composició del plàncton (Quintana *et al.*, 2021; Bas-Silvestre *et al.*, 2024). A les llacunes confinades de la Pletera s'hi han descrit fins i tot situacions d'anòxia permanents durant prop d'una setmana (Bas-Silvestre *et al.*, 2020), condicions que poden causar aflo-raments de bacteris fototròfics del sofre del gènere *Chromatium* (Quintana *et al.*, 2024), que donen un característic color vermell (foto 2). Aquestes llacunes confinades poden alternar valors d'estat ecològic bo a l'hivern amb els d'estat dolent a l'estiu, i això genera el dubte de quina part de la manca d'oxigen



és deguda a aportacions antròpiques i quina al procés natural de confinament. La disminució dràstica de la concentració d'oxigen és un procés intrínsec d'aquestes llacunes, que a l'estiu tendeixen a la dessecació i a la concentració de matèria orgànica i nutrients de manera natural. Algunes espècies estan ben adaptades a tolerar aquestes condicions d'anòxia, com és el cas del fartet (*Aphanius iberus*), que manté poblacions estables malgrat la manca d'oxigen (Bas-Silvestre *et al.*, 2020; Quintana *et al.*, 2021).



Foto 2: La llacuna de Fra Ramon durant un aflorament de *Chromatium* l'agost de 2022.

Un tercer punt que cal destacar són les diferències estacionals que es donen en la resiliència. Les pertorbacions hídriques sempre solen causar disminucions molt marcades del quocient PR, però la recuperació posterior és molt més ràpida si aquestes pertorbacions es donen durant la tardor o l'hivern. En canvi, la recuperació del quocient PR després d'una pertorbació a la primavera o l'estiu és molt més lenta. És a dir, el sistema és més resilient en les pertorbacions hivernals que en les estivals. De fet, els sistemes costaners mediterranis han evolucionat sota un clima especialment irregular pel que fa al moment en què es produeixen les inundacions, però amb una regularitat gairebé invariable: els nivells especialment baixos i les altes temperatures del període estival. En aquest sentit, Pascual (2020) recull la freqüència en què s'han donat temporals de llevant a l'Estartit al llarg dels diferents mesos de l'any durant els darrers 50 anys i mostra que aquesta freqüència és bastant similar d'octubre a abril, però es redueix gairebé a 0 durant els mesos d'estiu. També, vegetació submergida que colonitza aquestes aigües té els seus cicles fenològics adaptats a aquest patró hídric (p.e. Gesti *et al.*, 2005).

Per acabar, la proporció d'aigua superficial o subterrània que arriba a les llacunes també varia entre anys, d'acord amb la variació interanual del clima. En anys humits, com l'any 2020, de temporals intensos a l'hivern i la primavera, el percentatge d'aigua superficial i la consegüent aportació de nutrients per via difusa és molt superior, cosa que dona lloc a aigües més tèrboles. En anys més secs, la proporció d'aigua subterrània és superior i l'estat ecològic sol ser millor, excepte quan la sequera és extrema, en què l'estat ecològic torna a empitjorar. A nivell de gestió, no hi ha gaire marge d'intervenció, en aquest sentit. Simplement cal assumir una certa alternança entre anys secs i humits, entre anys més o menys proclius al bon estat ecològic.

## Agraïments

Aquest treball recull dades i anàlisis desenvolupades en diferents projectes. Majoritàriament, en el marc del per "projecte PECT *Girona, regió sensible a l'aigua* (projectes d'especialització i competitivitat territorial emmarcats en la RIS3CAT pel Programa operatiu del FEDER) els resultats del qual es recullen en aquest volum. També en els projectes Life Pletera (programa Life+ de la Unió Europea, ref. LIFE13 NAT/ES/001001), fun-METANET (PID2020-114440GB-I00, finançat per MICIU/AEI/10.13039/501100011033) i Ponderful (programa Horizon 2020 de la Unió Europea, ref. 869296).



## Referències

- Àvila, N., R. López-Flores, & X. D. Quintana, 2019. Composition of pelagic microbial communities in Mediterranean coastal aquatic ecosystems under extreme drought conditions. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 216: 139–147.
- Badosa, A., C. Barriocanal, J. Compte, R. López-Flores, & X. D. Quintana, 2006a. Balance hídrico y de nutrientes y evaluación de la calidad del agua de la laguna “les Basses d’en Coll”. Informes de seguimiento del proyecto Life Emyster LIFE04NAT/ES/000059. Universitat de Girona.
- Badosa, A., D. Boix, S. Brucet, R. López-Flores, & X. D. Quintana, 2006b. 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: 513–522.
- Badosa, A., D. Boix, S. Brucet, R. López-Flores, & X. D. Quintana, 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: 1273–1284.
- Badosa, A., D. Boix, S. Brucet, R. López-Flores, & X. D. Quintana, 2008. Short-term variation in the ecological status of a Mediterranean coastal lagoon (NE Iberian Peninsula) after a man-made change of hydrological regime. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 18:1078–1090.
- Bas-Silvestre, M., X. D. Quintana, J. Compte, S. Gascón, D. Boix, M. Antón-Pardo, & B. Obrador, 2020. Ecosystem metabolism dynamics and environmental drivers in Mediterranean confined coastal lagoons. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 245: 106989.
- Bas-Silvestre, M., M. Antón-Pardo, D. Boix, S. Gascón, J. Compte, J. Bou, B. Obrador, & X. D. Quintana, 2024. Phytoplankton composition in Mediterranean confined coastal lagoons: testing the use of ecosystem metabolism for the quantification of community-related variables. *Aquatic Sciences* 86: 71.
- Boix, D., S. Gascón, J. Sala, M. Martinoy, J. Gifre, & X. D. Quintana, 2005. A new index of water quality assessment in Mediterranean wetlands based on crustacean and insect assemblages: The case of Catalunya (NE Iberian peninsula). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. 15: 635–651.
- Carlson, R. E., 1977. A trophic state index for lakes<sup>1</sup>. *Limnology and Oceanography* 22: 361–369.
- Casamitjana, X., A. Menció, X. D. Quintana, D. Soler, J. Compte, M. Martinoy, & J. Pascual, 2019. Modeling the salinity fluctuations in salt marsh lagoons. *Journal of Hydrology* 575: 1178–1187.
- Christophersen, N., C. Neal, R.P. Hooper, R.D. Vogt, S. Andersen, 1990 Modeling stream water chemistry as a mixture of soil water end members - a step towards second generation acidification models. *Journal of Hydrology*, 116: 307–320.
- Comín, F.A., 2018. Introducció: un enfocament integrador per a la restauració de les llacunes costaneres mediterrànies. A: Quintana, X. D., D. Boix, S. Gascón, & J. Sala (eds), *Gestió i restauració de llacunes mediterrànies a Europa*. *Recerca i Territori*, 10:9-21.

- Gesti, J., A. Badosa, & X. D. Quintana, 2005. Reproductive potential in *Ruppia cirrhosa* (Petagna) Grande in response to water permanence. *Aquatic Botany* 81: 191-198.
- Giling, D. P., P. A. Staehr, H. P. Grossart, M. R. Andersen, B. Boehrer, C. Escot, F. Evrendilek, L. Gómez-Gener, M. Honti, I. D. Jones, N. Karakaya, A. Laas, E. Moreno-Ostos, K. Rinke, U. Scharfenberger, S. R. Schmidt, M. Weber, R. I. Woolway, J. A. Zwart, & B. Obrador, 2017. Delving deeper: Metabolic processes in the metalimnion of stratified lakes. *Limnology and Oceanography* 62: 1288–1306.
- Guelorget, O. i J. P. Perthuisot, 1983. Le domaine paralique. Expressions géologiques, biologiques et économiques du confinement. Travaux du Laboratoire de Géologie, 16. Presses de l'École Normale Supérieure, Paris.
- Kjerfve, B., 1994. Coastal Lagoon Processes. Elsevier, Amsterdam.
- López-Flores, R., D. Boix, A. Badosa, S. Brucet, & X. D. Quintana, 2006. Pigment composition and size distribution of phytoplankton in a confined Mediterranean salt marsh ecosystem. *Marine Biology* 149: 1313–1324.
- Lougheed, V. L. i P. Chow-Fraser, 2002. Development and use of a zooplankton index of wetland quality in the Laurentian Great Lakes basin. *Ecological Applications*, 12(2): 474-486.
- Margalef, R., 1980. Ecología. Omega.
- Menció, A., X. Casamitjana, J. Mas-Pla, N. Coll, J. Compte, M. Martinoy, J. Pascual, & X. D. Quintana, 2017. Groundwater dependence of coastal lagoons: The case of La Pletera salt marshes (NE Catalonia). *Journal of Hydrology* 552: 793–806.
- Menció, A., E. Madaula, W. Meredith, X. Casamitjana, & X. D. Quintana, 2023. Nitrogen in surface aquifer - Coastal lagoons systems: Analyzing the origin of eutrophication processes. *Science of the Total Environment* 871: 161947.
- Meredith, W., X. Casamitjana, X. D. Quintana, & A. Menció, 2022. Effects of morphology and sediment permeability on coastal lagoons' hydrological patterns. *Journal of Hydrology* 612: 128259.
- Monsen, N. E., J. E. Cloern, L. V. Lucas, & S. G. Monismith, 2002. A comment on the use of flushing time, residence time, and age as transport time scales. *Limnology and Oceanography* 47: 1545–1553.
- Montaner, J., 2010. El flux hidrogeològic de la plana litoral del Baix Ter. *Recerca i Territori*, 2. Càtedra d'Ecosistemes Litorals Mediterranis., 235.
- Newton, A., A. C. Brito, J. D. Icely, V. Derolez, I. Clara, S. Angus, G. Schernewski, M. Inácio, A. I. Lillebø, A. I. Sousa, B. Béjaoui, C. Solidoro, M. Tosic, M. Cañedo-Argüelles, M. Yamamuro, S. Reizopoulou, H.-C. Tseng, D. Canu, L. Roselli, M. Maanan, S. Cristina, A. C. Ruiz-Fernández, R. F. D. Lima, B. Kjerfve, N. Rubio-Cisneros, A. Pérez-Ruzafa, C. Marcos, R. Pastres, F. Pranovi, M. Snoussi, J. Turpie, Y. Tuchkovenko, B. Dyack, J. Brookes, R. Povilanskas, & V. Khokhlov, 2018. Assessing, quantifying and valuing the ecosystem services of coastal lagoons. *Journal for Nature Conservation* 44: 50–65.

Nojavan A., F., B. J. Kreakie, J. W. Hollister, & S. S. Qian, 2019. Rethinking the lake trophic state index. *PeerJ* 7: e7936.

Parkhurst, D.L. i C.A.J. Appelo, 1999. User's Guide to PHREEQC (Version 2)—a computer program for Speciation, Batch-Reaction, One-Dimensional Transport, and Inverse Geochemical Calculations. U.S. Geological Survey. Water-Resources Investigations Report 99-4259.

Pascual, J. i M. Martinoy, 2016. Seguimiento de niveles y salinidad. Informe 2014-2016. Informes de seguimiento del proyecto Life Pletera LIFE 13 NAT/ES/001001.

Pascual, J., 2020. El temporal "Glòria" i altres temporals. Llibre de la Festa Major de Torroella de Montgrí, 2020: 135-144. <https://raco.cat/index.php/LlibreFestaMajor/article/view/373229>

Pérez-Ruzafa, A., I. M. Pérez-Ruzafa, A. Newton, & C. Marcos, 2019. Coastal Lagoons: Environmental Variability, Ecosystem Complexity, and Goods and Services Uniformity A: Wolanski, J.W.D., M. Elliott & R. Ramachandran (eds), *Coasts and Estuaries*. Elsevier: 253–276.

Pérez-Ruzafa, A., M. Pérez-Marcos, & C. Marcos, 2020. Coastal lagoons in focus: Their environmental and socioeconomic importance. *Journal for Nature Conservation* 57: 125886.

Pettine, M., B. Casentini, S. Fazi, F. Giovanardi, & R. Pagnotta, 2007. A revisit of TRIX for trophic status assessment in the light of the European Water Framework Directive: Application to Italian coastal waters. *Marine Pollution Bulletin* 54: 1413–1426.

Quintana, X. D., F. A. Comín, & R. Moreno-Amich, 1998a. Nutrient and plankton dynamics in a Mediterranean salt marsh dominated by incidents of flooding. Part 2: Response of the zooplankton community to disturbances. *Journal of Plankton Research* 20: 2109-2127.

Quintana, X. D., R. Moreno-Amich, & F. A. Comín, 1998b. 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: 2089-2107.

Quintana, X. D., M. Cañedo-Argüelles, A. Nebra, S. Gascón, M. Rieradevall, N. Caiola, J. Sala, C. Ibáñez, N. Sánchez-Millaruelo, & D. Boix, 2015. New Tools to Analyse the Ecological Status of Mediterranean Wetlands and Shallow Lakes. A: Munné, A., A. Ginebreda, N. Prat (eds), *Experiences from Surface Water Quality Monitoring. The Handbook of Environmental Chemistry*, vol 42. Springer, Cham. 171-199.

Quintana, X. D., D. Boix, X. Casamitjana, A. Colomer, J. Compte, D. Cunillera-Montcusí, S. Gascón, F. Gich, A. Menció, M. Martinoy, J. Montaner, J. Pascual, J. Sala, J. Solà, & I. Tornero, 2018. Actuacions de gestió i restauració de les llacunes costaneres confinades mediterrànies als Aiguamolls de l'Empordà i el Baix Ter. A: Quintana, X. D., D. Boix, S. Gascón, & J. Sala (eds), *Gestió i restauració de llacunes mediterrànies a Europa. Recerca i Territori*. 173-192.

Quintana, X. D., M. Antón-Pardo, M. Bas-Silvestre, D. Boix, X. Casamitjana, J. Compte, D. Cunillera-Montcusí, S. Gascón, A. Menció, B. Obrador, I. Tornero, & J. Sala, 2021. Identifying critical transitions in seasonal shifts of zooplankton composition in a confined coastal salt marsh. *Aquatic Sciences* 83: 69.

Quintana, X., M. Bas-Silvestre, D. Boix, J. Bou, À. Colomer, J. Compte, D. Lindoso, A. Llausàs, A. Menció, S. Ramos, A. Ribas, & E. Subirah, 2024. Criteris ecològics i percepció social en la restauració de la Pletera. *l'Atzavara* 34: 59–74.

Scheffer, M., S. H. Hosper, M. L. Meijer, B. Moss, & E. Jeppesen, 1993. Alternative Equilibria in Shallow Lakes. *Trends in Ecology & Evolution* 8: 275-279.

Serrano, L., M. Reina, X. D. Quintana, S. Romo, C. Olmo, J. M. Soria, S. Blanco, C. Fernández-Aláez, M. Fernández-Aláez, M. C. Caria, S. Bagella, T. Kalettka, & M. Pätzig, 2017. A new tool for the assessment of severe anthropogenic eutrophication in small shallow water bodies. *Ecological Indicators* 76: 324-334.

Staeher, P. A., D. Bade, M. C. Van de Bogert, G. R. Koch, C. Williamson, P. Hanson, J. J. Cole, & T. Kratz, 2010. Lake metabolism and the diel oxygen technique: State of the science. *Limnology and Oceanography-Methods* 8: 628-644.

Trobajo, R., X. D. Quintana, & R. Moreno-Amich, 2002. Model of alternative predominance of phytoplankton-periphyton-macrophytes in lentic waters of Mediterranean coastal wetlands. *Archiv fur Hydrobiologie* 154(1): 19-40.

Vollenweider, R. A., F. Giovanardi, G. Montanari, & A. Rinaldi, 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: 329–357.

# Superfícies de laminació: canviar de model de drenatge per reduir el risc d'inundació

Xavier Quintana<sup>1</sup>, Valentina Amore<sup>1</sup>, Dani Boix<sup>1</sup>, Jordi Bou<sup>2</sup>, Zoë Busser<sup>3</sup>, Francesc Camps<sup>4</sup>, Albert Llausàs<sup>5</sup>, Gerard Pidemunt<sup>4</sup>, Teia Puigvert<sup>3</sup>, Anna Ribas<sup>5</sup>, Francesc Sort<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Càtedra d'Ecosistemes Litorals Mediterranis i Institut d'Ecologia Aquàtica, Universitat de Girona.

<sup>2</sup>LAGP-Flora i Vegetació, Institut de Medi Ambient, Universitat de Girona.

<sup>3</sup>Consorci del Ter.

<sup>4</sup>Junta Central d'Usuaris d'Aigües del Baix Ter.

<sup>5</sup>Departament de Geografia i Institut de Medi Ambient de la Universitat de Girona.





## Introducció

El problema de les inundacions ha estat sempre present al Baix Ter i ha condicionat la ubicació dels assentaments humans des dels temps més reculats (Saurí *et al.*, 1993). La construcció, a mitjans del segle passat, del sistema d'embassaments Sau - Susqueda - el Pasteral permet regular el cabal circulant aigües avall dels embassaments, però no evita les avingudes en episodis de pluja extrema, com va passar amb el temporal Gloria, del gener de 2020 (Ribas, 2020). A més, el fet que els episodis d'inundació hagin estat menys freqüents d'ençà de l'entrada en funcionament dels embassaments ha provocat l'aparició d'un sentiment de falsa seguretat entre els habitants i responsables de gestionar els assentaments humans, fet que ha afavorit l'ocupació de zones inundables i l'augment de l'exposició al risc d'inundació, sobretot de les zones urbanes (Saurí *et al.*, 1993). També els embassaments generen tot un seguit de problemes ambientals, principalment causats per la derivació de la major part del cabal circulant cap a Barcelona i la seva àrea metropolitana (Pou-Rovira *et al.*, 2015). L'impacte més significatiu és la reducció dràstica del cabal aigües avall del Pasteral, que condiciona l'estat ecològic del riu i dels ambients d'aigües superficials, hiporreiques i subterrànies que en depenen (ACA, 2020). Aquesta reducció de cabal s'agreuja en el marc del canvi global, en què es constata una reducció de les precipitacions, especialment a l'estiu, i un augment de l'evapotranspiració com a conseqüència de l'abandonament d'espais agrícoles i l'augment resultant de la massa forestal, especialment a les capçaleres (ESCACC, 2023). Els embassaments també tenen efectes negatius sobre la biodiversitat vinculada als sistemes aquàtics: d'una banda, a causa de la manca de connectivitat entre aigües avall i aigües amunt, ja sigui per l'obstacle que suposen o pel fet que els rius poden quedar eixuts aigües avall de l'embassament (Boix *et al.*, 2010); de l'altra, degut a la inversió del patró estacional de cabals, que deixa de dependre de factors climàtics i passa a dependre més de les necessitats antròpiques, amb una important reducció de cabal a l'hivern (quan es busca acumular reserves d'aigua als embassaments) i un augment de cabal a l'estiu (quan hi ha més necessitat d'aigua per al regadiu) (Montaner, 2010; Pou-Rovira *et al.*, 2015).



Figura 1: Vista des de Roca Maura dels terrenys inundables del voltant del Ter Vell l'any 1977, majoritàriament substituïts per zones urbanes l'any 2011. Fotos Josep Pascual.

L'ocupació humana del territori al Baix Ter, en especial les urbanitzacions, equipaments i serveis vinculats al desenvolupament turístic, també ha donat lloc a altres problemes que afecten la inundabilitat a escala més local. Hi ha episodis d'inundació que no tenen tant a veure amb el desbordament del riu com amb

precipitacions intenses locals que drenen l'aigua cap a la plana a través de cursos d'aigua més o menys intermitents, fins i tot efímers, que porten aigua només els dies de pluja. Aquestes aigües arriben molt més ràpidament a les zones inundables de la plana abans de drenar cap a mar a través del sistema de llacunes i aiguamolls costaners que es troben al llarg de la costa. També aquí la intervenció humana ha tingut influència en la manera com afecten la població aquestes inundacions. Durant la segona meitat del segle XX, la transformació turística va convertir moltes zones inundables de la plana en zones urbanitzades (figura 1). A més, el creixement urbanístic a les parts altes dels vessants ha substituït boscos i conreus per urbanitzacions. Això té un efecte significatiu en l'escorrentia perquè la pluja que cau sobre superfícies urbanes pavimentades tendeix a guanyar velocitat i arriba molt més de pressa a les zones inundables de la plana, cosa que provoca inundacions. Tot al contrari, els sistemes forestals i els agrícoles retenen l'aigua durant la pluja i n'alenteixen el flux aigües avall. Davant d'aquesta problemàtica, la creació de superfícies de laminació pretén establir un nou model de drenatge en què se substitueixin les canalitzacions actuals, generalment formigonades, que busquen l'evacuació ràpida de l'aigua de pluja, per un rosari de superfícies inundables (superfícies de laminació), connectades entre si per recs més amples i de pendents suavitzats i vegetats que facilitin la infiltració, la retenció de l'aigua de pluja i l'alentiment del flux.

## Superfícies de laminació

Una bassa de laminació és una superfície inundable que recull i alenteix (i, per tant, lamina) tota o part de l'aigua d'escorrentia que li arriba i l'allibera lentament cap a la següent bassa de laminació situada aigües avall. Aquest procés retarda l'arribada de l'aigua als sistemes aquàtics de la plana, millora la seva capacitat de desguàs i disminueix el risc de desbordament dels cursos fluvials principals. Perquè el model sigui efectiu, hem de pensar sempre en una estructura en forma de rosari, de diverses basses de laminació encadenades, de manera que cada bassa rebi aigua prèviament laminada i lamini l'aigua abans de la bassa següent. Els cursos que connecten aquestes superfícies de laminació també han de ser amples, de pendents laterals suaus i vegetats, perquè la disminució de la velocitat i la infiltració sigui efectiva en aquests trams de connexió.

Malgrat que parlem de zones inundables, no ens hem d'imaginar les basses de laminació com un aiguamoll amb aigua permanent, sinó com a prats amb vegetació que tolera la inundació, però que estan secs la major part de l'any (o tot l'any en episodis de sequera). La durada de la inundació d'una bassa de laminació depèn no només de la quantitat de pluja i de la superfície de la conca que hi aporta l'aigua d'escorrentia, sinó també de les característiques del terreny, com la capacitat d'infiltració del substrat o la proximitat del nivell freàtic. Prats d'aquestes característiques són compatibles amb altres usos urbans (per exemple, zones verdes) o agrícoles (com ara closes o prats de dall) i poden actuar com a espais multifunció.

