

Avaluació de les aportacions de nitrogen per escorriment superficial a les llacunes de la RNI “Els Estanys” (PN dels Aiguamolls de l’Empordà)

Estudiant: Marc Fusté i Sucarrats

Grau en Ciències Ambientals

Correu electrònic: marcfust@hotmail.com

Tutor: Josep Mas-Pla

Empresa / institució: Universitat de Girona

Vistiplau tutor:

Nom del tutor:

Empresa / institució:

Correu(s) electrònic(s):

Data de dipòsit de la memòria a secretaria de coordinació:

Agraïments

M'agradaria expressar l'agraïment més profund al meu tutor del treball final de grau, en Josep Mas-Pla, per guiar-me en tot el procés i donar-me l'ajuda i l'atenció necessària quan la necessitava.

Vull agrair també, a les futures doctorades, Lucia Santucci i Carolina Tanjal, de la Universidad Nacional de la Plata, per acompanyar-me durant el procés de recollir les mostres, i mostrar-me com o fan a Argentina.

Un agraïment especial el meu amic Gil Tries, per la seva extrema amabilitat i el seu suport i ajuda a l'hora de realitzar algunes modificacions en els mapes exposats.

Finalment, també m'agradaria agrair a l'Institut Català de Recerca de l'Aigua (ICRA), sense ells no hauria estat possible. Aquest TFG ha estat finançat pel projecte PACE-IMPACT (CGL2017-87216-C4-4-R).

Resum

L'objectiu de següent treball de final de grau, és avaluar la dinàmica hidrològica dels Estanys de Castelló, en funció de les dades hidroquímiques de les diferents zones d'aquesta Reserva Natural Integrada. L'estudi mostra que encara que actualment semblin es troben en bon estat, són vulnerables a situacions de sequera i a les activitats antròpiques del volant, com granges ramaderes o camps de conreu.

Primer, s'ha obtingut informació de la zona d'estudi, com la geologia o la meteorologia dels últims mesos. Tot seguit, s'han pres un conjunt de mostres per analitzar el quimisme dels recs d'entrada, de les llacunes i recs interiors i dels canals de sortida. Les dades i els càlculs realitzats descriuen els processos hidrològics i químics que es duen a terme dins les llacunes, a partir de la comparació de les entrades i les sortides. S'ha observat, que els canals d'entrada contenen alts nivells de nitrats i nitrats, a causa de les activitats ramaderes i els camps de conreu, però no s'ha observat eutrofització en els aiguamolls com s'esperaria. Aquest fet és degut a que els mateixos estanys, capten el nitrogen aportat gràcies a l'assimilació que realitza la vegetació; per aquest motiu, els nivells de nitrogen són quasi nuls en els canals de sortida.

A més a més, s'ha realitzat una estimació del percentatge d'evaporació de les llacunes, ja que aquestes presentaven salinitats elevades. Els resultats indiquen valors majors al 70% d'evaporació. S'ha arribat a aquests percentatges a causa de la falta d'aigua d'entrada (molts regs d'entrada estaven secs) i per la falta de precipitacions en els mesos anteriors al mostreig,. També es va realitzar una comparació amb aigua de mar amb 1 mostra, la mostra del punt 2. Degut a la seva situació i proximitat, es va observar que rebia influència del mar segons la conductivitat elèctrica i segons els ions més conservatius i es va obtenir un $\pm 14\%$ de mescla amb aigua marina.

Finalment, aquest estudi presenta l'estat hidroquímic dels Estanys de Castelló en un període dominat per la sequera i la falta de recursos hídrics superficials. Demostra que, malgrat l'alta concentració de nitrats en les mostres de canals d'entrada, no provoca una alteració important de l'estat químic de les zones humides. Aquest estudi també mostra les diferències entre les llacunes i els canals interiors, el que indica que la dinàmica de l'aigua a les zones humides aconsegueix condicions sostenibles en les circumstàncies del mostreig.

Resumen

El objetivo del siguiente Trabajo de Final de Grado, es evaluar la dinámica hidrológica de los Estanys de Castelló, en función de los datos hidroquímicos de las diferentes zonas de esta Reserva Natural Integrada. El estudio muestra que, aunque actualmente parezca que los Estanys se encuentran en buen estado, éstos son vulnerables a situaciones de sequía i a las actividades antrópicas de sus alrededores como las granjas ganaderas o los campos de conreo.