## Planificació del nou model de drenatge

Les primeres accions relacionades amb l'aplicació d'aquest model de drenatge al Baix Ter estan finançades per dos projectes que provenen de fons europeus. El primer és el projecte d'especialització i com-

petitivitat territorial (PECT) *Girona, regió sensible a l'aigua*, els resultats del qual es descriuen en aquest volum. En concret, en el marc de l'operació *Control de l'estat ecològic de les masses d'aigua superficial del Baix Ter a partir d'actuacions innovadores de correcció i adaptació*, portada a terme per la Càtedra d'Ecosistemes Litorals Mediterranis de la Universitat de Girona, es van analitzar les possibilitats d'aplicació d'aquest model de drenatge utilitzant com a conca pilot el sistema Rec Vell - Ter Vell, que drena les aigües del vessant sud del massís del Montgrí, entre els nuclis urbans de Torroella i l'Estartit. Agafant com a referència aquesta conca, es va redactar el Pla d'actuacions per al control de la inundabilitat a la conca del rec Vell - Ter Vell (MINUARTIA, 2020), en què es van definir els següents eixos estratègics orientats a aplicar aquest model de drenatge en aquesta conca:

1. **Disposar d'informació de base necessària per a l'àmbit del pla**, recollint una sèrie d'estudis topogràfics i hidràulics per conèixer millor el funcionament del sistema.
2. **Adequar el rec Vell i el rec del Molí per a funcions ambientals**, plantejant una sèrie d'accions per millorar l'estat ecològic del principal eix de drenatge del sistema, que capta aigua del riu Ter i desemboca a la llacuna costanera del Ter Vell.
3. **Alentir l'aportació d'aigua dels vessants del Montgrí i millorar l'estat ecològic dels cursos que el drenen**, a força de generar superfícies de laminació que desacceleren el flux de l'escorrentia abans d'arribar a la plana.
4. **Recuperar com a closes les superfícies d'inundació i definir àmbits de desbordament del rec Vell**, proposant la creació de zones inundables al voltant del rec Vell, de manera que el rec desbordi per llocs destinats a aquesta finalitat.

Un primer estudi hidràulic (ABM, 2020) demostra que seleccionant les 40 ha de superfícies més inundables al voltant del recorregut del rec Vell i facilitant el desbordament per aquestes superfícies es redueix fins a un 70 % el cabal que circula pel rec i se n'evita el desbordament en pluges per períodes de retorn de menys de 25 anys. Un segon estudi (NATURALEA, 2022) mostra que la retenció d'aigua a cotes més altes també és eficient: la creació d'una superfície similar de basses de laminació als vessants del Montgrí pot recollir un 95 % i un 73 % de l'aigua d'escorrentia per a pluges d'un període de retorn de 5 i 25 anys, respectivament.

El segon projecte és l'*Hidronet Baix Ter*, un projecte NextGen, amb un període d'execució entre els anys 2022 i 2025 (per tant, encara en marxa en la data de tancament d'aquest escrit). Té un pressupost de 2.99M€, cofinançat per la Fundación Biodiversidad, en el marc de la convocatòria de subvencions per al foment d'actuacions adreçades a restaurar ecosistemes fluvials i a reduir el risc d'inundació en els entorns urbans a través de solucions basades en la natura (*Nature Based Solutions*, NbS). La Diputació de Girona n'és el soci coordinador i hi participen la Junta Central d'Usuaris d'Aigües del Baix Ter, el Consorci del Ter, la Universitat de Girona i els ajuntaments de Torroella de Montgrí, Gualta i Ullà. Pel que fa a la planificació, el projecte *Hidronet Baix Ter* planteja la redacció d'un Pla Integral de Gestió del risc d'inundació al conjunt del Baix Ter, des del congost del Ter fins a la desembocadura. Aquest pla ha d'incloure propostes d'accions encaminades a gestionar la inundabilitat al conjunt del Baix Ter, de manera que millori la resiliència i disminueixi la vulnerabilitat, especialment de les zones urbanes, i també garanteixi la millora de les condicions hidromorfològiques de l'estat ecològic dels sistemes aquàtics.



## Modelització i primeres propostes executives

L'aplicació del model de drenatge basat en superfícies de laminació ha entrat en una fase executiva, més enllà de la planificació. Una primera intervenció ja es va fer en el marc de l'esmentat projecte PECT *Girona, regió sensible a l'aigua* i consisteix a crear una superfície de laminació de 0.4 ha (figura 2) que recull les aigües del torrent que drena el polígon industrial de Torroella de Montgrí i té capacitat per evitar el desbordament del rec per a pluges d'un període de retorn de dos anys (NATURALEA, 2021).



Figura 2: Bassa de laminació al polígon industrial de Torroella de Montgrí omplerta amb les aigües de les pluges de finals de l'agost de 2023, les primeres després de la seva construcció el juliol del mateix any. Foto Xavier Quintana.

Les següents actuacions previstes s'emmarquen dins del projecte *Hidronet Baix Ter*:

### 1. Actuació a Gualta

Donada la sinergia entre el coneixement tècnic i local, s'ha arribat a la conclusió que es pot pal·liar el risc d'inundació de Gualta a través de la millora en la gestió d'infraestructures hidràuliques del municipi, i la implementació de NbS com els *buffers* fluvials (barreres de vegetació de ribera) i la bioenginyeria per fer front a l'elevada densitat de canya (*Arundo donax*), en comptes d'implementar superfícies de laminació, com és el cas dels altres projectes descrits en els subsegüents punts 2 i 3.



Mitjançant l'estudi hidràulic elaborat prèviament a la redacció del projecte es va detectar que els problemes d'inundabilitat del municipi de Gualta provenen de la manca de gestió d'infraestructures hidràuliques ja existents (recs, rescloses, comportes, molins, etc.) que a causa de la modernització dels regadius van quedar en un segon pla. Unes infraestructures que en gran part continuen interaccionant amb els cursos fluvials que l'envolten (sobretot el riu Daró) i que formen part del mateix sistema hídic. Analitzant el comportament de les avingudes s'observa que la presència del sífó de Gualta, situat aigües amunt, i el Molí de Gualta, al nucli urbà, condicionen la capacitat hidràulica del rec del Molí a la trama urbana. Per tant, es pot disminuir l'afectació de la inundació dins del nucli urbà mitjançant el control del sífó i de la bassa del Molí. La regulació de la capacitat de desguàs d'aquestes infraestructures evita desbordaments del rec del Molí a la zona urbana per períodes de retorn de fins a 20 anys.

Aquest projecte destina una part significativa del seu pressupost a retirar i controlar espècies vegetals invasores, en especial la canya (*Arundo donax*), definida com una espècie de mal comportament hidràulic i principal responsable de l'estat de degradació del rec, ja sigui per la capacitat que té de debilitar i deteriorar talussos o per la creació d'ecosistemes monoespècífics. Per tal d'abordar la problemàtica de manera integral i respectar el rec del Molí declarat com a bé cultural d'interès local (BCIL), el projecte incorpora tècniques tradicionals (murs de pedra seca) amb mètodes de bioenginyeria (rotllos vegetats o *bioroll*) per assolir una rehabilitació de talussos malmesos i donar el suport estructural necessari, i així evitar desbordaments en èpoques d'avinguda. Finalment, es planteja retirar i controlar la canya amb una actuació posterior de revegetació, en aquest cas d'espècies vegetals autòctones de ribera. Aquesta actuació acaba reforçant els talussos i és acceptada com una NbS anomenada *buffer* fluvial per la capacitat que té d'autoregular el flux hídic i ser un filtre verd entre l'ecosistema associat al rec i els camps agrícoles. La disposició de la vegetació de ribera prevista s'adapta a l'àmbit d'actuació i, d'aquesta manera, l'últim tram és el més interessant en l'àmbit ecològic, ja que es potencia el bosc de ribera, actualment en regressió per l'abundant presència de canya (*Arundo donax*) i bambú (*Phyllostachys* sp.).

## 2. Actuació a la subconca de Mas Moreu (Torroella de Montgrí)

L'estudi hidràulic s'ha fet en tres subconques contigües de la conca del Ter Vell que discorren per les urbanitzacions de la Torre Gran, la Torre Vella i les Dunes, on s'identifica la manca de continuïtat entre els torrents del massís del Montgrí i el seu punt de desguàs al rec Vell. Els punts crítics de drenatge són la carretera GI-641 i les urbanitzacions esmentades, que actuen com a barrera per a la connectivitat hídrica i ecològica. Així mateix, l'elevat risc d'inundació de la GI-641 és la principal causa d'incomunicació entre els nuclis de l'Estartit i Torroella de Montgrí. Consegüentment, es planteja crear basses de laminació que interceptin els torrents de forma directa o que afavoreixin el desbordament del flux preferent cap a una superfície extensa que lamini i acumuli l'aigua. En aquest àmbit d'estudi s'assoliria una reducció d'un 45 % del flux d'aportació al Ter Vell, per un període de retorn de 10 anys, a partir de tres basses de laminació ubicades estratègicament i d'una superfície total aproximada de 3 ha. A la figura 3 es mostra l'hidrograma comparatiu entre la situació actual i la proposada. Aquesta figura també mostra la disminució del cabal punta i la laminació d'aigua d'aproximadament 26.000 m<sup>3</sup>.

L'execució de les basses de laminació està vinculada a la restauració d'hàbitats corresponents a l'àrea biogeogràfica del litoral marítim, prats i jonqueres mediterranis (codi CORINE 15.53 i 15.572<sup>+</sup>), hàbitats propis del territori ruscínic de l'àmbit d'actuació. Per tant, es recuperen hàbitats que antigament configuraven el paisatge d'aquest territori, fet que es valora com a canvi positiu en el camp ambiental i paisat-

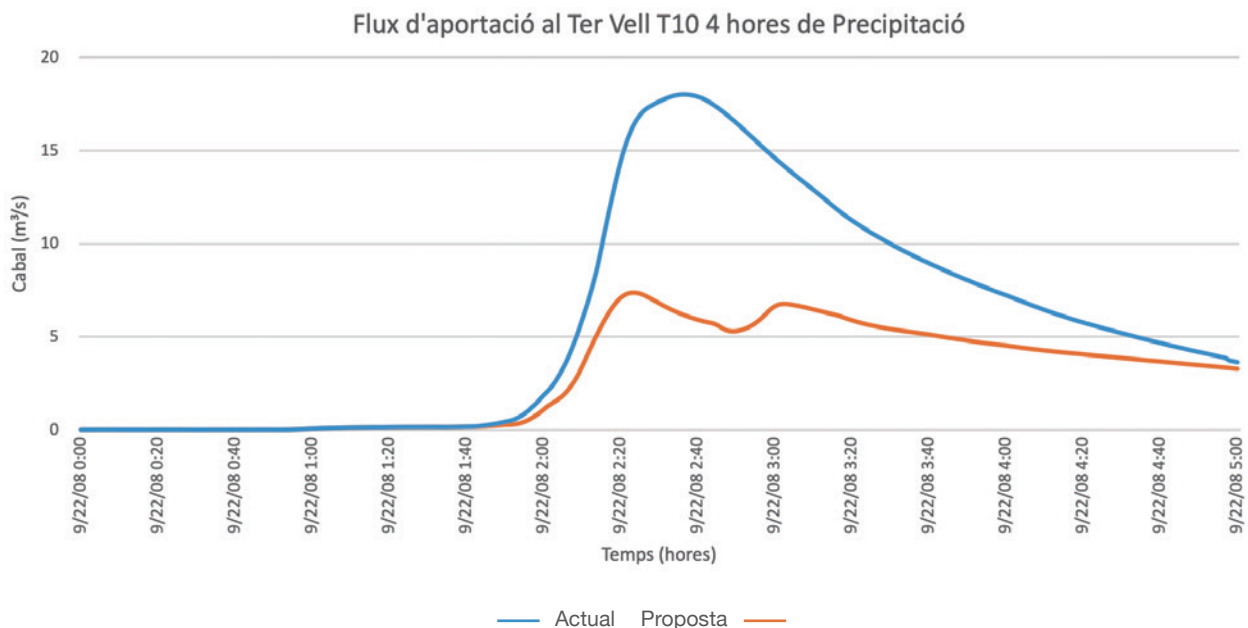


Figura 3. Comparació dels hidrogrames de la situació proposada (blau clar) i la situació actual (blau fosc) d'una precipitació amb una durada de 4 hores per un període de retorn de 10 anys. Programa de càlcul: HEC-RAS.

gístic. Altres actuacions plantejades en el projecte són la retirada de canya (*Arundo donax*) i la posterior revegetació d'aquests espais amb altres espècies vegetals que afavoreixin tant un millor drenatge de les aigües dels torrents com el paisatge agroforestal que defensa el *Catàleg de paisatge: Les comarques gironines* per a la unitat paisatgística de l'Empordanet Baix Ter.

### 3. Actuació a la conca del rec Madral d'Ullà

El municipi d'Ullà se situa entre el vessant sud del massís del Montgrí, el rec Madral i la plana del riu Ter. Aquest rec, provinent de Bellcaire, travessa el municipi de nord-oest a sud-est fins a arribar a desaiugar al rec del Molí. Per tant, el rec Madral té un paper fonamental en la recollida de les esorrenties del mateix massís i de la plana agrícola. La capacitat màxima de desguàs del rec genera problemes d'inundabilitat tant a les principals vies d'accés com a la mateixa trama urbana.

Les modelitzacions mitjançant el programa HEC-RAS permeten obtenir una fotografia de la problemàtica actual pel que fa a la incidència dels règims torrencials al municipi. És a dir, s'identifiquen les zones conflictives i de més interès per poder intervenir-hi mitjançant basses de laminació, a semblança del cas de Torroella de Montgrí. La creació de depressions al terreny permet acumular, retenir i laminar l'aigua, cosa que evita un flux d'evacuació ràpid aigües avall. A la figura 4 s'observa la diferència de calats entre la situació actual i la proposada per un període de retorn de 10 anys. La proposta consta aproximadament de 15 ha de superfícies de laminació d'aigua repartides al llarg de la conca i 5 punts de retenció d'aigua a la subconca de la vall de Santa Caterina. Aquesta proposta permet disminuir el calat d'aigua circulant d'entre 1 i 50 cm en un 37 % de la superfície total inundada. Per tant, la recuperació de zones inundables de forma temporal distribuïdes al llarg dels torrents i recs esdevé clau per mitigar i reduir l'impacte d'avinudes sobtades.

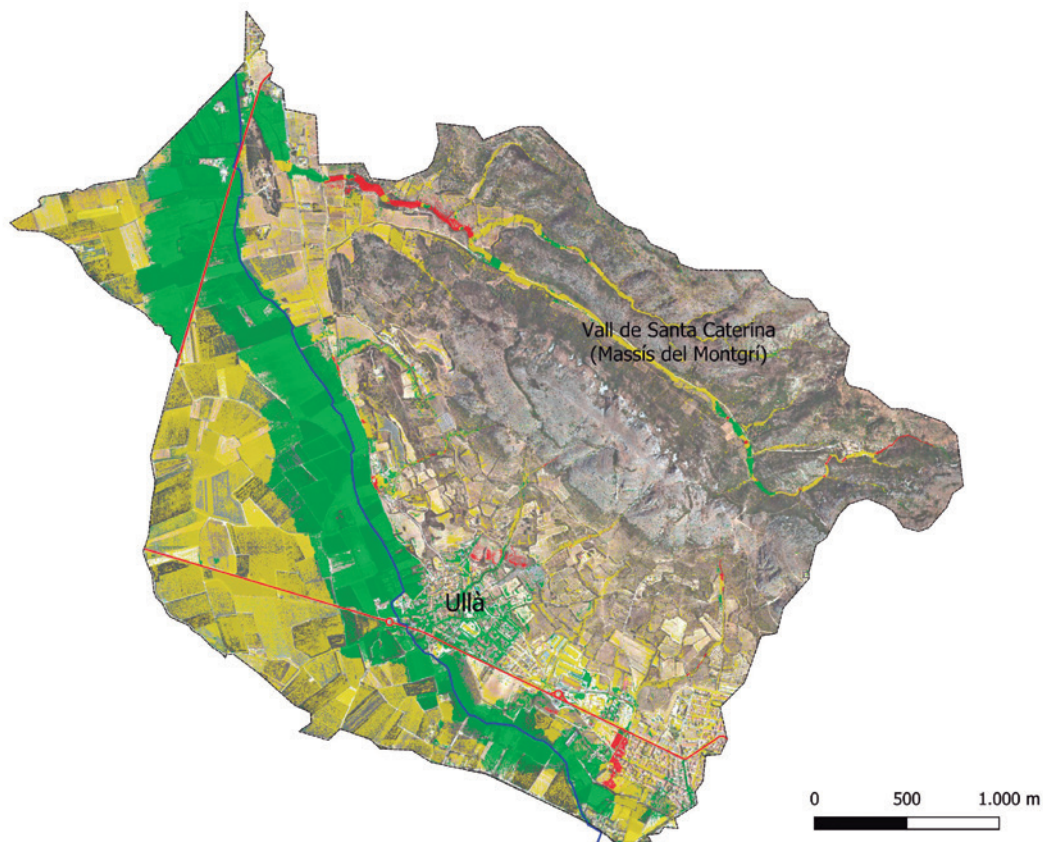


Figura 4. Resultat de la comparació dels calats d'aigua entre la situació actual i la proposada en un període de retorn de 10 anys. El color verd mostra la reducció dels calats d'aigua respecte a la situació actual; el groc, el mateix calat d'aigua, i el vermell, les zones que presenten un augment de calat respecte a l'actual, corresponent a les basses de laminació i altres zones d'actuació com la vall de Santa Caterina. El traçat lineal blau ressegueix el recorregut del rec Madral i el vermell identifica les principals carreteres de l'àmbit. Programa de càlcul: HEC-RAS.

La implementació de basses de laminació també anirà acompanyada per l'adequació del rec Madral, mitjançant diverses actuacions que en milloraran les condicions ambientals. En primer lloc, la retirada i control de canya (*Arundo donax*), que per la densitat i abundància que té altera el drenatge de les aigües derivades pel rec Madral. En segon lloc, s'han previst tècniques de bioenginyeria combinades (rotllos de fibra de coco apuntalats amb estacues vives de vegetació de ribera) per reduir el risc d'esllavissada i augmentar la consolidació dels talussos, en estat crític especialment a la zona urbana del municipi. Finalment, la revegetació es basarà en la plantació d'espècies autòctones de ribera, de menys a més densitat en funció de l'àmbit d'actuació i les necessitats d'usos.

## Efectes sobre la biodiversitat aquàtica

Més enllà de millorar el model de drenatge, la construcció de basses de laminació contribueix a conservar la biodiversitat. D'entrada, es generen noves superfícies aptes per a la fauna i flora de zones inundables, superfícies gairebé desaparegudes degut al model de drenatge convencional. De fet, el model de drenatge de ràpida evacuació característic de les zones urbanitzades afecta negativament la biodiversitat aquàtica, especialment els organismes que viuen en aigües temporànies, perquè pràcticament desapa-

reixen els tolls, recs o basses que retenen aigua uns dies o uns mesos. La conseqüència d'això és que la biodiversitat de flora i fauna associada a les superfícies inundables i a les aigües temporànies està en franca regressió. Els diferents hàbitats i les espècies vinculades a aquests ambients estan inclosos en les llistes de la Directiva Hàbitats de la Unió Europea (Directiva 92/43/CEE) com a hàbitats i espècies que requereixen una protecció especial. Així, aquest model encaixa amb el que es coneix com a NbS, definit com a un conjunt d'accions per protegir, gestionar i restaurar ecosistemes naturals o modificats i que a la vegada proporcionin beneficis per a la vida humana i per a la biodiversitat (IUCN, 2020).

Un altre avantatge afegit d'aquest model de drenatge té a veure amb la millora de l'estat ecològic en les llacunes receptores de la plana. Les superfícies de laminació retenen els nutrients i contaminants que arrosseguen les aigües de pluja que arriben en menor concentració a les llacunes costaneres i als aiguamolls de la plana. El nou model de drenatge potencia la biodiversitat aigües amunt, ja que genera nous espais d'inundació temporània, però també aigües avall, perquè redueix les càrregues de nutrients i contaminants que hi arriben per via difusa.





## Referències

- ABM, 2020. Estudi hidràulic per la millora de la gestió dels escorrentius del rec del Ter Vell al T.M. de Torroella de Montgrí. Càtedra d'Ecosistemes Litorals Mediterranis.
- ACA, 2020. Document IMPRESS 2019. Estudi general de la demarcació, anàlisi d'impactes i pressions de l'activitat humana, i anàlisi econòmica de l'ús de l'aigua a les masses d'aigua al Districte de conca fluvial de Catalunya. Agència Catalana de l'Aigua.
- Boix, D., E. García-Berthou, S. Gascón, L. Benejam, E. Tornés, J. Sala, J. Benito, A. Munné, C. Solà & S. Sabater, 2010. Response of community structure to sustained drought in Mediterranean rivers. *Journal of Hydrology*, 383: 135-146.
- ESCACC, 2023. Marc estratègic de referència d'adaptació al canvi climàtic per a l'horitzó 2030 (ESCACC30). Oficina Catalana del Canvi Climàtic.
- IUCN, 2020. The International Union for Conservation of Nature, Global Standard for Nature-based Solutions: a User-Friendly Framework for the Verification, Design and Scaling Up of NbS. IUCN, Gland, Switzerland.
- MINUARTIA, 2020. Pla d'actuacions per al control de la inundabilitat a la conca del Rec Vell - Ter Vell (Torroella de Montgrí - l'Estartit). Càtedra d'Ecosistemes Litorals Mediterranis.
- Montaner, J., 2010. El flux hidrogeològic de la plana litoral del Baix Ter. *Recerca i Territori*, 2. Càtedra d'Ecosistemes Litorals Mediterranis.
- NATURALEA, 2021. Projecte executiu per a la creació d'una bassa de laminació a Torroella de Montgrí, Girona. Càtedra d'Ecosistemes Litorals Mediterranis.
- NATURALEA, 2022. Estudi de la xarxa de drenatge del massís del Mongrí i el rec del Ter Vell. Càtedra D'ECOSISTEMES Litorals Mediterranis.
- Pou-Rovira, Q., L. Sala, A. Ruhí, A. Comes, T. Puigvert, & D. Ferrer, 2015. La manca de cabal al riu Ter. Basses ambientals i normatives per a reclamar la recuperació del cabal. Càtedra d'Ecosistemes Litorals Mediterranis.
- Ribas, A., 2020. Anàlisi dels impactes i de la gestió del temporal Glòria a la conca del riu Ter. *Treballs de la Societat Catalana de Geografia* 89: 111-135.
- Saurí, D., A. Ribas, D. Roset, & E. Sorribas, 1993. Inundacions i societat al Baix Ter. Consorci de la Costa Brava.

# Implementació d'estratègies demostratives per a la millora de l'eficiència del reg agrícola al Baix Ter

Francesc Camps

Programa d'ús eficient de l'aigua. IRTA  
Junta Central d'Usuaris d'Aigua del Baix Ter



## Introducció

El Baix Ter presenta una versió, en petita escala, de les problemàtiques i la competitivitat sobre els usos de l'aigua presents a Catalunya. En les darreres dècades ha vist minvada la seva disponibilitat d'aigua, tan superficial com subterrània, que s'avança a la problemàtica que tindran altres zones del país en el futur. Presenta diversitat d'usos de l'aigua: abastament urbà, usos industrials, demanda turística, i una demanda del reg agrícola pel regadiu, a través de canals de reg superficial com també de pous que extreuen aigua freàtica. Cal destacar que l'aqüífer del Baix Ter abasta aigua pels més de 100.000 habitants residents i els visitants ocasionals que en època estival, principalment, s'atenen.

En definitiva, el Baix Ter és un laboratori territorial que resumeix en un petit espai la problemàtica de la limitació de disponibilitat d'aigua, que afecta molts territoris de l'Europa mediterrània. Aquestes limitacions tenen el seu origen en els efectes de l'anomenat canvi global, i principalment en tres de les seves causes: el canvi climàtic, el canvi en els usos del sòl i l'augment poblacional i d'estil de vida.

Davant d'aquest escenari, només podem desenvolupar activitats i actuacions que ens permetin adaptar-nos en aquests nous escenaris.

En l'àmbit agrari del regadiu l'adaptació en aquests nous escenaris de reducció de disponibilitat d'aigua passa, sens dubte, per a la modernització dels regadius, la millora de l'eficiència de la gestió del reg en parcel·la, i si és necessari, per l'adaptació de cultius amb més valor afegit.

La modernització dels regadius impliquen canvis en la captació, transport i distribució d'aigua fins a peu de parcel·la agrícola. Aquesta tasca, tradicionalment, l'han fet les comunitats de regants. Les comunitats de regants són entitats de dret públic que a partir generalment d'una sola concessió d'aigua, fan possible el regadiu per a la producció d'aliments en àmplies zones del País, creades a l'empara de l'article 81 de la Llei d'Aigües (RDL 1/2001, de 20 de juliol).

Aquesta indispensable modernització ha de comportar la portada d'aigua a pressió a peu de parcel·la per poder regar amb sistemes de reg molt més eficients com ara el degoteig o l'aspersió, i abandonar el reg per terra o a regues. Això, comporta la transformació dels canals oberts tradicionals a canonades per distribuir l'aigua a pressió, per diferència de cota en els indrets a on sigui possible o, impulsió amb energia elèctrica produïda in situ per energia solar.

Aquest canvi tecnològic i d'infraestructures és complex abordar-lo únicament des del sector productor agrari, perquè aquest és un sector econòmic descapitalitzat per afrontar les inversions necessàries per a la modernització de les infraestructures col·lectives de reg, encara que l'administració hi contribueixi en el 70 % del cost. Amb prou feines, els agricultors poden fer les inversions que pertocquen dins les finques per utilitzar els avantatges que comporta tenir aigua a pressió en l'àmbit d'agrupació de parcel·les agrícoles.

El segon, perquè en una agricultura europea liberalitzada, sempre hi ha altres llocs del món a on els costos de producció i el seu transport dels aliments és més baix que els costos de produir-los en territori europeu. Per això, per continuar l'activitat agrària hi ha els ajuts de la PAC, que permeten mantenir les rendes dels

agricultors europeus, ahora, que el sector agrari de producció vegetal és l'activitat econòmica que és necessari més capital immobilitzat i produeix un rendiment econòmic més baix.

Per això, és indispensable la contribució de tota la societat en aquesta transformació de la gestió de l'aigua en la producció d'aliments i adaptar-nos als nous escenaris d'adaptació als canvis que afecten el sector agrari.

### L'aigua en la producció d'aliments.

Les plantes utilitzen el diòxid de carboni atmosfèric per créixer a partir del procés fotosintètic, motor del qual és el procés de la transpiració. Aquests dos fenòmens fisiològics es regulen de la mateixa manera a través dels estomes de les fulles i, per tant, produir en els vegetals implica transpirar, d'aquí la frase *sen-se aigua no hi ha aliments*, que l'investigador Joan Girona ha contribuït a divulgar. L'aigua és el principal factor limitant de la producció vegetal, i agrícola en particular, en ambients de clima mediterrani (Medrano, et al.; 2007).

Les plantes regulen els seus estomes a través dels nombrosos inputs que reben, però sobretot del potencial d'aigua a l'entorn intern de l'estoma, que ha absorbit per les arrels i dels factors que limiten l'activitat fotosintètica, com són la manca de lluminositat, les baixes temperatures i les afeccions patològiques, principalment.

La transpiració és el desencadenant més important del moviment de l'aigua dins la planta. L'aigua i els nutrients minerals dissolts s'absorbeixen pel diferent nivell de potencial hídric entre els diferents teixits de les plantes. Si la diferència de potencial es va reduint paulatinament, els estomes de la planta es van tancant, evitant la pèrdua d'aigua, l'absorció de diòxid de carboni i, per tant, reduint el creixement i la producció vegetal.

La relació entre l'aigua transpirada i el diòxid de carboni fixat pels cultius agrícoles ja es va començar a caracteritzar per diferents investigadors des de fa bastants dècades (Taula 1).

No totes les parts d'una planta d'interès agrícola tenen interès alimentari, si ens centrem en aquest darrer aspecte, de l'aigua que es necessita per obtenir l'aliment, es pot obtenir una bona aproximació a partir del concepte de petjada hídrica desenvolupat per Hoekstran & Chapagain (Hoekstran & Chapagain, 2008; Hoekstran et al., 2011), a on es determina que a nivell mundial, són necessaris 120 litres d'aigua per obtenir un vas de vi; 70 litres per una poma; 135 per obtenir un ou de gallina, 25 litres per una patata, 3900 litres per un quilo de carn de pollastre, o els 40 litres per una llesca de pa.



Taula 1.- Eficiència de la transpiració de diferents cultius agrícoles. Dades originals de Shantz & Piemeisel (1927) citades per Medrano et al. (2007).

Espècie	Nombre d'observacions	Eficiències de la transpiració (g de biomassa*kg-1d'aigua)
Mill	10	3,75
Sorgo	10	3,29
Blat de moro	33	2,76
Ordi	12	1,93
Blat	37	1,87
Arròs	2	1,47
Patata	6	1,74
Cotó	6	1,76
Userda	13	1,33
Pèsol	2	1,34

Evolucionant aquests càlculs, es pot estimar que l'aigua necessària per produir els aliments d'una dieta mitjana d'una persona del primer món, normalment està compresa entre 2.000 i 5.000 litres al dia dependent de si la dieta és més vegetariana o més omnívora. La dieta més habitual, necessita al voltant dels 3.200 - 3.800 litres per produir els aliments que una persona ingereix cada dia.

La millora de l'eficiència hídrica en la cadena de producció d'aliments és indispensable per afrontar els reptes de les pròximes dècades, si volem intentar assolir nivells de seguretat alimentària que recomana la FAO. Aquesta eficiència en la producció agrícola passa, a més de la millora de les infraestructures de regadiu, per incorporar noves tecnologies per a la programació dels regs a parcel·la que augmentin la seva productivitat i canviar els hàbits de gestió dels recursos hídrics al territori.

### Infraestructures de regadiu. Comunitats de regants i usuaris de pous.

El Baix Ter és la principal zona de producció agrícola de les conques internes de Catalunya. L'aqüífer té una superfície de 166 km<sup>2</sup>, sobre el qual hi ha constituïdes quatre comunitats de regants d'àmbit supramunicipal. Cada comunitat de regants té una única concessió d'aigua per regar col·lectivament el seu àmbit (figura 1). Aquestes comunitats de regants aporten l'aigua, prèvia captació superficial del riu Ter al 60 % de la superfície de l'àrea agrícola aproximadament, mentre que entre 20 % de la superfície de l'agrícola es rega a partir d'aigua d'origen freàtic, a través de pous.

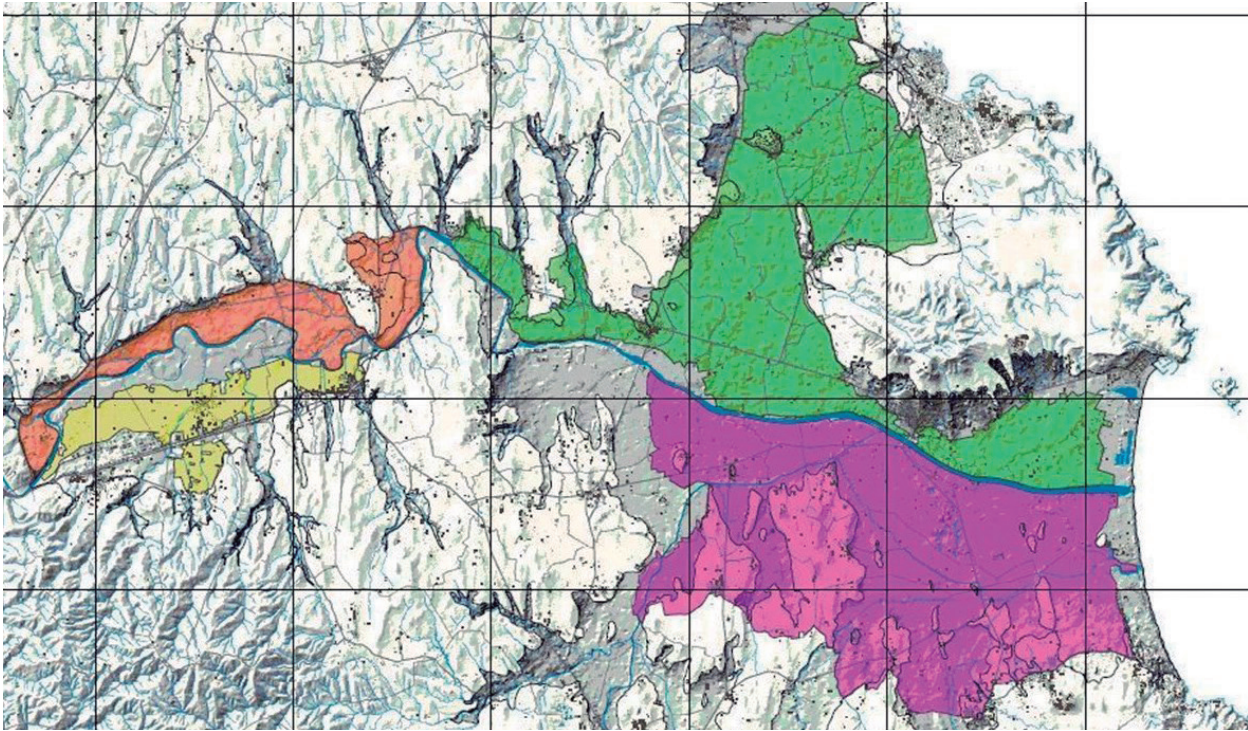


Figura 1.- Mapa superficial de les quatre comunitats de regants sobre l'aqüífer del Baix Ter (gris): Presa de Colomers (verd); Molí de Pals (lila); Sèquia Vinyals (groc) i Sant Julià de Ramis, Cervià de Ter, Sant Jordi Desvalls, Colomers i Jafre (carbassa).

Els cultius del Baix Ter són prou diversificats, destacant els herbacis per a gra, pomeres, herbacis per a farratge, arròs, herbacis oleaginosos, pollancredes (Cervià de Ter i Vinyals), vivers de plantes llenyoses ornamentals (Vinyals) i en menor proporció horta i altres fruiters.

Taula 2.- Principals comunitats de regants del Baix Ter, la seva superfície, el consum habitual d'aigua i nombre aproximat de comuners.

Comunitat de Regants	Superfície (Ha)	Consum habitual (Hm <sup>3</sup> ) per reg	Nombre de Comuners
Presa de Colomers	3.698	24,7	1806
Molí de Pals	2.980	26,9	650
Sèquia Vinyals	915	9,0	400
Cervià de Ter <sup>1</sup>	1200	7,2	120

<sup>1</sup> El Nom oficial és Comunitat de Regants de Sant Julià de Ramis, Cervià de Ter, Sant Jordi Desvalls, Colomers i Jafre

Hi ha una significativa variabilitat en les característiques dels canals principals de reg. Alguns trams disposen de canonades soterrades, quasi tota l'àrea del Molí de Pals, i la Col·lectivitat del Mas Duran, i algunes secundàries de Presa de Colomers, altres encara només disposen dels canals de terra originals per fer anar els molins fariners que hi havia al llarg del trajecte com és el cas de la Séquia Vinyals.

Aquest impuls per transformar el regadiu del Baix Ter, continua amb la modernització d'unes 2.000 Ha en l'àmbit del corredor La Tallada - Albons de la Presa de Colomers per subministrar aigua a pressió i poder transformar el reg a parcel·la; i la substitució dels canals oberts que queden per canonades a la comunitat

del Molí de Pals. Actualment, s'està en fase de redacció del projecte de captació, transport i distribució de les dues comunitats de regants de la cubeta de Celrà (Séquia Vinyals i Cervià de Ter).

El regadiu amb aigua freàtica és més intens en els àmbits fora de les comunitats de regants i el formen uns 1.150 pous inclosos en el registre d'aigües que a través d'autoritacions o concessions tenen dret a l'aigua per regar. Habitualment, els pous pel reg agrícola s'abasteixen d'aigua a l'aqüífer superficial i tenen una fondària màxima d'uns 15-20 metres. En bastants ocasions, amb una bomba superficial és suficient pel bombament de l'aigua de reg.

### Disponibilitat d'aigua al Baix Ter.

L'evolució de la disponibilitat hídrica al Baix Ter des de les darreres dècades del segle passat, ha anat disminuint de forma creixent, malgrat que les necessitats d'aigua han incrementat lleugerament. Els efectes del canvi global, l'increment del transvasament d'aigua del Ter a la conurbació barcelonina i la deficient gestió de l'aigua dels aquífers poden ser les tres principals causes.

Amb els anys aquesta situació s'ha anat agreujant fins al punt que en determinats indrets, ha desaparegut el bosc de ribera i la seva biodiversitat associada, l'aqüífer superficial és molt feble i no pot subministrar l'aigua necessària pel bombament de les autoritzacions, es produeix un increment dels problemes de la qualitat de l'aigua, ja sigui pels efectes de la mobilització de sals congènites en els horitzons del sòl o intrusió d'aigua salina en la franja litoral i augment de la concentració de nitrats en les aigües. Aquests esdeveniments, a més d'una menor disponibilitat d'aigua per mantenir els usos actuals, ocasiona una disminució notable de la garantia de disponibilitat d'aigua al Baix Ter, que afecta les activitats socioeconòmiques, el medi natural i el paisatge.

Les necessitats hídriques per mantenir el medi natural vinculat a l'aigua al territori ha estat qui ha vist minvada amb major grau la seva disponibilitat, seguida de l'activitat agrària de regadiu, que a vegades veu reduïda l'aigua concedida en els embassaments del Ter (Sau i Susqueda) perquè és indispensable per a garantir la seguretat d'abastament urbà a través de la xarxa ATL a l'àrea de barcelonina.

### Transvasament del Ter.

En els darrers anys de la dècada dels cinquanta del segle passat es va donar rang de llei als diferents decrets publicats fins aleshores que varen concedir uns cabals d'aigua del Ter per abastir l'àrea de la incipient conurbació barcelonina (Gaya, 2020). A partir de l'any 1968, en què la infraestructura ja era plenament operativa, s'ha anat incrementant la derivació d'aigua del Ter a l'àrea barcelonina pel desenvolupament econòmic d'aquella àrea del país.

Des de la dècada dels seixanta del segle passat, el riu i el territori que s'estén aigües avall del Pasteral ha estat fortament condicionat pel transvasament i els profunds canvis produïts per la predació hidrològica, tant en l'àmbit socioeconòmic com al medi natural. El seu màxim arriba als anys noranta del segle passat, assolint uns màxims que oscil·len entre els 160-200 Hm<sup>3</sup> en funció dels anys, mentre que l'aportació natural del riu als embassaments es redueix de forma significativa per influència del canvi global. Quan es va planificar el transvasament, el riu Ter aportava als embassaments una mitjana plurianual de 20,46 m<sup>3</sup>/s. Ja en els anys 2000-2008 aquesta xifra s'havia reduït a 11,50 m<sup>3</sup>/s (Armengol i Dolz, 2009).

Al llarg dels anys, els estudis i la recerca sobre l'evidència del desequilibri hidrològic, realitzats per institucions, entitats i professionals de diversos àmbits i disciplines, han estat múltiples, com també els actes socials reivindicatius d'un riu "naturalment" més digne. El conjunt d'iniciatives en defensa del Ter ha perseverat durant dècades en l'alerta sobre l'augment de la vulnerabilitat del sistema hídic, com a resultat indefectible de la privació del règim natural de cabals i l'expansió de la contaminació.

Taula 3.- Transvasament d'aigua del Ter a través de la xarxa ATL des del l'embassament del Pasteral (elaboració pròpia a partir de diverses fonts de dades)

Període	Mitjana plurianual de transvasament
1968-70:	60 Hm <sup>3</sup> /any
1971-80:	125 Hm <sup>3</sup> /any
1981-90:	160 Hm <sup>3</sup> /any
1991-00:	198 Hm <sup>3</sup> /any (màx. 214 Hm <sup>3</sup> /any)
2001-10:	181 Hm <sup>3</sup> /any (màx. 213 Hm <sup>3</sup> /any)
2011-20:	151 Hm <sup>3</sup> /any (màx. 169 Hm <sup>3</sup> /any)
2021-23:	114 Hm <sup>3</sup> /any (màx. 129 Hm <sup>3</sup> /any)

A més del transvasament s'han produït molts altres canvis en el riu per motius diversos, la magnitud dels quals ha trasbalsat l'estructura dels valors naturals i ecològics de fons del sistema hídic, en alguns casos de forma quasi irreversible. És el cas de l'alteració de la morfologia de les lleres i la seva funcionalitat respecte a la recàrrega i els espais de ribera, la pèrdua d'espècies i biodiversitat, el descens del nivell freàtic de base dels aqüífers, la contaminació del llit fluvial, la salinització, el retrocés de les zones humides i la contaminació difusa, entre d'altres.

La conjunció i evolució temporal d'aquests efectes ha derivat en una menor garantia de la disponibilitat d'aigua i d'una pèrdua de resiliència hidrològica del riu i el territori, tal com ha estat recentment diagnosticat per part de l'administració en el marc dels treballs de la Directiva Marc de l'Aigua, a on s'ha reconegut l'existència de diverses masses d'aigua, entre elles el Baix Ter, en risc quantitatiu i qualitatiu. Aquest reconeixement evidencia la persistència actual de la situació de vulnerabilitat hidrològica del Ter i el seu àmbit d'influència i, alhora, compromet el compliment dels ordenaments de la legislació europea en matèria d'aigües i protecció de les persones i ecosistemes. Altrament, la cronificació de la situació considerant les previsions dels efectes del canvi climàtic sembla indiscutible.

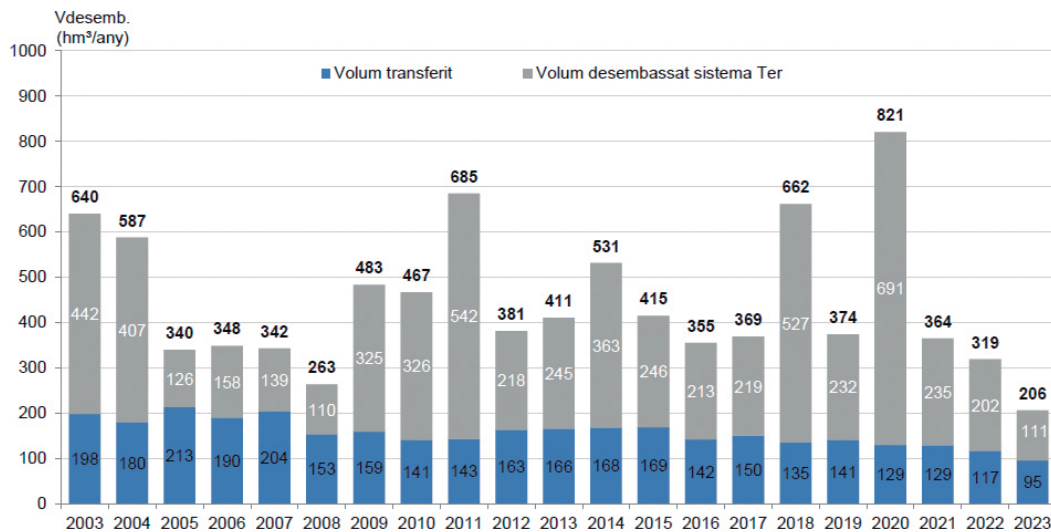


Figura 2. Relació entre el volum transferit, en Hm³ del Ter i el volum desembassat de l'embassament de Susqueda entre els anys 2003 i 2023. (Font: ACA, Comissió ordinària de desembassament Ter Llobregat. 3 de maig de 2024).

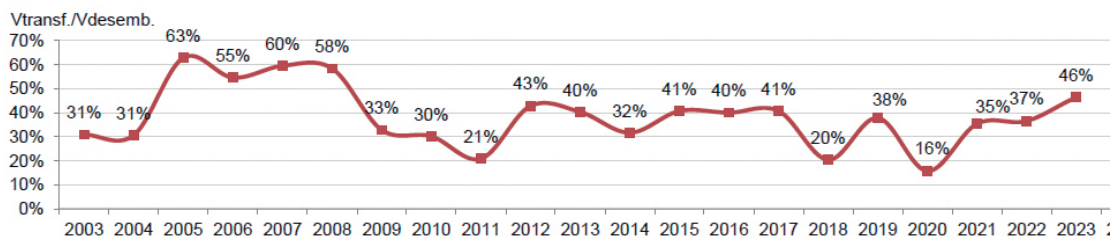


Figura 3. Relació en percentatge entre el volum transferit del Ter i el volum desembassat de l'embassament de Susqueda entre els anys 2003 i el 2023. (Font: ACA, Comissió ordinària de desembassament Ter Llobregat. 3 de maig de 2024).

El compromís de la Taula del Ter, signat el 2017, entre el govern de la Generalitat, l'Àrea Metropolitana de Barcelona i diverses institucions públiques i privades de les comarques gironines comença a posar límits al transvasament i a partir del 2028, any que caldrà tornar-lo a negociar, aquest, no podrà suposar més del 30% de l'aigua que aporta el riu als embassaments, anualment.

## Implementació d'estratègies per a la millora de l'eficiència

Les activitats d'implementació d'estratègies demostratives per a la millora de l'eficiència del reg agrícola al Baix Ter està emmarcat en el projecte d'especialització i competitivitat territorial (PECT) Girona, regió sensible a l'aigua desenvolupat durant els anys 2018-2022. En aquesta línia, el projecte PECT Girona, Regió Sensible a l'Aigua, vol contribuir a consolidar la capacitat de resiliència del sistema hídric del Baix Ter i els seus usuaris, a la vegada que han de consolidar l'adaptació del territori a la menor disponibilitat hídrica futura.



Aquesta operació ha consistit, resumidament, en la creació i construcció del Centre per a la Millora del Reg (CMR) al Baix Ter per assessorar els agricultors de com millorar l'eficiència del reg utilitzant les noves tecnologies de la informació i comunicació per ser més eficients en la gestió agrícola de l'aigua, a partir d'una xarxa de parcel·les pilot automatitzades amb sensors d'aigua al sòl i un sistema expert de confecció a la demanda de consells de reg (quan i quanta aigua cal aportar en cada moment), i transmès via TIC. I la construcció i gestió automatitzada d'una xarxa secundària demostrativa de reg agrícola a baixa pressió mantinguda amb energia solar i gestionada a la demanda, que pugui servir de model en la construcció i gestió de altres canonades secundàries dels regadius.

Aquestes activitats tenen el seu origen en diversos projectes de recerca, desenvolupament i transferència desenvolupats anteriorment en el marc de l'Estació Experimental Agrícola Mas Badia de l'IRTA a La Tallada d'Empordà, que aquest PECT ha permès ampliar, aprofundir i transferir al sector productor i al territori.

Aquestes dues actuacions principals pretenen assolir dos objectius essencials marcats a l'inici del projecte:

1. Millorar la garantia de disponibilitat hídrica suficient per a la superfície agrícola de regadiu del Baix Ter, en el context de canvi climàtic i de competitivitat pels recursos hídrics.
2. Desenvolupar un sistema de gestió sostenible dels recursos hídrics en l'agricultura del Baix Ter utilitzant les TIC, conjuntament amb els actors del territori, que permeti una millora de l'eficiència en l'ús de l'aigua en l'àmbit agrari.

La innovació, l'aplicació de noves tecnologies, l'ús d'internet a les coses i les plataformes digitals, la integració d'idees i la difusió de nous conceptes sociològics al voltant de la gestió hídrica sorgeixen com l'alternativa més plausible per fer front als escenaris de sequera i baixa garantia hídrica que des de fa alguns anys afecten recurrentment el Baix Ter, i situen en la incertesa els eixos bàsics de la seva economia, principalment del sector primari.

## El Centre per a la Millora del Reg (CMR).

Amb l'objectiu d'aplegar a les diferents institucions i persones que gestionen aigua al Baix Ter és va crear i construir el Centre per a la Millora del Reg (CMR) a les dependències de l'Estació Experimental Agrícola Mas Badia a La Tallada d'Empordà, per reunir a les diferents institucions i entitats que gestionen aigua al territori, especialment a les entitats adreçades a l'àmbit agrari, utilitzant les noves tecnologies de la informació i comunicació.

Per qualsevol canvi social es necessari un lideratge fort, i a nivell territorial és necessari un centre de gravetat, que sigui reconegut i acceptat per la majoria dels actors.

El Centre també té per objectiu crear sinergies de cooperació entre les diferents entitats usuàries i gestores d'aigua. Per això, cal crear un marc adient que faciliti aquesta relació per impulsar el desenvolupament i transferència de noves eines (modernització d'infraestructures, digitalització de la seva gestió, transferència de coneixements,..) que ajudin a la millora de l'eficiència en la gestió de l'aigua. En aquest sentit, Mas Badia, a més de ser una estació experimental agrícola, actualment gestionada per l'Institut de

Recerca i Tecnologies Agroalimentàries (IRTA), és la seu social i tècnica de la Junta Central d'Usuaris d'Aigües del Baix Ter i espai de reunió i trobada de diferents entitats, principalment vinculades a l'àmbit agrari.



Figura 4.- Detall del projecte d'obres amb l'estat inicial de la primera planta del Mas, amb imatges de l'estat de la construcció prèvia a la rehabilitació.

La creació del Centre per a la Millora del Reg ha suposat la rehabilitació de la planta baixa i primera del Mas Badia per ubicar-hi el Centre per a la Millora del Reg al Baix Ter durant l'any 2020. El projecte bàsic i executiu va ser redactat per ARQUILIBRI SCP (<http://www.arquilibri.cat/>) i la rehabilitació executiva la va portar a terme l'empresa OICC (<https://www.oicc.es/en/>). Actualment, aquestes dependències estan plenament operatives i acull la seu de la Junta Central d'Usuaris d'Aigües del Baix Ter, així com els tècnics de l'IRTA que treballen amb temes de reg agrícola a Girona, a més de personal de l'estació experimental. A la vegada, el centre dona suport a les necessitats de diverses comunitats de regants de Girona, i en especial a la CCRR Presa de Colomers, la CCRR Molí de Pals, la CCRR Sèquia Vinyals i la CCRR Cervià de Ter, entitats participants no beneficiàries del projecte PECT *Girona, regió sensible a l'aigua*.

L'edifici existent constava de planta baixa, planta pis i altell. Prèviament a la reforma la part de l'edifici que s'utilitzava era la planta baixa i una part de la planta pis de forma precària. La finalitat de la intervenció era millorar i adequar aquestes dues plantes per al seu ús com a oficines i els seus usos complementaris.

Una de les necessitats detectades per al funcionament de les instal·lacions era comunicar verticalment les tres plantes amb una escala reglamentària i un ascensor per tenir un itinerari adaptat, així com comunicar

horitzontalment cada planta de l'edifici. La planificació dels espais va ser la següent: en planta baixa hi ha la recepció, dues sales de reunions, un despatx, un laboratori i un nucli central amb l'accés a les plantes superiors i els lavabos. A la planta pis hi ha quatre despatxos privats, dues sales de treball obertes i un arxiu, a més del nucli central amb la comunicació vertical i els serveis. La consideració inicial per dur a terme la rehabilitació de l'edifici era la de respecte pels seus orígens. S'ha conservat l'estructura tradicional de la masia, amb les tres crugies, i es respecten al màxim els elements constructius originals. Amb les intervencions estructurals s'ha tingut en compte aspectes com no sobrecarregar en excés l'edifici original i adoptar solucions integradores però pràctiques. L'edifici patia unes patologies que calia solucionar: part de forjats en mal estat - per filtracions d'aigua o deformacions - que calia substituir, com una part del sostre de la planta pis. També es van fer reforços a altres elements, com el sostre del laboratori o alguns dentells de les obertures.

Un cop conegut l'estat de l'edifici i el programa de necessitats, l'equip tècnic va fer una proposta clara que es configurava a través del "nucli d'accés" com a element principal de la actuació. Aquest nucli és l'espai mínim d'intervenció que soluciona la comunicació horitzontal, la comunicació vertical i els serveis comuns, inclòs un servei adaptat per persones amb mobilitat reduïda. Concentra la solució en un sol lloc i optimitza el cost de les obres i les despeses. També permet connectar en planta els diferents espais degut a la seva posició intermèdia. Es situa a la façana nord, així s'evita sacrificar la bona orientació per altres usos.

En el nucli de comunicació s'hi ubica l'ascensor adaptat, l'escala, dos lavabos, un segon lavabo adaptat i un espai pels equipaments informàtics i de comunicacions. La intervenció realitzada no modifica la superfície construïda ni el volum de l'edifici ja existent.

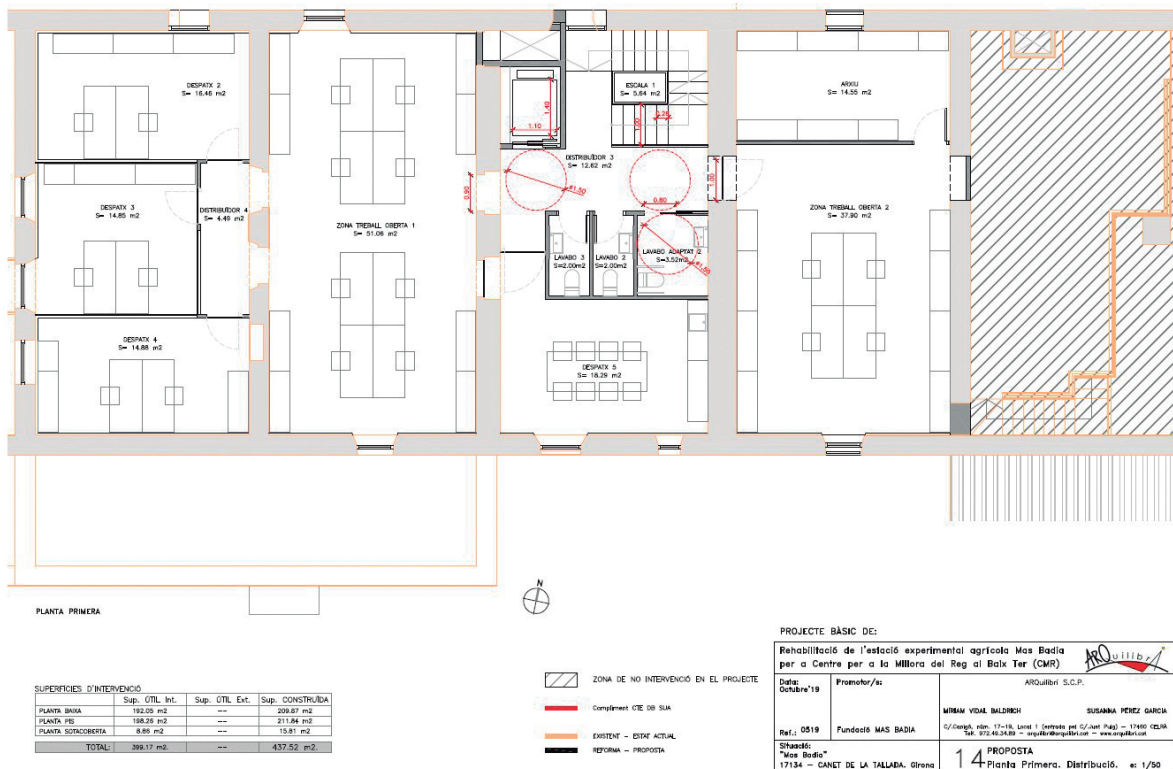


Figura 5.- Detall de la rehabilitació de la primera planta del Mas Badia, per a l'establiment de sales de reunions i de treball pel Centre de la Millora del Reg.

El Centre per a la Millora del Reg, des del novembre de 2020, ja és plenament operatiu, i ha significat una millora d'atenció qualitativa i quantitativa a tots els seus usuaris, tant els permanents com els ocasionals.



Figures 6,7,8 i 9.- Imatges del procés de rehabilitació i adequació de les dependències del Mas Badia (6 i 7). Imatges d'algunes dependències després del procés (8 i 9) amb el mobiliari definitiu.

La reducció de l'aigua agrícola al Baix Ter per efectes de la sequera que es va iniciar el segon semestre 2020, ha ocasionat reduccions dràstiques de disponibilitat d'aigua per a les comunitats de regants, en els anys 2023 i 24. Les instal·lacions del Centre, entre altres aspectes, han permès millorar la comunicació amb l'administració hidràulica a partir de reunions setmanals de coordinació per desembassar l'aigua per les comunitats i el sector agrari.

### Desenvolupament d'estratègies per a la programació del reg en parcel·la.

El desenvolupament de les Tecnologies de la Informació i la Comunicació (TIC) en les darreres dècades ha estat espectacular i té incidència en la vida quotidiana de qualsevol de persona. Un dels objectius fonamentals d'aquest projecte ha estat el desenvolupament d'eines i instruments que utilitzen aquestes tecnologies per a la mesura i posterior tramesa, el processament de diversa tipologia d'informació rebuda i posterior presa de decisions i la seva comunicació als diferents equipaments o persones.

Tradicionalment, la determinació de l'estat hídric de les plantes s'ha realitzat a partir de la mesura del potencial hídric de les fulles a partir de les cambres de pressió tipus Scholander. Aquestes són mesures puntuals i difícilment automatitzables, malgrat que reflecteixen l'estat hídric de la planta de forma molt precisa, per això, habitualment se substitueix per les mesures de potencial d'aigua al sòl o contingut d'aigua al sòl, que tradicionalment es realitzava amb tensiòmetres o sistemes gravimètrics.



Tot i això, la programació de regs, que és el procés per determinar quan regar i quanta aigua aplicar, habitualment s'ha realitzat a partir de l'estimació del balanç d'aigua al sòl (<https://ruralcat.gencat.cat/eines/eina-recomanacions-de-reg-agricultura>). Es tracta de determinar les diferents entrades i sortides d'aigua al sòl, mantenint un contingut d'aigua correcte que no suposi una limitació de rendiment quantitatiu i qualitatiu de la producció agrícola.

El component més transcendent per a la programació de regs basat en el balanç hídric és la determinació de l'evapotranspiració del cultiu (ETc), aspecte que es pot aproximar a partir de la multiplicació de l'evapotranspiració de referència (ETo) i el coeficient de cultiu (Kc). El primer component es calcula a partir de variables meteorològiques de temperatura, humitat relativa, radiació neta i velocitat del vent seguint diverses formulacions. Els coeficients de cultiu varien en funció de les etapes de desenvolupament per cada cultiu. Aquesta metodologia permet una aproximació a la predicció teòrica de les necessitats hídriques d'un cultiu agrícola, però en situacions pràctiques tendeix a sobreestimar les necessitats hídriques i, per tant, les necessitats d'aigua de reg.

A partir dels anys 2014-2016 varen començar a ser assequibles en determinats cultius, els sensors de mesura de contingut d'aigua al sòl amb la tecnologia FDR (*Reflectometria de domini de freqüència*). Aquests sensors són de tipus capacitatiu i permeten determinar el contingut d'aigua a partir de la mesura de la capacítància elèctrica del sòl, que varia principalment pel seu contingut en aigua i es determina per la variació que produeix en la freqüència d'una ona elèctrica prèviament emesa pel mateix sensor.

Aquesta tecnologia de molt baix consum energètic, presenta una elevada sensibilitat al contingut d'aigua al sòl i una gran facilitat de seguiment de la seva evolució en períodes curts de temps, que la fan molt apte pel seguiment del reg a parcel·la.

Es poden estimar les necessitats de reg d'un cultiu a partir únicament del balanç hídric, però fer-ho amb mètodes basats en la mesura d'aigua al sòl amb precisió suficient, permet millorar l'eficiència de l'aigua aportada pel reg i, per tant, evitar l'excés d'aigua de reg per maximitzar la producció. En definitiva, estalviar aigua. Conèixer, doncs, l'estat hídric d'una parcel·la és clau per ajustar les recomanacions de reg. Aquesta informació facilita mantenir el sòl en condicions òptimes d'humitat segons el cultiu i la parcel·la, adquirir coneixements sobre l'ús de l'aigua que fa els cultius i a quines profunditats el fa, i determinar amb més precisió quan (freqüència) i quant (quantitat) regar.

Són instruments preparats per estar a la intempèrie i aguantar llargues temporades al camp. Són robustos i estan dissenyats perquè la bateria (normalment funcionen amb piles) duri com a mínim la campanya de reg, també poden disposar d'una petita placa fotovoltaica que va carregant aquestes bateries. En resum, si es col·loquen en punts representatius de la parcel·la, poden donar informació ajustada i fiable de forma immediata i telemàtica. I aquesta informació és essencial per ajustar l'aigua de reg, a les necessitats de cada cas.

Cadascun d'aquests punts de control es compon de tres elements: els sensors d'humitat del sòl, l'enregistrador de dades, que a més d'enregistrar-les les envia al núvol, i un comptador volumètric.

Les sondes d'humitat del sòl, que poden ser de diferents tipus són els sensors que mesuren el contingut volumètric d'aigua al sòl. S'instal·len enterrades seguint el perfil del sòl a diferents profunditats i entre



l'arbre i el degotador. En fruiters, per exemple, s'acostumen a posar tres sondes a profunditats de 20, 40 i 60 cm, de manera que puguem conèixer la dinàmica de l'aigua a tot el perfil del sòl. En cultius herbacis extensius també és habitual usar-ne tres, però sovint a menys profunditat (15, 30 i 45 cm), tot i que pot dependre del cultiu i del desenvolupament radicular que tingui.

La col·locació dels sensors a tres fondàries que mesuren el contingut d'humitat és per determinar amb facilitat el moviment d'aigua al sòl, evitant pèrdues d'aigua per drenatge a partir de la fondària de la darrera sonda de mesura. La sonda de mesura intermèdia s'ha de col·locar a la fondària que el cultiu desenvolupa la màxima densitat radicular. El sensor més superficial permet determinar i quantificar la influència de les pluges durant el període de cultiu i la seva incidència en el reg.



### Punt de control a parcel·la



- Mesura del contingut volumètric d'aigua en el sòl a **20, 40 i 60 cm**



- **Sensors** de capacitància: DECAGON 10HS, Teros 10, Aquacheck, etc.



- **Comptador volumètric** a la capçalera de la línia.

Figura 10.- Model del punt de control de l'estat hídric en una parcel·la de fruiters. Consta de tres sensors de mesura de contingut volumètric d'aigua col·locats un sota l'altre a 20, 40 i 60 cm de fondària, un comptador volumètric digital de l'aigua de reg de la línia de degoters i un datalogger-transmissió de la informació.

Les dades que recullen els sensors s'enregistren a l'enregistrador de dades, que envien les dades al núvol directament o a través d'una passarel·la o gateway en forma d'estrella. Aquestes capses es tanquen on es connecten els sensors funcionen normalment amb piles (alguns també tenen plaques solars i bateria) i permeten configurar la freqüència de registre o d'enviament de dades, entre altres aspectes. Presenten un funcionament robust al camp i tenen diferents prestacions segons el fabricant.

El comptador volumètric de reg permet saber l'aigua que s'ha anat aplicant a la parcel·la. S'instal·la tant al principi d'una fila de reg i, sabent la superfície que rega, pot estimar el volum de reg aplicat a tota la parcel·la. És essencial per saber si estem regant el que es recomana i detectar possibles desviacions. Aquest aparell de lectura digital també es connecta a l'enregistrador de dades.

Els sensors de mesura de la humitat al sòl, experimenten una ràpida evolució tecnològica, són cada vegada més versàtils, poden incorporar la lectura d'altres paràmetres d'interès agronòmic (concentració de nutrients, nivells de salinitat,...) i pel que fa al funcionament més fiables i precisos. En aquests anys del projecte PECT s'han utilitzat principalment sensors dels models *10HS*, *Teros 10* o *Aquacheck*.



Figura 11.- Tipologia d'alguns sensors de capacitància emprats en les mesures de contingut hídric del sòl (Aquacheck i 10HS0).

L'enregistrador de dades (*datalogger*) és un dispositiu electrònic que recull informació en el temps o en relació amb la ubicació per mitjà d'instruments i sensors propis o connectats externament.

Fins no fa gaires anys, els enregistradors de dades a camp permetien recollir-ne, però calia descarregar-les in situ amb un ordinador. Això limitava fortament la immediatesa de la informació i, per tant, l'agilitat en les recomanacions i la dependència d'algú per recollir-la. Avui en dia, tots els enregistradors de dades poden enviar-les al núvol per diferents vies i amb la freqüència que es configuri.



Figura 12.- Instal·lació d'un punt de control de l'estat hídric del sòl en una parcel·la de blat de moro regada en reg per degoteig.

Habitualment, permeten trametre la informació emmagatzemada de forma sistemàtica i programable a un ordinador a través d'un FTP (protocol de transferència de fitxers). Normalment admeten un cert grau de configuració i deixen escollir la freqüència de registre i d'enviament de dades.

Un dels ítems principals que defineixen la *internet de les coses* (IoT) són les xarxes de comunicacions, que permeten connectar dispositius, màquines, sensors o «coses» que generen dades des de qualsevol ubicació del planeta. En l'àmbit rural o agrari no es fàcil disposar de les xarxes de comunicació pertinents a la informació que es vol transmetre o al dispositiu que es vol connectar.

Pel que fa a les xarxes o sistemes de comunicació n'existeixen de diverses tipologies, totes elles amb les seves virtuts i inconvenients:

### M2M

Les xarxes de comunicacions del sistema M2M (de màquina a màquina) han estat des dels inicis la principal aposta de la IoT per part de les grans empreses del sector de les telecomunicacions. Sempre vinculades a la targeta SIM, aquesta connectivitat ha nascut del model de negoci GPRS, és a dir, del pagament per megabyte (MB) enviat o transmès, tal com es coneixen ara, amb tecnologies 3G/4G.

De tota manera, el concepte d'IoT (connectar molts dispositius que enviïn poques dades) és un dels enemics de l'M2M per la seva difícil escalabilitat, la necessitat d'una cobertura associada a un operador i el cost respecte a les dades enviades. A més, l'alt cost energètic que suposen les transmissions amb tecnologia 3G/4G suposa un peatge important, moltes vegades limitant en equips que s'han d'instal·lar al camp i alimentats amb bateria o piles.

La xarxa M2M és la més comercialitzada al món per la IoT, sobretot pel suport de les operadores de comunicacions, però està destinada a perdre protagonisme a favor de la banda estreta (narrow band) els propers anys.

### LPWAN

El concepte LPWAN no denota cap tecnologia en concret, sinó que serveix com a terme genèric per referir-se a una xarxa dissenyada per comunicar-se sense fils amb una potència més baixa que altres xarxes. Amb l'explosió de noves tecnologies com l'LPWAN s'ha dinamitzat encara més la connectivitat. Aquest protocol d'enviament de dades està dissenyat per transportar sense fils dades entre dispositius separats a grans distàncies. La idea de l'LPWAN és transportar petites quantitats de dades i de forma no constant. Això també incideix en el consum elèctric i, per tant, és fonamental per a l'eficiència dels dispositius que amb bateries podrien durar molt més (anys). El fet és que permet enviar paquets petits de dades (com les dades que s'enregistren d'humitat al sòl), a grans distàncies (perfecte per a equips instal·lats al camp) i sent energèticament més eficient. Totes aquestes característiques estan fetes a mida per a aquests punts de control d'humitat al camp i, per tant, l'enviament amb aquest sistema, que ja és una realitat, apareix com una opció molt vàlida i que encaixa perfectament amb moltes de les necessitats de la IoT.

## BANDA ESTRETA (NB-IoT)

La banda estreta de la Internet de les coses és l'aposta del 3GPP (3rd generation partnership project), una col·laboració de grups d'associacions de telecomunicacions, per donar resposta a les necessitats de comunicació de la IoT. Apareix com una solució a l'augment de les xarxes d'àrea local de baix consum (LPWAN). És una tecnologia mòbil que fa servir les xarxes mòbils de comunicació i que s'ha dissenyat per operar de diferents maneres, incloent-hi l'ús de la banda GSM per substituir el desplegament actual. A diferència de les LPWAN, neix condicionada per l'arquitectura LTE (evolució a llarg termini), que és un estàndard per a comunicacions sense fils de transmissió de dades d'alta velocitat per a telèfons mòbils i terminals de dades, i ha de coexistir amb aquesta tecnologia sense que es puguin introduir modificacions en l'estructura o en l'arquitectura de la xarxa mòbil. Per tant, això es tradueix en una complexitat molt més elevada que la de la seva competidora, LPWAN.

## SIGFOX

Sigfox és la xarxa de comunicacions tipus LPWAN més extensa mundialment, amb una cobertura propera al 98% del territori europeu i americà. Un dels motius principals per fer-ne ús a dia d'avui, a banda de tenir un desplegament i una cobertura quasi globals, és que molts dels fabricants de dispositius IoT s'han adaptat a la seva tecnologia i faciliten la pujada de dades al núvol de Sigfox per deixar-ne disponible l'accés a través de qualsevol connexió a Internet.

El baix cost d'aquesta tecnologia, la seva acceptació per part dels fabricants de dispositius o el fet que sigui una xarxa bidireccional són més punts a favor seu. Per altra banda, en tractar-se d'una freqüència sense llicència podria trobar-se amb problemes de mercat, ja que podria ser regulada pels organismes públics i adquirida pel sector de les grans empreses de comunicacions, les quals aposten per l'M2M o la BE-IoT.

## LoRa

LoRa és una altra xarxa LPWAN amb un model de negoci molt similar a Sigfox, tot i que amb una tecnologia lleugerament diferent, ja que, entre altres coses, utilitza un espectre de comunicacions una mica més ampli que Sigfox. LoRa és una xarxa LPWAN més ben preparada per a una comunicació bidireccional en temps real amb els dispositius IoT. A més, les especificacions per a fabricants que vulguin comunicar els seus equips amb LoRa són més obertes i menys estrictes que Sigfox. Per altra banda, la cobertura LoRa és molt menor que la de Sigfox, ja que actualment només es troba en alguns països (França, Bèlgica, Suïssa...). Un factor, sens dubte, determinant a l'hora de plantejar un projecte d'IoT.

En definitiva, sigui quin sigui el sistema emprat per l'enviament de dades, els valors recollits pels diferents sensors (punts de control) s'envien al servidor de cada proveïdor o empresa de servei i és a través d'una API (interfície de programació d'aplicacions) que es recullen a la plataforma anomenada *WaterCrop* i desenvolupada específicament dins el projecte PECT.

Aquesta plataforma integra la informació tramesa per cada estació de control del reg a camp, integra informació de predicció meteorològica, proveïda en aquest cas pel servei meteorològic suís *Meteoblue* per



a cada punt del continent europeu, incorpora informació rellevant de modelització dels cultius d'interès i es duen a terme els càlculs necessaris per a les recomanacions de reg pels propers set dies.

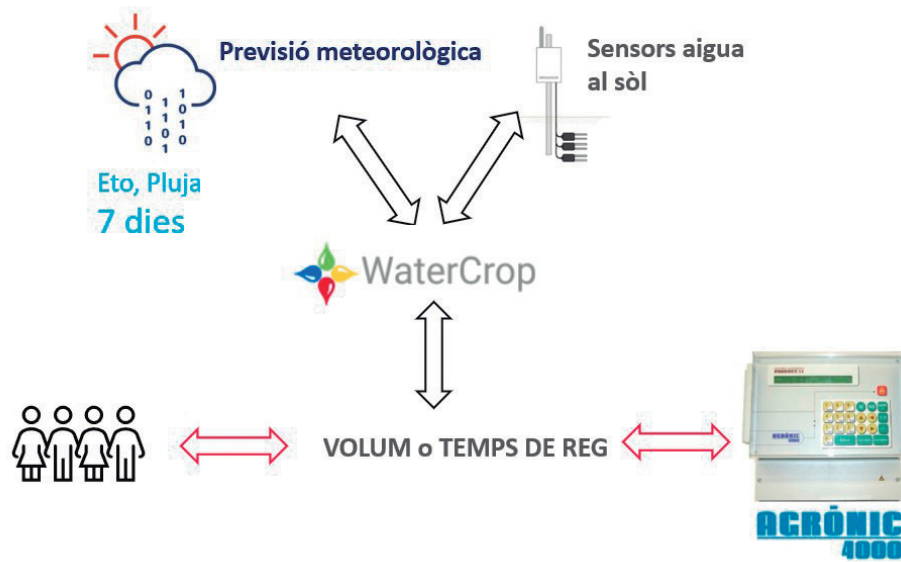


Figura 13.- Esquema de comunicacions del sistema Watercrop.

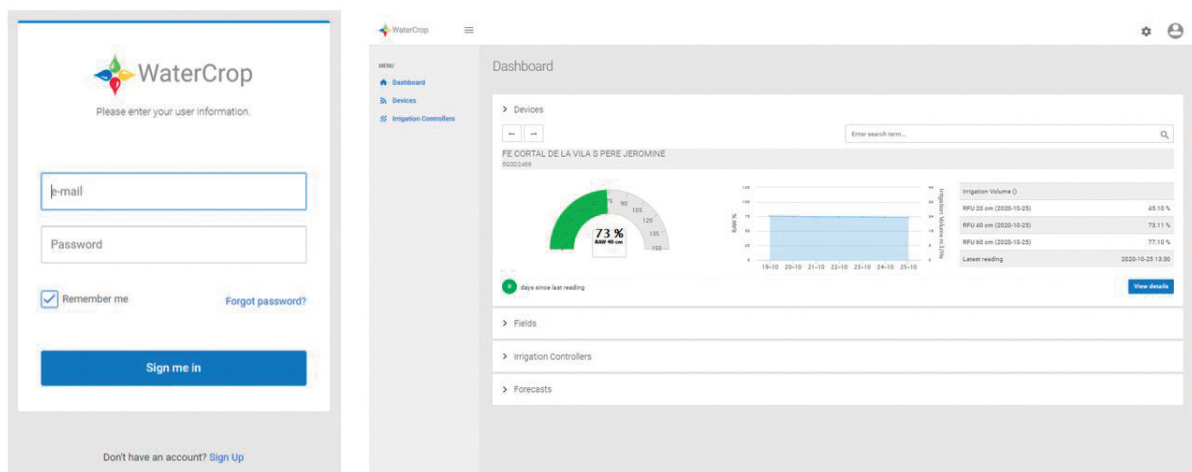


Figura 14.- Imatge de la interfície programari Watercrop.

A la plataforma es poden visualitzar les dades que els sensors d'humitat mesuren i recullen al camp. Aquesta informació, amb un format gràfic i visual, permet detectar amb facilitat possibles anomalies en l'aplicació dels regs, detectant els excessos o dèficits de reg i la seva evolució al llarg de la temporada.



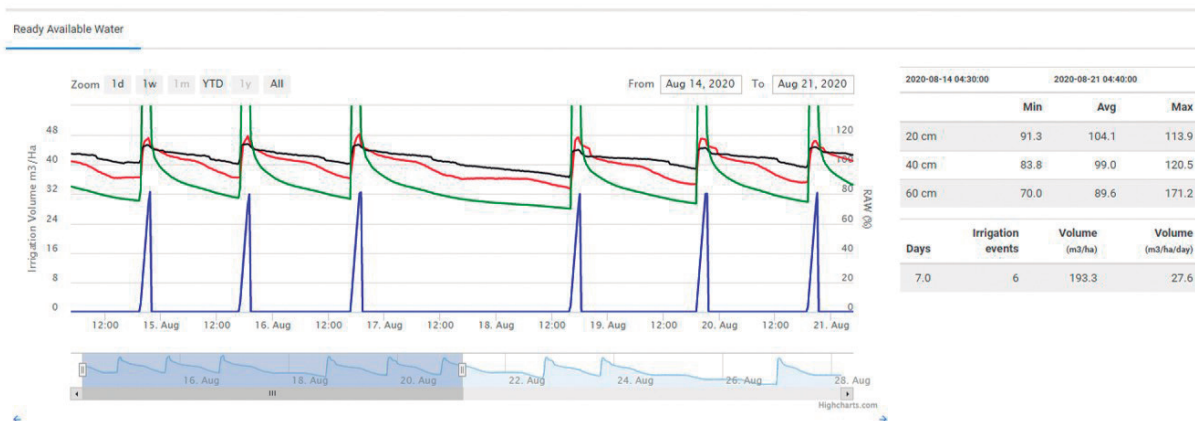


Figura 15.- Imatge de la interfície programari Watercrop, il·lustrant l'evolució dels diferents sensors d'una estació de mesura a camp.

A més d'aquesta informació, el veritable potencial d'aquesta eina és la capacitat de generar recomanacions de reg. Aquesta aplicació permet determinar el volum o el temps de reg més òptim en els propers dies. Els càlculs es realitzen tres vegades al dia de forma automàtica recollint la informació dels sensors de camp i la meteorològica permanentment actualitzades. Aquest procediment corregeix constantment el volum o el temps de reg ajustant-lo als canvis que pugui haver-hi al camp o a la previsió meteorològica (increment de la probabilitat de pluja, per exemple, que faria disminuir el reg paulatinament o l'augment de la previsió de temperatura que el podria fer augmentar), i fa que cada dia el reg s'ajusti a les necessitats del cultiu.

Aquesta rutina operativa permet ajustar les dosis de reg dies abans que es produeixi un episodi meteorològic que ho pugui alterar.

La instal·lació de punts de control de reg és molt utilitzat en plantacions de pomeres. Les cooperatives fructícoles de Girona, entitats participants en el projecte PECT, l'anomenen GIROREG.

La permanència de la plantació al llarg dels 12-15 anys de vida de la plantació permet més temps d'amortització de la inversió dels equips a camp. Actualment, hi ha 136 finques de pomeres adultes instrumentades a la zona fructícola de la IGP Poma de Girona.

En cultius herbacis, el pas de la maquinària i el treball del sòl requereix instal·lar i desinstal·lar amb molta més freqüència els sensors a camp, dificultant la practicitat que qualsevol nova tecnologia ha d'aportar. Actualment s'està contrastant una tipologia de sensors sense fils que poden alleugerir la problemàtica, sempre i quan el cost dels sensors es redueixi.

La plataforma Watercrop subministra tres categories de recomanacions de reg:

- a) Les adreçades específicament a cada camp on hi ha una estació de control del reg, a través del sistema escollit per l'agricultor: ordinador o mòbil.
- b) Les adreçades als tècnics de les cooperatives i/o a agricultors que no disposen als seus camps cap estació de control, a través d'uns resums de la informació de la mitjana de les recomanacions per cultiu, comarca i tipus d'ombreig de les plantacions.

c) Les adreçades directament als programadors de reg de les finques que de forma automatitzada reguen a través del sistema. Sense intervenció directe de l'agricultor i només fent aquest la funció de supervisor del sistema.

La plataforma WaterCrop genera, quan se la consulta o bé de manera programada, la informació necessària per a la programació dels regs per a cada usuari que hi està donat d'alta.

La zona del Baix Ter, des de ja fa alguns anys, compta amb una alta densitat d'aquests equips de mesura d'aigua al sòl, de manera que forma una malla de punts de control de les més altes per unitat de superfície. La cooperació amb el sector i les empreses de tecnologia (amb millores constants) fa que cada vegada s'incrementi més el nombre de punts de control existents.

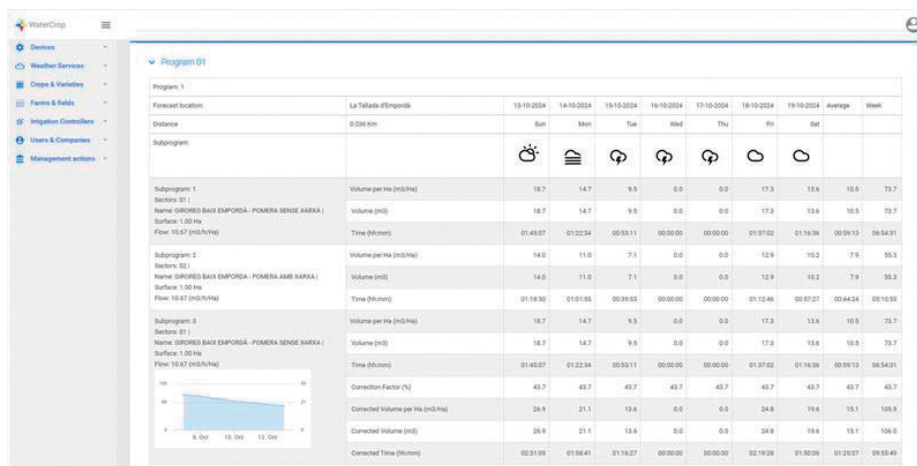


Figura 16.- Imatge de la interfície programari Watercrop, il·lustrant les recomanacions de reg mitjanes a set dies vista per comarca i tipus d'ombreament.

Aquesta monitorització, que cada vegada es pot automatitzar més perquè hi ha menys barreres tecnològiques, permet mesurar l'aigua al sòl i les comparacions realitzades en el marc del projecte en pomeres, permet estalviar fins a un 30% de l'aigua de reg, si es compara amb els sistemes de programació de regs basats en el balanç hídric, sense que això comporti efectes ni en la qualitat ni en la producció.

Com hem vist, doncs, totes aquestes tecnologies i sistemes ens poden ajudar a conèixer l'estat hídric d'una parcel·la, i això és clau per ajustar les recomanacions de reg i ser més eficients en l'ús dels recursos hídrics.

En definitiva, en el marc d'aquesta actuació s'ha planificat, desenvolupat i implementat al territori l'eina de reg, que en pomeres s'ha batejat popularment com a *GiroReg*, que juntament amb la plataforma *WaterCrop*, que recull les dades de mesura d'aigua al sòl dels punts implementats, i juntament amb la previsió meteorològica pels pròxims set dies, subministrades per *Meteoblue* per a les diferents zones del Baix Ter, elabora les recomanacions de reg per a fruiters, centrats en la pomera i els cultius extensius, principalment el blat de moro.

Actualment, d'una manera directa o indirecta, el 70% de la superfície de producció de poma a Girona és afavorida per la implementació d'aquest sistema de recomanacions de reg.

## Adequació i gestió d'una xarxa demostrativa del reg a baixa pressió.

L'evolució de la disponibilitat hídrica al Baix Ter des de les darreres dècades del segle passat, ha anat disminuint de forma creixent. Els efectes del canvi global (augment de la variabilitat climàtica i abandonament de la gestió del sòl rústic que comporta un augment de la superfície forestal), l'increment del transvasament d'aigua del Ter a la conurbació barcelonina i la deficient gestió de l'aigua dels aqüífers poden ser les tres principals causes.

Amb els anys aquesta situació s'ha anat agreujant ocasionant efectes negatius sobre l'aqüífer superficial, la pèrdua de boscos de ribera i la biodiversitat associada o un increment dels problemes de la qualitat de l'aigua, associats, principalment als efectes de la mobilització de sals d'horitzons salins o intrusió d'aigua salina en la franja litoral i augment de la concentració de nitrats.

Aquests esdeveniments, a més d'una menor disponibilitat d'aigua per mantenir els usos actuals, ocasiona una disminució notable de la garantia de disponibilitat d'aigua al territori i especialment a les disponibilitats per usos agraris, que afecta a les activitats socioeconòmiques, el medi natural i el paisatge.

Adaptar el territori a disposar de menys recurs hídric vol dir utilitzar tècniques de distribució de l'aigua en parcel·la més eficients, com ara el reg localitzat i aspersió i deixar d'utilitzar sistemes de reg tradicionals com és la inundació o el reg a regues.

L'aigua és el factor de producció vegetal més important en els entorns de clima mediterrani. La captació d'aigua dels diferents aqüífers subterranis és una possibilitat sempre que es disposi d'una autorització (per a extraccions de menys de 7.000 m<sup>3</sup>/any) o d'una concessió (per a extraccions de més de 7.000 m<sup>3</sup>/any) atorgada per l'administració hidràulica.



Figura 17.- Jornada tècnica explicativa al sector agrari del sistema de bombament solar instal·lat.

Les zones al·luvials es caracteritzen per la seva planúria i no permeten amb facilitat utilitzar la pressió natural que els desnivells poden proporcionar per transmetre pressió a l'aigua de reg. Aquesta pressió necessària per a la modernització del reg en parcel·la únicament és possible amb impulsions motoritzades.

A la vegada, les dificultats i costos de la electrificació en l'àmbit rural juntament amb els costos i problemàtiques associades als motors de combustió (motobomba) i la disminució del cost de les instal·lacions fotovoltaïques fan que la producció elèctrica in situ sigui la forma més eficient per transformar els regs tradicionals en parcel·la cap a regs modernitzats (aspersió i degoteig).

Una de les altres actuacions en la cerca de la millora de l'eficiència del reg agrícola ha sigut la de la construcció i gestió automatitzada d'una xarxa secundària demostrativa de reg agrícola a baixa pressió mantinguda amb energia solar i gestionada a la demanda, que ha de servir de model en la construcció i gestió d'altres canonades secundàries dels regadius del territori, a l'espera de la modernització integral de la totalitat del regadiu i sigui la mateixa comunitat de regants que la pugui subministrar aigua a pressió a cada regant.

En aquests casos, avui en dia el bombament i la distribució d'aigua a la parcel·la per impuls d'energia fotovoltaica esdevenen una oportunitat davant d'altres opcions tradicionals, a través del subministrament de la xarxa elèctrica o a partir de motors de combustió de combustibles fòssils.

Una de les altres actuacions en la cerca de la millora de l'eficiència del reg agrícola ha sigut la de la construcció i gestió automatitzada d'una xarxa secundària demostrativa de reg agrícola a baixa pressió mantinguda amb energia solar i gestionada a demanda, que ha de servir de model en la construcció i gestió de altres canonades secundàries dels regadius del territori.

La millora de l'eficiència i la reducció del cost econòmic dels panells de producció elèctrica fotovoltaica en els darrers anys permeten incorporar aquesta tecnologia en el bombament i la distribució d'aigua en els cultius de regadiu. Això, combinat amb l'increment del cost que suposa estendre la xarxa elèctrica en l'àmbit rural, o amb la incertesa respecte al cost dels combustibles fòssils per bombar aigua dels pous, fa que moltes vegades el bombament solar sigui l'alternativa més econòmica. En la majoria d'ocasions el reg solar va associat a sistemes de reg eficients (reg localitzat o reg per aspersió) perquè necessita menys aigua instantània que el reg per superfície. Per al bombament solar, no són cap limitació ni la fondària de l'aigua ni l'extensió de la superfície que s'ha de regar; senzillament s'han de dimensionar correctament el cabal màxim d'aigua que es necessita, l'equip de bombament i la superfície necessària de panells fotovoltaics per generar la potència elèctrica indispensable.

## Components del reg solar.

Les diferències del sistema respecte a altres instal·lacions de reg modernitzat estan en la incorporació dels elements de producció elèctrica (plaques fotovoltaïques) i el variador de freqüència. La resta de components són similars a qualsevol altra instal·lació de reg que distribueixi aigua a pressió.

Els panells de captació solar es poden col·locar sobre estructures metàl·liques fixes orientades al sud o bé sobre estructures mòbils d'un o dos eixos rotacionals que segueixen el moviment del sol. Els més habituals per a petites instal·lacions de reg són els fixos. Aquestes estructures metàl·liques poden estar situades sobre el terreny o elevades sobre els coberts agrícoles. Per a consums estivals d'energia fotovoltaica, destinats al reg agrícola, els panells han d'estar orientats al sud amb una inclinació òptima que oscil·la entre 30°-32°, per optimitzar la captació d'energia solar en els mesos estivals de funcionament.

El variador de freqüència és l'equipament electrònic que transforma el corrent continu produït a les plaques fotovoltaïques en corrent altern trifàsic. Al mateix temps regula la velocitat de gir dels motors elèctrics i adapta el consum elèctric del motor a la generació de la planta fotovoltaica, en el rang acceptable de funcionament del sistema de reg.

En moments de poca generació elèctrica (al matí o al capvespre), les bombes funcionen a baixa velocitat impulsant volums d'aigua reduïts, i a mesura que la generació elèctrica va augmentant, la velocitat de les bombes també augmenta fins a assolir el cabal nominal de treball on es bombeja el cabal màxim de la instal·lació.

Els variadors de freqüència també fan un control de seguiment del punt de màxima potència (MPPT), la qual cosa permet adaptar-se a les condicions de generació fotovoltaica (variació de la radiació rebuda, temperatura de la cèl·lula fotovoltaica, etc.) reduint els canvis sobtats d'energia transformada, subministrant l'energia a la bomba de manera més constant i minimitzant el pas dels núvols.

Els sistemes de bombament de petita dimensió poden utilitzar corrent continu o altern monofàsic si s'utilitzen bombes de petita potència (inferior a 1,5 kW). Per a sistemes de bombament de més potència, se sol treballar amb corrent altern trifàsic, habitualment amb bombes submergides. Cal seleccionar adequadament la corba característica de la bomba per permetre el màxim ajustament a les característiques de generació fotovoltaica.

El dimensionament de la instal·lació de bombament solar i el seu cost econòmic depenen del cabal d'aigua instantani màxim (m<sup>3</sup>/h) que es vulgui elevar. Per tant, una de les maneres de reduir el cost de la inversió del reg solar és minimitzar el cabal instantani i això es pot fer implantant un reg d'alta eficiència.

### Exemple demostratiu.

Les activitats vinculades a aquesta acció van consistir en seleccionar una canonada secundària de la Comunitat de Regants de la Presa de Colomers anomenada Ramal 22, d'una superfície aproximada de 77 Ha, dels termes municipals de Verges i La Tallada d'Empordà. El sector es va subdividir en dues zones i es va treballar en un àmbit de 32 Ha de les quals 10,5 es volen transformar per regar per degoteig.



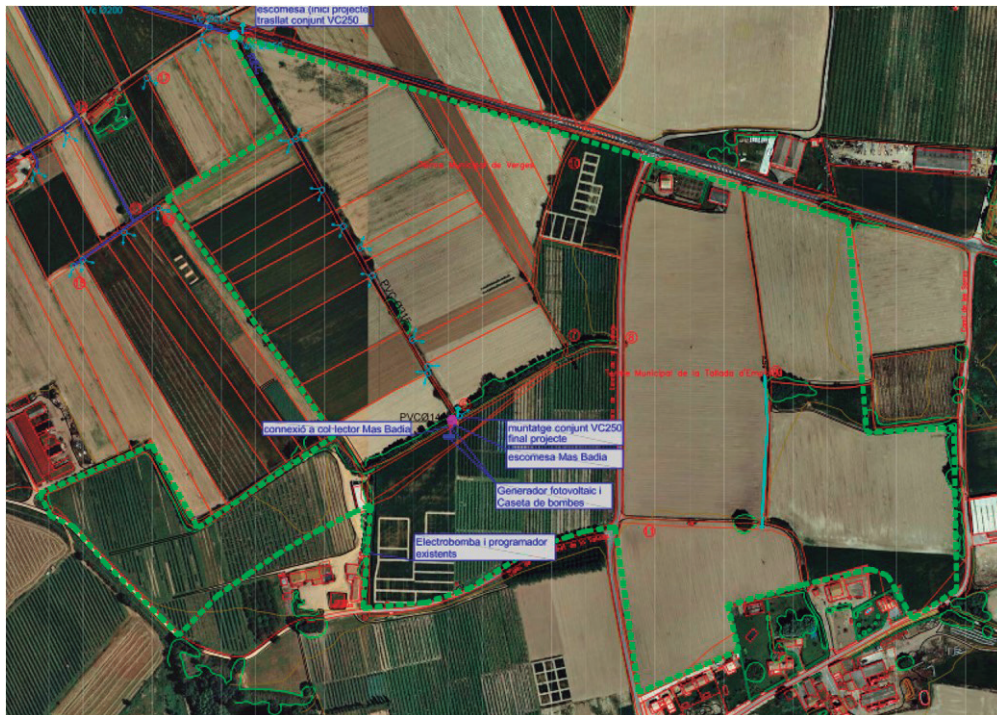


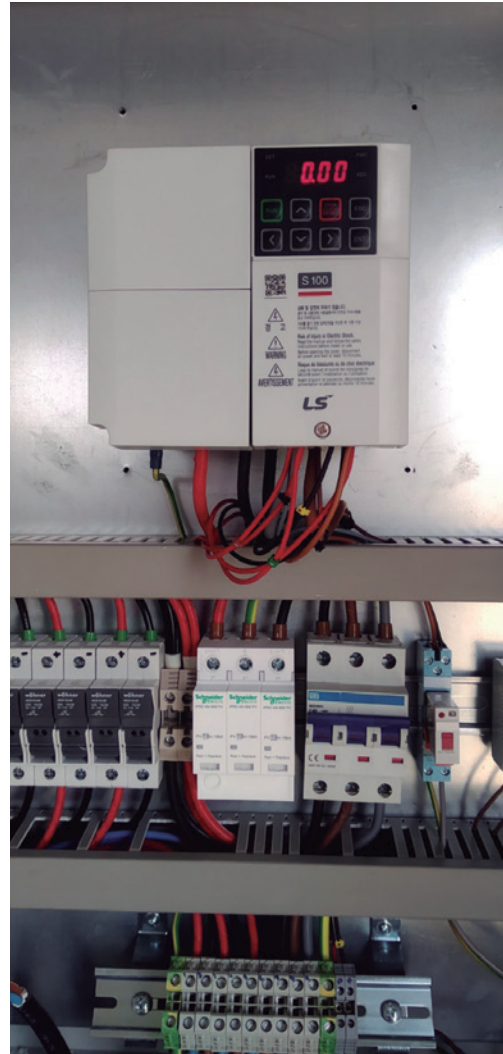
Figura 18.- Àmbit del sector de reg de la comunitat de regants de la Presa de Colomers a on s'ha instal·lat el bombament solar de les 10 hectàrees de fruiters.

L'actuació va consistir en la substitució de 480 metres lineals de canal de terra obert existent per una canonada de PVC de DN 315 enterrada, disposant de boques de reg a les parcel·les que volguessin continuar amb el reg tradicional per superfície a baixa freqüència. Aquesta canonada enterrada possibilita que pugui haver-hi aigua pel reg dels regants amb degoteig que requereixen una alta freqüència de reg (diària a ple estiu). Posteriorment, prop de la canonada es va construir una caseta de reg (per instal·lar l'equipament necessari pel reg per degoteig: bomba, sistema de filtració, sistema de control i comunicació, i el variador de freqüència) i al cantó de la caseta el camp de plaques fotovoltaïques.

El generador fotovoltaic està format per un conjunt de panells solars connectats en sèrie o en paral·lel per assolir els voltatges i les intensitats necessàries per al funcionament de la bomba. Cada panell té característiques tècniques pròpies definides en fàbrica, i nombrosos equips estan certificats per a una durada mínima de 25 anys.

La superfície total dels panells és de 50m<sup>2</sup> i tenen una garantia de funcionament de 25 anys. Per regar les 10,5 Ha amb un cultiu de fruiters com la pomera són necessàries 6h 50' de mitjana durant el mes de juliol i en el mes més desfavorable unes 9 hores, que és al mes de setembre. La pressió de treball habitual és de 1.5 Kg/cm<sup>2</sup>, amb màxims de 2.5 Kg/cm<sup>2</sup> per l'autorentat del filtre.

La bomba elèctrica instal·lada té una potència de 4 kW, permet impulsar un cabal màxim de 45m<sup>3</sup>/h amb els 30 panells solars de 270 W i 1.7m<sup>2</sup> de superfície cadascun, que permet regar les 10 hectàrees de fruiters en reg localitzat per degoteig.



Figures 19, 20 i 21.- Detalls de la caseta de reg amb els diferents components del sistema i imatge del variador de freqüència, peça clau de la conversió de corrent continu que produeixen les plaques fotovoltaïques a energia alterna que utilitzen els diferents components elèctrics de la instal·lació.

Els panells solars dins la parcel·la de reg han de ser considerats com a elements de la pròpia activitat agrària, entre altres aspectes perquè el seu objectiu és produir energia per consumir directament i no per comercialitzar, i per tant no han d'estar subjectes a cap llicència municipal de la mateixa manera que no són subjectes a llicència les estructures de malles o les canonades enterrades del reg dins d'una parcel·la, perquè formen una part intrínseca de la producció agrària.

La incorporació de la producció d'energia per subministrar la pressió suficient en l'aigua de reg, en el cas del reg per degoteig, suposa una inversió inicial que en el cas de projecte ha estat de quasi 8.000 €. La resta de l'equipament és l'habitual en el reg localitzat. Aquesta despesa, tenint en compte que el cost mitjà d'una instal·lació d'aquest tipus connectada a la xarxa elèctrica es de 150€/Ha i any, s'amortitza entre el cinquè i sisè any. Cal tenir en compte que la vida útil d'aquestes instal·lacions són de 25 anys.





Figura 22.- Instal·lació dels panells solars i la caseta de reg de la superfície de reg.

Durant l'any 2020 es va fer la instal·lació projectada i pensada l'any abans (2019) de la instal·lació fotovoltaica. Durant el 2021 es va realitzar la posada a punt del sistema de reg i la compatibilitat del reg per degoteig (a baixa pressió) amb el reg del sector per superfície (sense pressió). La compatibilitat dels dos sistemes de reg amb la mateixa canonada de distribució, permet que sempre hi hagi aigua disponible a la canonada secundària de distribució pels regants per degoteig (perquè són regs d'alta freqüència) i a demanda o a torns per les finques o camps que reguen per superfície.

La cost de la instal·lació fotovoltaica és amortitzable en 5 anys en comparació amb la mitjana del cost energètic d'electricitat de la xarxa elèctrica pel reg per degoteig en fruiters a l'Empordà que és de 150 €/Ha/any.

La instal·lació s'ha mostrat al sector productor en diverses jornades tècniques i ha començat a ser imitada tant pels agricultors que estan en l'àmbit de les comunitats de regants d'aigua superficial, com pels agricultors fora d'aquests àmbits i que capten aigua freàtica. Sobretot, per la fiabilitat de les instal·lacions, curt termini d'amortització i petita superfície d'ocupació de les plaques fotovoltaïques. En el cas dels regants de pou, el cost de l'energia del bombament (ja sigui elèctrica de la xarxa de distribució, ja sigui generada per motors de combustió) és un cost de producció important, mentre que aquest és molt minimitzar molt amb una inversió amortitzable amb un període de temps curt.

Les empreses de construcció i manteniment de sistemes de reg agrícoles de les comarques de Girona, han començat a oferir aquesta tecnologia i ja hi ha exemples implantats al Baix Ter de regs amb aquestes tecnologies (Ultramort, L'Armentera, Ullà, ...).



Figura 23 i 24.- Exemples de diferents instal·lacions de bombament solar per transformar el reg tradicional a reg localitzat en els cultius de blat de moro (Casavells) i en fruiters (Ullà).

La modernització dels regadius (aigua a pressió per regar per degoteig o aspersió) i la millora de l'eficiència de reg a parcel·la són els principals reptes que té l'agricultura mediterrània per a garantir la seva sostenibilitat i el manteniment de la seva activitat en les properes dècades.

El Baix Ter, com a "laboratori territorial" de l'aigua i la seva gestió degut a la limitació dels recursos hídrics i la davallada de la seva qualitat, permet experimentar nous conceptes de gestió per un recurs escàs. La reducció en el consum d'aigua per part dels agents del sector agrari, fruit de la modernització del regadiu i la millora de l'eficiència, permetrà augmentar la garantia d'abastament per als altres sectors econòmics i sobretot pels usos mediambientals i ecosistèmics del propi territori. Ben segur que tindrà un impacte positiu en la zona, i per extensió, en la resta de territoris que potencialment podran importar el model desenvolupat. Que així sigui.

## Per saber-ne més...

VIDEO xarxa secundària de reg a baixa pressió impulsada per energia solar : [https://youtu.be/88-C\\_bKiQlw](https://youtu.be/88-C_bKiQlw)

Fitxa tècnica de la xarxa secundària de reg a baixa pressió impulsada per energia solar: [https://seu.ddgi.cat/web/recursos/document/10415/10842/PECT\\_Girona\\_\\_regio\\_sensible\\_a\\_l\\_aigua\\_Modul\\_6.pdf](https://seu.ddgi.cat/web/recursos/document/10415/10842/PECT_Girona__regio_sensible_a_l_aigua_Modul_6.pdf)

Jornada fructícola d'estiu: <https://www.irta.cat/ca/el-sector-de-la-poma-apren-sobre-les-darreres-solucions-tecniques-a-la-jornada-fructicola-destiu-2020/>

Vídeo jornada fructícola: <https://youtu.be/vjMhD9t0FJc>

Jornada “Usos i gestió de l'aigua al Baix Ter - PECT Aigua”: [https://www.youtube.com/watch?v=\\_UWKJeycfBE](https://www.youtube.com/watch?v=_UWKJeycfBE)

VIDEO sensors humitat al sòl : <https://youtu.be/wvZ8qdCdLDY>

FITXA Tècnica de la xarxa de sensors : [https://seu.ddgi.cat/web/recursos/document/10414/10841/PECT\\_Girona\\_\\_regio\\_sensible\\_a\\_l\\_aigua\\_Modul\\_5.pdf](https://seu.ddgi.cat/web/recursos/document/10414/10841/PECT_Girona__regio_sensible_a_l_aigua_Modul_5.pdf)

Inauguració CMR: <https://www.irta.cat/es/sinaugura-el-centre-per-a-la-millora-del-reg-a-irta-mas-badia/>  
Plataforma WATERCROP: <http://134.209.205.22/>

Jornada “Usos i gestió de l'aigua al Baix Ter - PECT Aigua”: [https://www.youtube.com/watch?v=\\_UWKJeycfBE](https://www.youtube.com/watch?v=_UWKJeycfBE)



## Referències

MAPA, 2024; Política Agrícola Comuna. <https://www.mapa.gob.es/ca/pac/>

Medrano, H., J. Bota, J. Gifré, J. Flexas, M. Ribas-Carbó & J. Gulías, 2007. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones geográficas*, 43:63-84.

Girona, J., 2018. Aigua i aliments: un binomi poc entès. ICEA. <https://www.agronoms.cat/wp-content/uploads/2018/05/Aigua-i-Agricultura-un-binomi-..-JGGc2dp-1.pdf>

Hoekstra, A. Y., A. K. Chapagain, M. M. Aldaya & M. M. Mekonnen, 2011. The Water Footprint Assessment Manual. Setting the Global Standard. Water Footprint Network. [https://www.waterfootprint.org/resources/TheWaterFootprintAssessmentManual\\_Spanish.pdf](https://www.waterfootprint.org/resources/TheWaterFootprintAssessmentManual_Spanish.pdf)

Hoekstra A.Y. i A.K. Chapagain, 2008. Globalización del agua. Compartir los recursos de agua dulce del planeta. Ed. Marcial Pons.

FAO El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo <https://www.fao.org/publications/home/fao-flagship-publications/the-state-of-food-security-and-nutrition-in-the-world/es>

Gaya, J., 2020. El Ter. Dits i fets del transvasament. Ed. Diputació de Girona. Col·lecció Francesc Eiximenis.

Armengol, J. i J. Dolz., 2009. L'Abastament d'aigua a Catalunya i la seva garantia. Nota d'economia. Vol. 93-94 pp.127-139.

# Sistema d'informació per difondre i fomentar el reg de precisió al Baix Ter

Jaume Casadesús, Joaquim Bellvert, Magí Pàmies

Programa d'Ús Eficient de l'Aigua en l'Agricultura. IRTA.



## Introducció

L'aigua és un recurs escàs i de gran impacte en la vertebració del territori. Un dels seus principals usuaris és l'agricultura, a través del reg. Aquest recurs, en les condicions del clima mediterrani, resulta una eina bàsica per mantenir l'activitat. Es tracta d'un ús variable en el temps, molt lligat a la meteorologia, però també a la composició del mosaic de cultius i a les pràctiques agronòmiques, així com a les infraestructures existents per fer arribar l'aigua fins a les parcel·les agrícoles i per aplicar el reg dins de la parcel·la. En situacions d'escassetat, qualsevol ineficiència en la gestió d'aquest recurs implica un risc per a la sostenibilitat econòmica i ambiental de l'activitat agrícola. De manera semblant a altres processos productius, la gestió basada en dades és una aproximació possible per mirar d'optimitzar l'ús de l'aigua per a l'agricultura. En aquest cas, la gestió de l'aigua ha de considerar dos punts de vista complementaris: d'una banda, el dia a dia de la pràctica de reg en cadascuna de les parcel·les agrícoles i, de l'altra, la visió panoràmica de l'ús col·lectiu per a l'agricultura i com està repartit en el territori aquest ús.

L'optimització de l'ús de l'aigua per al reg no és una utopia, sinó que hi ha diverses tecnologies que poden ajudar a abordar-ho, en general aplegades sota el concepte de reg de precisió, que consisteix a aplicar la dosi justa de reg en el moment i llocs oportuns, atenent unes necessitats hídriques que varien al llarg del temps, que són diferents d'una parcel·la a una altra i, fins i tot, podrien variar entre zones dins d'una mateixa parcel·la. Per estimar quines són les necessitats precises de reg per a un dia i sector de reg concrets necessitem algunes dades. Per començar, el tipus de cultiu i de sòl, el sistema de reg i la meteorologia de la zona. També l'historial de reg aplicat fins al moment. A grans trets, podríem tenir una estimació grollera de com està desenvolupat un conreu en una parcel·la i data concretes a partir del tipus de cultiu i la informació meteorològica. Això, però, té un marge d'error important. La teledetecció des de satèl·lit ens ofereix l'oportunitat d'observar periòdicament l'estat de la coberta vegetal en qualsevol indret del món. Si bé hi ha diversos satèl·lits que ens poden proporcionar aquest tipus d'informació, aquí ens fixarem sobretot en SENTINEL-2, operat per l'Agència Espacial Europea (ESA), previst per a aplicacions en agricultura i que ofereix públicament les imatges.

Les imatges de teledetecció no diuen directament quant cal regar, sinó només com es troba el cultiu. A més, algunes imatges poden fallar perquè aquell dia estava núvol. Per tot això, més que no pas decidir el reg directament de les imatges, el més interessant és usar aquestes imatges per ajustar, parcel·la a parcel·la, uns models de simulació dels cultius que ens portaran els comptes de quanta aigua consumeix dia a dia el cultiu de cada parcel·la i, a partir d'això, quanta n'hi hauríem d'aportar amb el reg per reposar les extraccions.

Aquests models de simulació poden aprofitar dades públiques com ara la distribució de cultius declarats els anys anteriors en la declaració única agrària (DUN), mapes de sòls o topogràfics, etc., que usem per configurar individualment la simulació de cada parcel·la. I, sobretot, usen dades meteorològiques que obtenen, sobre la marxa, de la xarxa d'estacions automàtiques.

Amb les dades meteorològiques recollides a temps real, al llarg de la campanya podem estimar l'aigua que ha anat consumint el cultiu. Si un regant ho compara amb l'aigua que ha anat aplicant, podrà obtenir una recomanació de reg per als següents dies. Al mateix temps, amb dades meteorològiques històriques,

d'anys anteriors, els models poden preveure quina forquilla de necessitats hídriques podria tenir aquesta parcel·la des de la data actual fins al que resta de campanya.



Figura 1. Amb models de simulació de cultius podem aprofitar informació de distribució de cultius, dades meteorològiques i observacions de teledetecció per estimar les necessitats hídriques a temps passat. Si projectem les estimacions cap endavant podem preveure una forquilla de requeriments hídrics per a la campanya de reg.

Els mateixos models podrien permetre, a partir de les simulacions que ha anat ajustant amb les observacions de teledetecció, estimar una forquilla de collita potencial per a cada parcel·la; això és, un rang de valors possibles de collita, suposant que no depèn de res més que de la dinàmica observada de la vegetació i del seu ús de l'aigua. A la pràctica, la collita real pot estar limitada per factors no observables per la teledetecció i tampoc contemplats en els models de necessitats hídriques, de manera que per ser realistes cal considerar un marge d'error derivat d'aquestes incerteses.

En aquest article descrivim la plataforma IrriTer, desenvolupada en el marc del projecte PECT Girona, *regió sensible a l'aigua*, amb l'objectiu d'aportar un instrument per fomentar el reg de precisió en el marc del Baix Ter i facilitar la doble visió que aplegui el detall de cada parcel·la agrícola i, alhora, l'agregació de tot el conjunt de parcel·les que componen el territori. IrriTer vol afavorir que els principals implicats o interessats en l'ús d'aigua de reg en el tram final del riu Ter disposin de dades precises de la demanda hídrica prevista en totes i cadascuna de les parcel·les agrícoles incloses dins de l'àrea de treball. Entre aquestes dades hi ha l'evapotranspiració (ET) dels cultius, que és la quantitat d'aigua per m<sup>2</sup> que diàriament passa del sòl i cultiu a l'atmosfera, i el reg raonable atenent el tipus de cultiu, sòl, sistema de reg i condicions meteorològiques. Aquestes dades s'actualitzen en una freqüència diària i se'n pot consultar l'estat actual, l'historial des de l'inici d'any i les previsions fins a final d'any. Els usuaris poden consultar aquestes dades en forma de mapes interactius i gràfics de sèries temporals. A més, les dades també estan disponibles, de forma oberta, per a l'ús de tercers, ja sigui per mostrar-les en altres llocs



web o bé per integrar-les com a inputs d'altres aplicacions, com ara sistemes d'automatització de reg o models hidrològics.

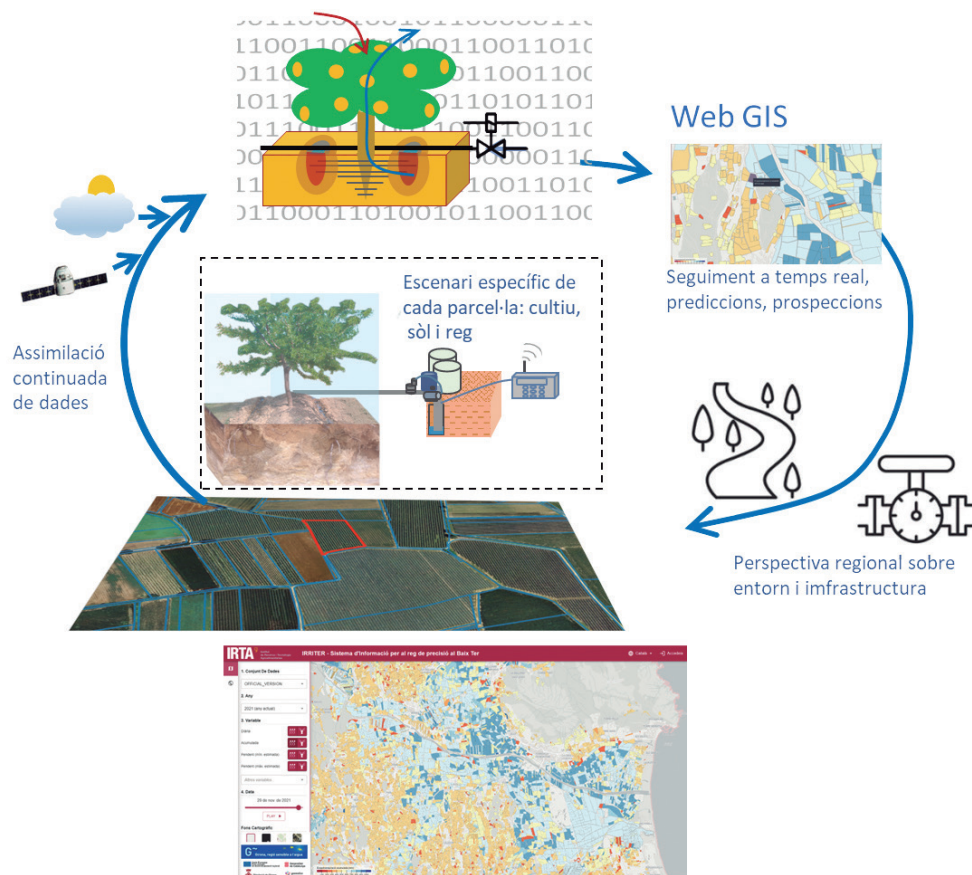


Figura 2. Aplicació del paradigma de bessons digitals a la supervisió de les necessitats hídriques dels cultius del Baix Ter. Cadascuna de les parcel·les agrícoles té la seva representació digital que se simula a temps real alimentada per dades meteorològiques i de teledetecció, per generar diverses capes de dades geogràfiques del territori.

La plataforma va orientada a una audiència variada: públic general, regants, tècnics públics o privats relacionats amb la gestió de l'aigua, investigadors, estudiants i centres educatius. També es demana que les dades siguin accessibles a sistemes informàtics externs, usant protocols ben establerts. Un tipus especial d'actor són altres sistemes informàtics, que poden obtenir dades d'IrriTer a través de protocols i formats estàndard en l'àmbit dels Sistemes d'Informació Geogràfica (SIG).

IrriTer és accessible al públic a l'adreça [www.irriter.cat](http://www.irriter.cat). A part d'aquest visor públic, el sistema de simulació es pot usar en un entorn privat per fer prospectiva de l'impacte potencial de diferents escenaris hipotètics, com ara alteracions en la disponibilitat d'aigua, en la distribució de cultius o en les condicions climàtiques.

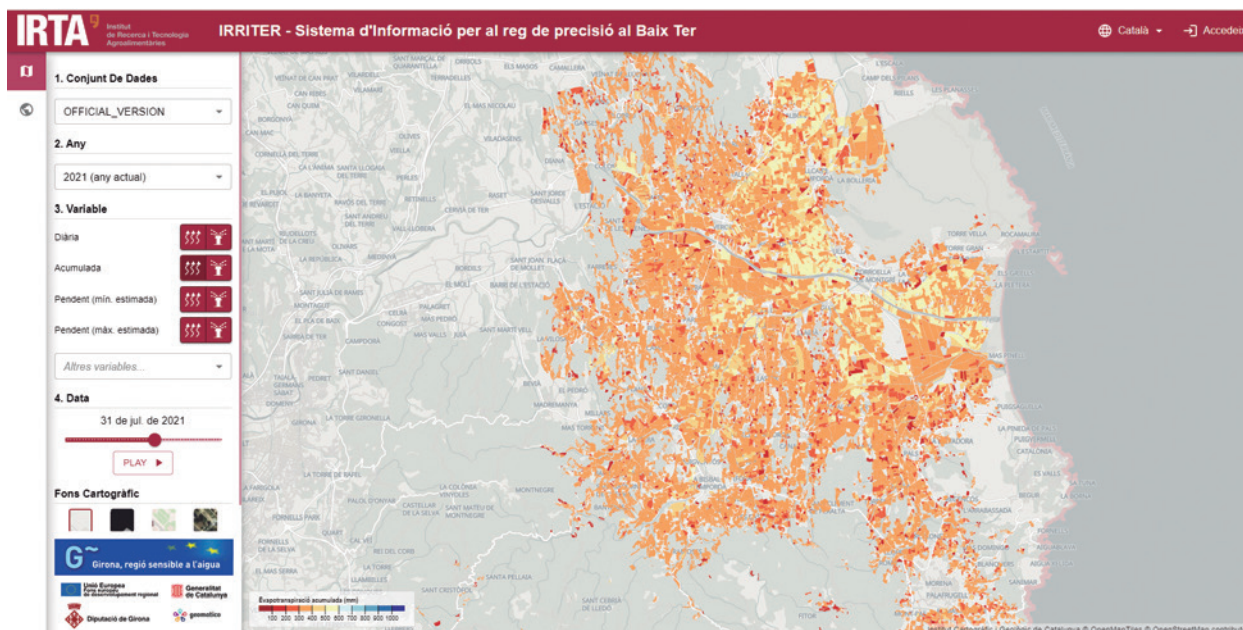


Figura 3. Captura de pantalla del visor d'IrriTer.cat, visualitzat des d'un navegador, en què es mostra l'abast inicial de l'operació, centrada en el Baix Ter.

L'objectiu inicial de l'operació era aprofitar l'oportunitat que representa, de cara a la gestió de l'aigua de reg, la simulació dels cultius a temps real ajustada amb observacions per teledetecció. Aquesta combinació de simulació i teledetecció ens permet fer estimacions del consum d'aigua per al cultiu sobre la marxa, en cadascuna de les parcel·les, i preveure les seves necessitats fins a final de campanya. Cal remarcar que, en el moment que es va plantejar, el 2016, l'operació era tècnicament agosarada perquè algunes de les tecnologies que calia usar tot just començaven a estar disponibles -els satèl·lits Sentinel2 encara no estaven operatius- i s'han consolidat al llarg del temps transcorregut des d'aleshores. Concretament, la idea central de l'operació és l'oportunitat de simular a temps real totes i cadascuna de les parcel·les agrícoles del territori a través d'entrar en models de simulació de les imatges de teledetecció satel·litària a mesura que es van obtenint. Actualment, aquest concepte encaixa de ple en el que s'ha anomenat paradigma de bessons digitals (*digital twins*, en anglès), que consisteix a tenir representats en un entorn digital els detalls d'un sistema real d'interès (en aquest cas, el conjunt de parcel·les regades del territori), mantenir-lo actualitzat respecte a la realitat a través de diversos mètodes d'observació (com ara la sen-sòrica i la teledetecció) i reproduir-hi mitjançant simulacions els processos més rellevants que hi tenen lloc (en aquest cas, el desenvolupament dels cultius condicionat per la dinàmica de l'aigua en el sistema sòl-planta-atmosfera). El concepte de bessó digital va aparèixer inicialment en el context de la indústria aeroespacial (Glaessgen i Stargel, 2012) i recentment s'ha convertit en una tendència emergent en un ampli ventall d'àmbits d'aplicació (Tao i Qi, 2019).

L'abast geogràfic inicial d'IrriTer estava centrat estrictament en el Baix Ter. Una vegada assolida aquesta fita, l'estiu de 2022 es va plantejar la possibilitat d'ampliar la zona d'estudi per incloure-hi el Baix Fluvià i la conca de la Muga, que en aquell moment ja es veien afectats per una incipient sequera, que es va estendre i agreujar en la campanya de 2023. En aquest sentit, les prestacions han anat augmentant, en el sentit de cobrir una àrea més extensa i afegir-hi més capes d'informació.

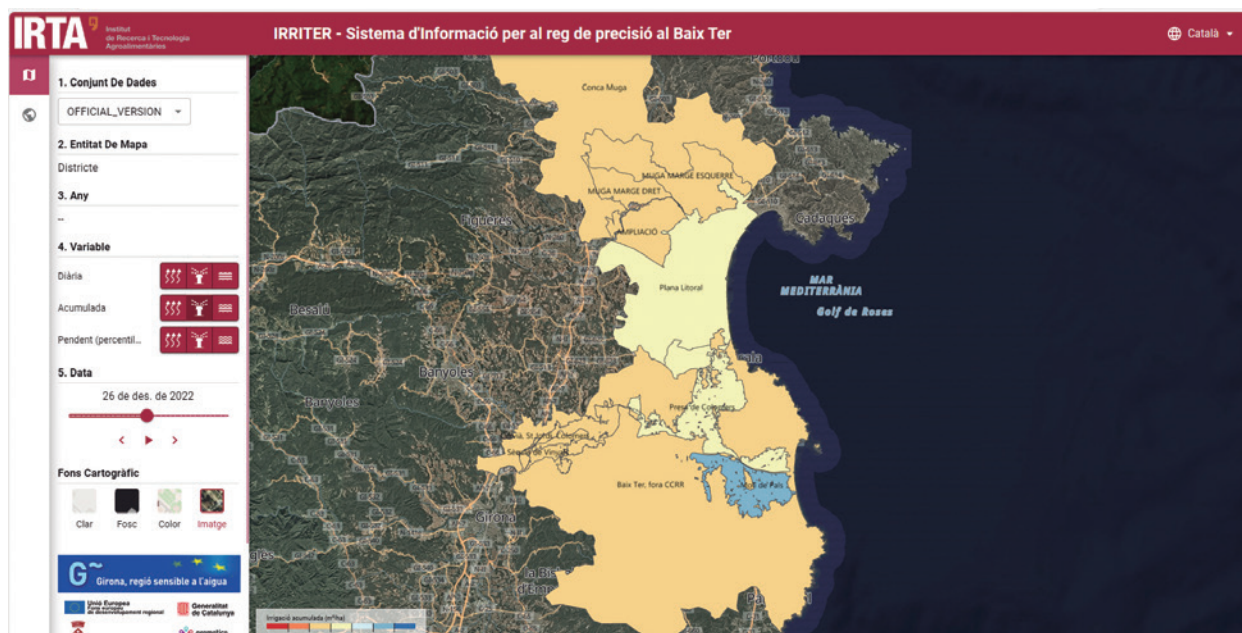


Figura 4. Captura de pantalla d'IrriTer.cat, que mostra l'abast final, en què arran de la sequera de 2023 es van afegir a la zona d'estudi el Baix Fluvià i la conca de la Muga.

## Plantejament conceptual

La idea principal consisteix a simular el balanç hídric de totes i cadascuna de les parcel·les regades del territori, a temps real, emprant tota la informació que podem obtenir sobre la marxa. Les fonts d'informació inclouen les dades d'anys anteriors de la DUN, la seqüència d'imatges satel·litàries i les dades meteorològiques. També inclouen l'actualització diària de dades meteorològiques enregistrades a la zona, així com les imatges dels satèl·lits Sentinel2 actualitzades cada 5 dies. D'altra banda, el sistema també recull i fa servir informació sobre les normatives aplicables a diferents zones del territori, com per exemple les dotacions assignades per l'ACA o per cada comunitat de regants a diferents tipus de cultius.

En primer lloc, el sistema ha de disposar d'una adequada descripció del territori, quant a propietats que en general no canvien de manera rellevant d'un any a l'altre. D'una banda, recull el mapa topogràfic i el mapa de sòls de Catalunya 1:250.000, juntament amb una o més fitxes descriptives de les propietats físiques del sòl per cadascuna de les classes que es troben en la zona d'estudi. Com a referència del parcel·lari s'ha pres el del Sistema d'Informació Geogràfica de les Parcel·les Agrícoles (SIGPAC) corresponent a l'any 2022. Per poder seguir fàcilment l'evolució del balanç hídric i els cultius entre diferents anys, s'ha mantingut per a tots els anys aquest mateix perímetre de cadascuna de les parcel·les, indistintament del perímetre que constés en la DUN d'un any concret.

En segon lloc, la distribució de cultius sí que canvia d'any a any. La principal font d'informació sobre els cultius ha estat la DUN, que s'actualitza cada any i, almenys a Catalunya, són dades d'accés públic. Ara bé, la data de publicació sol ser en el quart trimestre de l'any, de manera que és útil de cara a conreus que

es mantenen de manera plurianual, però arriba massa tard de cara a simular a temps real les parcel·les de cultius anuals. Per això, per tal de conèixer com abans millor el cultiu que hi ha a cada parcel·la, el que s'ha estat fent a IrriTer és començar cada any mantenint el cultiu de l'any anterior i analitzar cada setmana la seqüència de vigor vegetatiu de cada parcel·la, és a dir, els valors de vigor estimats en les successives imatges de teledetecció, contrastant-la amb el patró caracteritzat en anys anteriors per a diferents tipus de cultiu. Si la seqüència observada s'aparta de l'esperada per al cultiu suposat fins aquell moment, se selecciona el cultiu que presenta millor coincidència amb la seqüència observada. Pel que fa al mètode de reg (p.e., inundació, aspersió, localitzat, etc.), aquesta informació s'agafa de la DUN, on apareix des de 2022, i es complementa amb una fitxa descriptiva, representativa de cada mètode de reg en aquest territori concret (p.e., distància entre degoters, cabal nominal, etc.), a fi d'usar aquestes dades en les simulacions. D'entrada, cada parcel·la s'inicialitza amb els paràmetres per defecte corresponents al seu tipus de cultiu, de sòl i de sistema de reg i, en cas de disposar d'informació més detallada, s'hi poden entrar les propietats concretes per a cada parcel·la de manera individualitzada.

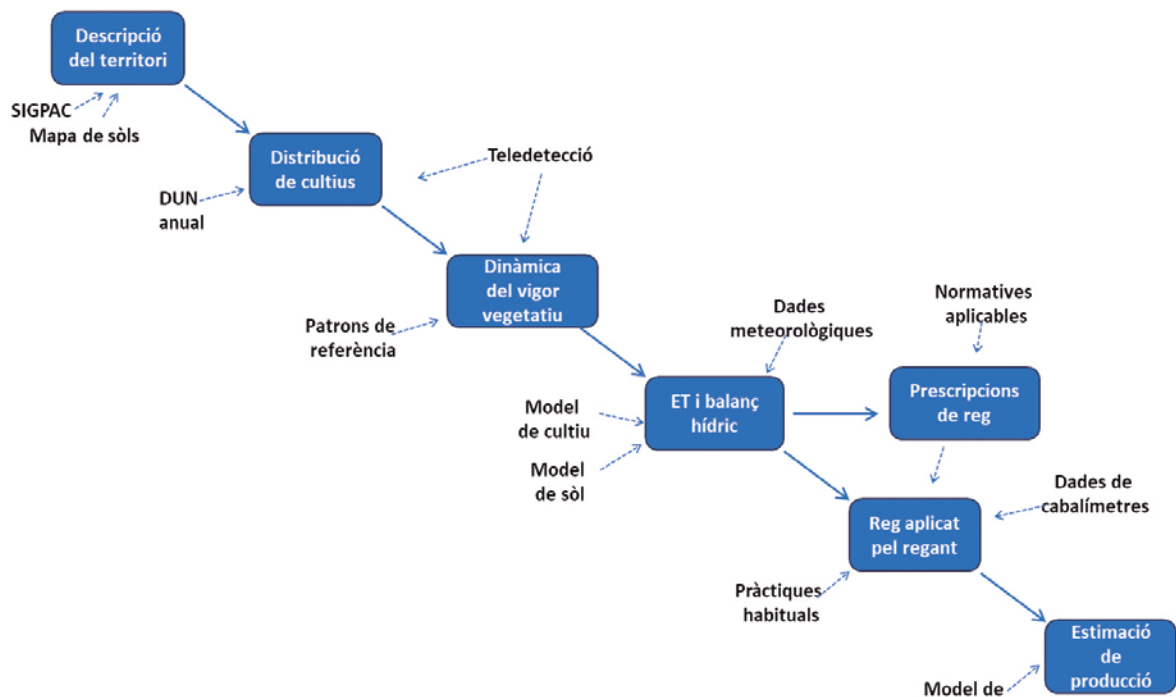


Figura 5. Esquema del flux de dades en les simulacions per IrriTer. Aquest esquema se segueix diàriament en l'actualització de cadascuna de les parcel·les incloses en l'àrea d'estudi. Alhora, els resultats s'agreguen a nivell de comunitat de regants i per a cadascun dels sectors en què es desglossi una comunitat de regants.

En un pas següent, al llarg de l'any se simula a temps real l'evolució del vigor vegetatiu en cadascuna de les parcel·les. La simulació comença seguint un patró predefinit per a cada espècie cultivada, que pot accelerar-se o retardar-se en funció de la meteorologia i que, cada vegada que s'obté una nova imatge de teledetecció es contrasta la simulació amb l'observació. Concretament, ens fixem en el paràmetre biofísic anomenat *Fracció de Radiació Fotosintèticament Activa Absorbida* [pel cultiu] (FAPAR), calculat a partir de les imatges de Sentinel2 usant el codi SNAP (SNAP, 2016). En fases fenològiques de creixement vegetatiu ajustem la corba de creixement avançant-la o retardant-la en el temps per fer-la coincidir amb



l'observació. En fases en què s'espera un estancament del vigor vegetatiu, l'ajust consisteix a alçar o abaixar la corba en tota aquesta fase. I en fases de decreixement, l'ajust consisteix novament a accelerar o retardar el decreixement per fer-lo coincidir amb l'observació. Una complicació a l'hora de modelar el vigor vegetatiu ve del fet que en cultius en renglera (p.e., fruiters) la presència d'herba afegix FAPAR addicional a la pròpia del cultiu. La manera com s'ha tractat en aquest projecte ha estat considerar que tota la FAPAR observada abans de la data de brotada del cultiu correspon a herba i que a partir d'aquell moment el cultiu creix progressivament fins a arribar com a màxim a un valor de referència, representatiu del cultiu sense herba, obtingut de les observacions d'anys anteriors en aquest mateix territori. D'aquesta manera, desglossem quina FAPAR correspon al cultiu i quina a l'herba.

Posteriorment, amb una freqüència diària, el sistema estima per a cada parcel·la els components de l'evapotranspiració (ET) i el balanç hídric del sòl. Com a components de l'ET, distingeix entre transpiració del cultiu, transpiració de l'herba i evaporació del sòl. Per fer aquests càlculs, considera l'evapotranspiració de referència (ET<sub>o</sub>) d'aquell dia, els valors de FAPAR del cultiu i de l'herba i un coeficient de conversió entre FAPAR i el coeficient de cultiu de base empírica (Casadesús *et al.*, 2011). Per a la simulació del balanç hídric, considera un model de sòl consistent en 9 compartiments que representen tres perfils verticals per tres profunditats. Els tres perfils corresponen a 1) la zona mullable pel sistema de reg, 2) la zona no mullada pel reg però sí explorada per les arrels i 3) la zona fora de l'abast del sistema de reg i de les arrels. En reg localitzat, la zona mullable correspon al bulb humit que es forma a sota d'un emissor, les dimensions del qual depenen del cabal del degoter i les propietats del sòl. En reg per aspersió i reg per inundació es pot considerar que pràcticament tot el sòl correspon al perfil mullable. Les tres profunditats corresponen a 1) la superfície del sòl (0-5 cm) on es produeix l'evaporació i hi ha poca activitat de les arrels, 2) la zona explorada per les arrels i 3) el sòl per sota de les arrels. En cultius permanents, el límit inferior de les arrels el prenem com un valor de referència propi de cada cultiu constant durant l'any, mentre que en cultius anuals el límit inferior varia al llarg de l'any seguint una corba relacionada amb la corba observada de FAPAR. En aquest model, la pluja entra repartida entre els tres perfils segons l'àrea de cadascun i seguidament es distribueix en profunditat en cascada, mentre que el reg entra únicament pel perfil mullable. L'evaporació del sòl té lloc a la superfície de tots tres perfils, mentre que l'absorció d'aigua per les arrels té lloc a la profunditat corresponent a les arrels, tant en el perfil mullable pel reg com en el no mullable però accessible a les arrels. L'actualització diària d'ET i balanç hídric comprèn la simulació de tot un any. Des de l'inici d'any fins a la data actual, les dades meteorològiques usades en la simulació corresponen a les enregistrades pel Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) a les Estacions Meteorològiques Automàtiques (EMA) més properes. Des de la data actual fins a una setmana vista, les dades meteorològiques corresponen a les prediccions per estacions virtuals de l'empresa Meteoblue. Des d'aquesta data fins a final d'any, les simulacions usen el conjunt de dades meteorològiques corresponents als darrers 10 anys enregistrades per les EMAs del SMC.

A partir de la simulació d'ET i balanç hídric s'elabora una prescripció de reg individual per a cada parcel·la, entesa com una possible recomanació de reg. Aquesta prescripció té en compte no només el balanç hídric de la parcel·la, sinó també les possibles normatives aplicables sobre aquesta parcel·la. Aquestes normatives es refereixen, sobretot, a la dotació de reg de la parcel·la, que en situació de normalitat podria estar predeterminada per l'ACA o per una Comunitat de Regants. En situació de sequera, com s'ha viscut el 2023 i 2024, aquestes normatives poden variar de manera ràpida, ja sigui per canvis en l'estat de sequera decretat per l'ACA o bé per les mesures adoptades per la Comunitat de Regants. Per tal d'ajustar



les prescripcions de reg a un volum de reg que pot ser inferior a la demanda teòrica del cultiu, el sistema de prescripció el que fa és una planificació de tot el conjunt de la campanya de reg, distribuïnt la dotació disponible en funció de la demanda hídrica previsible al llarg de l'any i de la sensibilitat del cultiu a l'estrès hídric en diferents fases fenològiques. En cultius que normalment ja es reguen per sota de les seves necessitats teòriques (p.e., vinya, oliveres, fruits secs), s'aplica aquesta planificació de campanya inclús en situació de normalitat, partint d'unes dotacions anuals de referència que, opcionalment, es poden ajustar de manera individualitzada per a cada parcel·la. Aquestes prescripcions de reg poden partir de suposicions molt generalistes sobre l'escenari agronòmic de cada parcel·la (les propietats concretes del cultiu, el sòl, el sistema de reg, els regs i les pràctiques agronòmiques aplicats fins el moment) o, potencialment, es poden arribar a especificar en detall alguns escenaris concrets, sobretot si alguns regants o tècnics de la zona aporten aquest tipus d'informació. Per tant, la precisió esperable en les prescripcions dependrà del detall o generalització emprats en la descripció de les parcel·les. En aquest projecte no s'han usat sensors connectats al sistema (si bé, potencialment, el sistema ho permet) i en qualsevol cas és esperable una precisió més grollera i una aproximació més conservadora comparada amb les prescripcions de reg que es podrien elaborar amb aquest o altres sistemes connectats a sensors «in situ».

Cal tenir en compte que les prescripcions de reg no han pas de ser representatives del reg que realment està aplicant el regant. En aquest sentit, el sistema IrriTer considera per separat la prescripció de reg i la predicció del reg aplicat pel regant, en què aquest darrer terme és el que realment seria rellevant per estimar la demanda de reg que ha de gestionar una comunitat de regants. Per modelitzar el reg aplicat, IrriTer té en compte les pràctiques habituals dels regants, que es poden especificar de manera generalista segons el sistema de reg i cultiu. Aquestes pràctiques consideren diferents nivells de cura per part del regant, que comencen amb el seguiment d'un patró anual no actualitzat amb dades meteorològiques i segueixen amb un balanç hídric setmanal fins a arribar a un sistema ajustat dinàmicament amb sensors i estratègies de reg elaborades. Potencialment, es podrien arribar a ajustar aquests nivells de pràctiques individualment per a cada parcel·la, en el cas que es disposés de dades individualitzades de comptadors d'aigua a les parcel·les. Aquest no és el cas del territori del Baix Ter, de manera que en aquest projecte s'han considerat les pràctiques de reg de manera generalista i s'ha distingit entre sistemes de reg i entre cultius anuals i fruiters, ajustant tan sols les eficiències de reg per tal d'obtenir consums agregats a nivell de la comunitat de regants alineats amb les dades proporcionades per l'ACA. Les simulacions han considerat que els regants compleixen les normatives aplicables.

Finalment, a partir del contrast entre l'estimació de reg aplicat i els requeriments hídrics del cultiu es fa una estimació de la producció potencial. La producció potencial correspondria a la collita si aquesta collita només depengués de la disponibilitat d'aigua. Aquesta consideració podria ser propera a la realitat en alguns cultius herbacis que es trobessin en diferents dotacions de reg. Pel que fa a cultius permanents, la collita sol dependre de factors molt més complexos. L'aproximació que segueix IrriTer es basa en la del model AquaCrop de la FAO (Steduto *et al.*, 2007 i 2009), que considera la producció total de biomassa proporcional a la integració del producte de la radiació solar absorbida diàriament pel cultiu multiplicada per un coeficient que quantifica la manca d'estrès hídric d'aquell dia. En el cas d'IrriTer, aquests càlculs usen alguns paràmetres esmentats en apartats anteriors, com ara la FAPAR i el quocient entre l'ET potencial i l'ET real, acotada per la disponibilitat hídrica. La utilitat pràctica prevista per aquestes prediccions de collita és estimar l'impacte potencial d'una eventual alteració en les dotacions de reg, així com fer una estimació a grans trets de la petjada hídrica dels diferents cultius.

## Implementació del sistema

L'aplicació IrriTer s'ha desenvolupat a Python usant el *framework* GeoDjango. En el conjunt d'IrriTer es poden distingir dos subsistemes: l'aplicació principal, que genera el contingut, i el visor de mapes, que el mostra al públic a través del web.

L'aplicació principal d'IrriTer actualitza diàriament la simulació del balanç hídric de cadascuna de les parcel·les i en guarda l'estat en una base de dades PostGIS. El procés va corrent de fons de forma automatitzada i inclou l'actualització diària de les dades meteorològiques i l'assimilació del vigor vegetatiu dels cultius basat en imatges dels satèl·lits Sentinel2. Això s'executa en una estació de treball allotjada a les dependències de l'IRTA i s'encarrega d'actualitzar les simulacions a partir de les dades de parcel·lari, distribució de cultius i dades meteorològiques i de teledetecció que descarrega al llarg del temps. Les dades resultants representen l'estat actual de les parcel·les i la seqüència d'estats, amb periodicitat setmanal, des de començament d'any fins al dia actual, així com la seqüència de prediccions des del dia actual fins a final d'any.

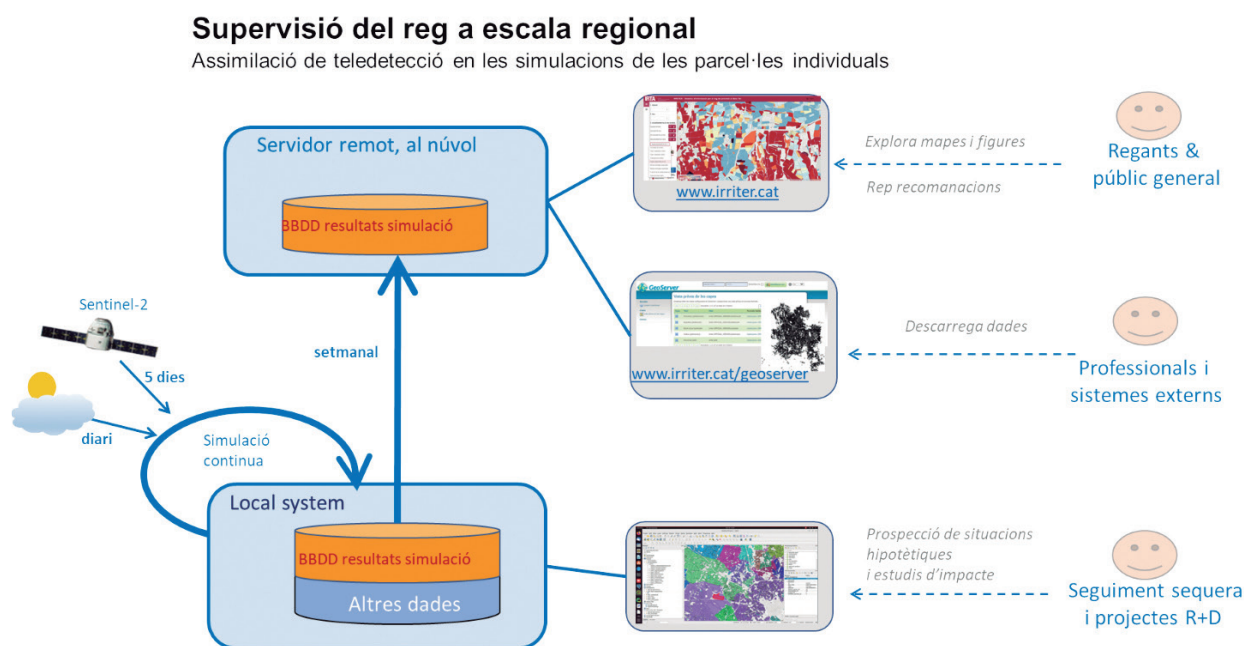


Figura 6. Principals funcionalitats d'IrriTer i usuaris a qui van destinades.

Algunes taules guardades a la base de dades PostGIS es mostren públicament, sobretot en forma de mapes, a persones a través de l'aplicació web i a sistemes informàtics a través d'un servidor GeoServer. El visor d'IrriTer és la part oberta al públic, que està allotjada al núvol, en un servidor privat virtual (VPS), que té per objecte fer pública, a persones i sistemes informàtics, una selecció de les dades generades per l'aplicació principal, sobretot en forma de mapes. A través del visor accessible a [www.irriter.cat](http://www.irriter.cat) s'ofereix informació gràfica al públic en general, en forma de mapes, de la distribució espacial de variables com ara el reg esperat en un moment donat o l'evapotranspiració de les parcel·les. També s'ofereixen figures que representen sèries temporals d'aquestes variables per a una parcel·la concreta. Aquestes dades

representen l'estat actual de les parcel·les i la seqüència d'estats, amb periodicitat setmanal, des de començament d'any fins al dia actual, així com la seqüència de prediccions des del dia actual fins a final d'any. Les variables que es mostren públicament a través de mapes inclouen l'evapotranspiració del cultiu, l'estimació de reg aplicat en parcel·la, la demanda de reg en alta i el drenatge estimat, que es troben a la base de dades del visor en format vectorial. D'una banda, aquestes dades es poden mostrar desglossades individualment per a cadascuna de les parcel·les agrícoles. De l'altra, també es poden visualitzar agregades per zones que agrupen les parcel·les segons l'origen i gestió dels recursos hídrics. A part de les variables esmentades en format vectorial, amb un valor per a cadascuna de les parcel·les agrícoles, es mostren en format ràster les dades provinents de la teledetecció. Concretament, es mostren les variables "ET" i "vigor", amb una mida de píxel de 20m i una cadència de 5 dies.

De cara a altres sistemes informàtics i pensant en usos professionals, les dades que es mostren al visor també són descarregables per a l'ús de tercers fora d'aquesta plataforma. En aquest sentit, les dades es poden descarregar en diferents formats, a través dels serveis Geoserver, a l'adreça [www.irriter.cat/geoserver](http://www.irriter.cat/geoserver). Aquesta part va adreçada a aconseguir que les dades fetes públiques a través del visor d'IrriTer no tan sols siguin accessibles visualment en forma de mapes interactius en un navegador, sinó que també es puguin descarregar, perquè altres organitzacions i professionals puguin incorporar-les als seus processos.

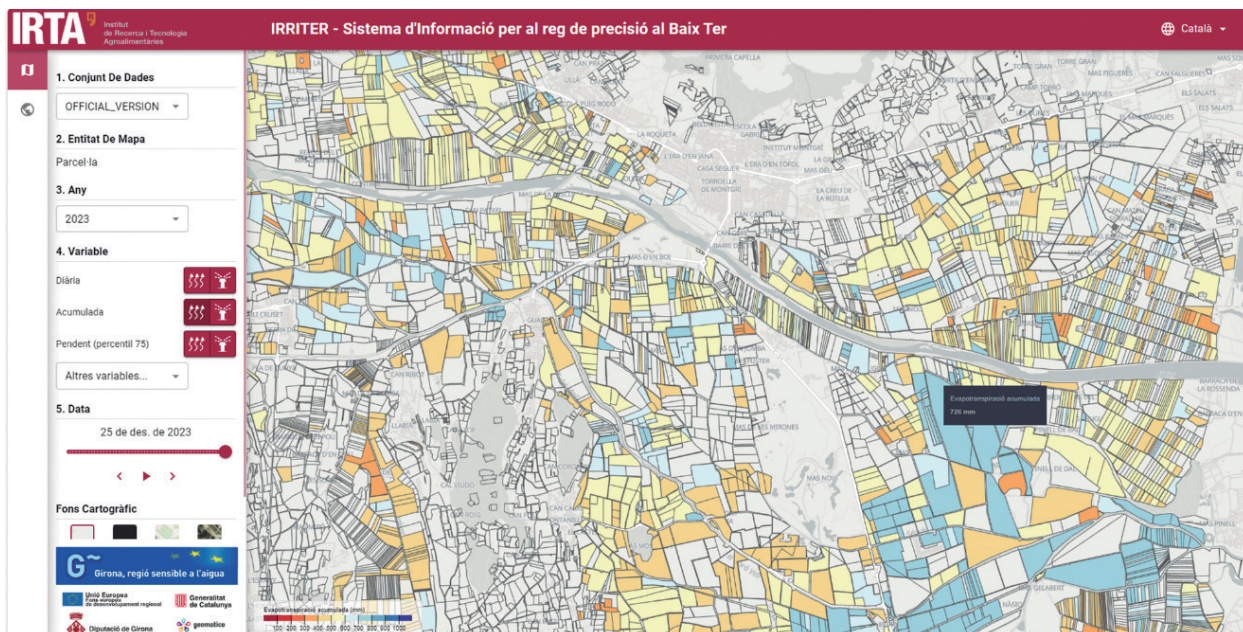


Figura 7. Vista del tram final del Ter a la plataforma IrriTer.

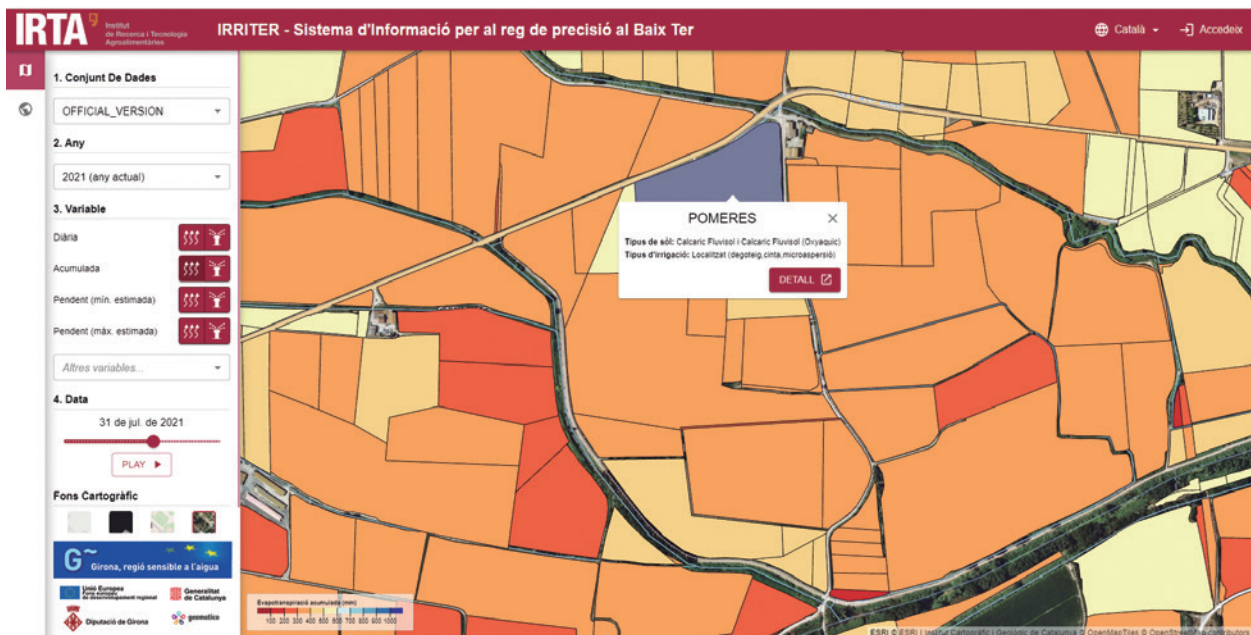


Figura 8. Captura de pantalla d'una vista d'IrriTer en què s'ha clicat sobre una parcel·la.

D'altra banda, els usuaris interns de l'IRTA poden interactuar amb l'aplicació a través de la base de dades o connectant-s'hi amb QGIS. Això permet actualitzar dades com la distribució de conreus o altres tasques de manteniment. Aquesta connexió local a IrriTer també permet executar algunes funcionalitats que consumeixen bastants recursos, com ara simular escenaris alternatius. Per exemple, s'ha usat per simular les necessitats hídriques amb una distribució de cultius diferent de l'oficial. En el context de la sequera de 2023 i 2024, s'ha usat per fer prospeccions de la producció esperable sota diversos patrons de disponibilitat d'aigua.

	Evapotranspiració	Irrigació		
Diària	4.9 mm/dia	4.5 mm/dia	Drenatge acumulat	85.1 mm
Acumulada	518.9 mm	363.7 mm	Drenatge pendent (mínim)	38.6 mm
Pendent (mín. estimada)	348.1 mm	236.6 mm	Drenatge pendent (màxim)	260.1 mm
Pendent (màx. estimada)	407.8 mm	241.2 mm	Vigor vegetatiu (cultiu)	0.5
			Vigor vegetatiu (total)	0.5
			Transpiració (cultiu)	0.0 mm/dia
			Aigua disponible al sòl	128.3 mm
			Fracció del potencial de collita	1.0
			Índex d'estrès hídric	0.0

### Evolució al llarg de l'any 2021



Tipus de cultiu 1: POMERES

Tipus de cultiu 2: --

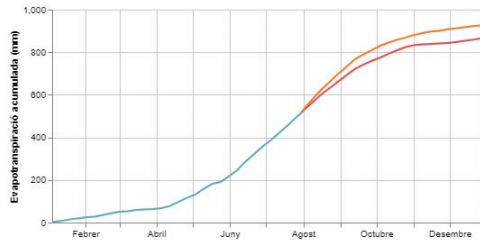
Tipus de sòl: Calcaric Fluvisol i Calcaric Fluvisol (Oxyaquic)

Figura 9. Captura de pantalla de la informació que mostra IrriTer sobre l'estat actual d'una parcel·la.

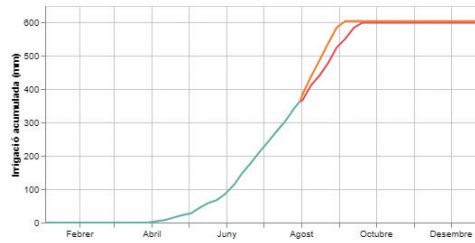




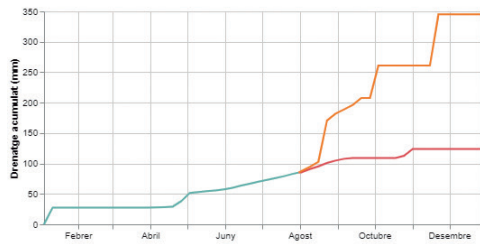
**Evapotranspiració Acumulada**



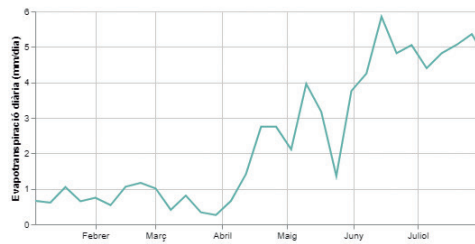
**Irrigació Acumulada**



**Drenatge Acumulat**



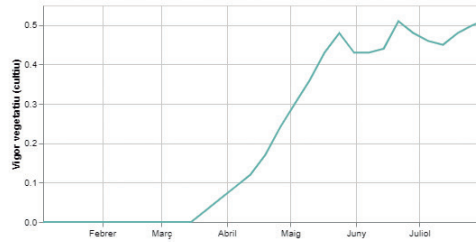
**Evapotranspiració Diària**



**Irrigació Diària**



**Vigor Vegetatiu (Cultiu)**



**Vigor Vegetatiu (Total)**



**Aigua Disponible Al Sòl**

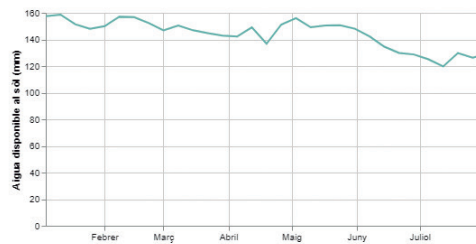


Figura 10. Captura de pantalla dels gràfics que mostra IrriTèr sobre l'historial d'una parcel·la i les prediccions fins a final de campanya.



## Conclusions

S'ha posat a l'abast de regants, tècnics i públic en general un portal web en què s'ofereix informació per personalitzar el reg a la zona del Baix Ter. Per exemple, de cara al públic en general, es mostren mapes indicatius de les necessitats actuals de reg i algunes animacions amb dades a temps real per fomentar el coneixement de les necessitats de reg dels conreus. De cara als regants, es mostren a més les recomanacions de reg en forma de sinòptics per a les seves parcel·les en concret. De cara als tècnics, es mostren dades més detallades de l'historial de cada parcel·la i projeccions fins a final de campanya. Per tal de donar-hi més utilitat, totes les dades mostrades al visor es poden descarregar cap a altres sistemes informàtics usant serveis i formats estàndard en l'àmbit dels sistemes d'informació geogràfica.

Irriter representa un instrument que, a part de la utilitat que pugui tenir per als regants i altres professionals lligats a l'aigua, ajuda a explicar a la població com s'usa l'aigua en l'agricultura del Baix Ter i la seva importància en la producció d'aliments.

La informació que s'ofereix a través d'aquest servei inclou processos realment observats per teledetecció (per exemple, com evoluciona el vigor dels cultius al llarg de l'any) complementats amb d'altres que s'obtenen a través de la simulació (per exemple, l'evapotranspiració dels cultius, la humitat del sòl i els regs que se suposa que estan fent els agricultors). En aquest sentit, s'usen dues tecnologies complementàries. D'una banda, el seguiment parcel·la a parcel·la basat en observacions de teledetecció satel·litària i, de l'altra, una simulació que permet ampliar el ventall de variables i mostrar no només allò que directament s'ha mesurat, sinó també allò que interpretem de les mesures i que resulta de més ajuda per prendre decisions. La sortida de dades té en compte diferents perfils de destinatari, com ara el públic en general, els regants, els tècnics i també altres sistemes informàtics que s'hi puguin connectar màquina a màquina per reutilitzar les dades o per automatitzar processos.

Una vegada conclòs el PECT Girona, regió sensible a l'aigua, la plataforma Irriter.cat es mantindrà en funcionament a través de l'IRTA, que la seguirà fent servir i potenciant com un instrument per fer seguiment de l'ús de l'aigua per a l'agricultura a les zones del Baix Ter, el Baix Fluvià i la conca de la Muga. En el context de sequera de 2023 i 2024, Irriter ha estat una eina útil per supervisar l'impacte territorial de la sequera i per fer prospectiva de diferents escenaris que es podrien produir quant a disponibilitat d'aigua, distribució de cultius i situacions meteorològiques.

## Referències

Casadesús, J., M. Mata, J. Marsal & J. Girona, 2011. Automated irrigation of apple trees based on measurements of light interception by the canopy. *Biosystems Engineering* 108, 220-226.

Glaessgen, E. i D. Stargel, 2012. The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles. 53rd Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference: Special Session on the Digital Twin. Reston, VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics.

SNAP, 2016 - ESA Sentinel Application Platform v2.0.2, <http://step.esa.int>

Steduto, P., T.C. Hsiao & E. Fereres, 2007. On the conservative behavior of biomass water productivity. *Irrigation Science* 25:189-207.

Steduto, P., D. Raes, C. Theodore Hsiao, E. Fereres, L.K. Heng, T.A. Hower, S.R. Evett, B.A. RojasLara, H.J. Farahani, G. Izzi, T.Y. Oweis, S.P. Wani, J. Hoogeveen, S. Geerts, 2009. Concepts and Applications of AquaCrop: The FAO Crop Water Productivity Model in Crop Modelling and Decision Support. By Cao, W.; White, J.W.; Wang, E. pp. 175-191.

Tao, F. i Q.L. Qi, 2019. Make more digital twins. *Nature*, 573:490-491. doi: 10.1038/d41586-019-02849-1



Universitat de Girona  
**Càtedra d'Ecosistemes  
Litorals Mediterranis**

 **Museu de la  
Mediterrània**

 **Parc Natural  
del Montgrí, les Illes Medes  
i el Baix Ter**

 **Fundació Girona  
Regió de Coneixement**  
Universitat de Girona  
Diputació de Girona  
Ajuntament de Girona  
Consell Social de la USG  
Cambra de Comerç

**G~**  
Girona, regió sensible a l'aigua

 **Diputació  
de Girona**

 **Ajuntament de  
Torroella de Montgrí**

 **Generalitat  
de Catalunya**

 **Unió Europea  
Fons Europeu de  
Desenvolupament Regional**