Primero se ha obtenido información de la zona de estudio como la geología o la meteorología de los últimos meses. A continuación, se han tomado un conjunto de muestras para analizar el quimismo de los riegos de entrada, de las lagunas y riegos interiores y de los canales de salida. Los datos y los cálculos realizados describen los procesos hidrológicos y químicos que se llevan a cabo dentro de las lagunas a partir de la comparación de las entradas y salidas. Se ha observado que los canales de entrada contienen altos niveles de nitritos y nitratos, a causa de las actividades ganaderas y los campos de conreo, pero no se ha observado eutrofización en los humedales como se esperaría. Este hecho es debido a que los mismos estanques captan el nitrógeno aportado gracias a la asimilación que realiza la vegetación y, por este motivo, los niveles de nitrógeno son casi nulos en los canales de salida.

Además, se ha realizado una estimación del porcentaje de evaporación de las lagunas ya que éstas presentaban salinidades elevadas. Los resultados indican valores mayores al 70% de evaporación. Se ha llegado a estos porcentajes a causa de la falta de agua de entrada (muchos riegos de entrada estaban secos) y por la falta de precipitaciones en los meses anteriores al mostreo. También se realizó una comparación con agua de mar con una muestra, la muestra del punto 2, por su situación y proximidad y se observó que recibía influencia del mar según la conductividad eléctrica y según los iones más conservativos y se obtuvo un $\pm 14\%$ de mezcla con agua marina.

Finalmente, este estudio presenta el estado hidroquímico dels Estanys de Castelló en un período dominado por la sequía y los bajos aportes de agua superficial. Muestra que, a pesar de la alta concentración de nitrato en las muestras de los canales de entrada, no causa una alteración importante del estado químico de los humedales. Este estudio también muestra las diferencias entre las lagunas y los canales internos, lo que indica que la dinámica del agua en los humedales alcanza condiciones sostenibles en las circunstancias de muestreo.

Abstract

This Final Grade Project's main objective is to evaluate the hydrologic dynamic of Estanys de Castelló based on hydrochemical data from different zones of this "Reserva Natural Integrada". The study shows that, in spite of they seem to be in good order, they actually are vulnerable to drought and to the nearby anthropic activities like livestock farms and farm fields.

Firstly, information has been obtained from the study zone as geology and the last months meteorology. Then a set of samples has been taken to analyze the chemistry of the water inputs, the lagoons and internal canals, and the water outlet canals. Hydrochemical data indicates that water inputs contain high levels of nitrites and nitrates because of nearby agricultural and farming activities. However, wetland eutrophication does not occur as potentially expected. Indeed, wetlands themselves reduce nitrogen concentration by the vegetation assimilation, and due to this reason the nitrogen levels are almost null in the outlet canals.

Moreover, a lagoon high level of salinity suggest a high evaporation percentage, which have been estimated as near to 70%. Due to the drought and the fact that surface water inputs were low during the sampling campaign, evaporation percentage rises. The lack of rainfall during the months prior to the sampling enhances the observed high salinity. A mixing analysis have been conducted to compare seawater with sample # 2, due to its situation and proximity to the coast line. Results confirm the influence from the sea, and the mixing rate points out a 14% of seawater in the canal sample.

Finally, this study presents a snapshot of the hydrochemical state of the Estanys de Castelló in a period dominated by drought and low surface water inputs. It shows that despite the high nitrate concentration in the input canal samples, it does not causes a major alteration of the wetland chemical status. This study also shows the differences between the lagoons and the inner canals, indicating that water dynamics in the wetlands achieve sustainable conditions under the sampling circumstances.

Índex

1- Introducció	7
2- Zona d'estudi	10
2.1- Història	11
2.2- Geologia	12
2.3- Hidrogeologia	13
2.4- Meteorologia	14
3- Objectius	19
4- Metodologia	20
4.1- Presa de mostres i anàlisis químic	21
4.2- Tractament de les dades	21
5- Resultats	23
5.1- Descripció dels resultats hidroquímics	24
6- Discussió	26
6.1- Percentatges d'evaporació de les llacunes	26
6.2- Estimació de la mescla amb aigua marina	28
6.3- Ètica i sostenibilitat	30
7- Conclusions	31
8- Bibliografia	32

1-Introducció

Les zones humides són considerades un ecosistema lenític que presenta aigües quietes o amb poc moviment. Aquests sistemes són molt heterogenis morfològicament i estan altament integrats, és a dir, tots els seus aspectes estan interrelacionats i qualsevol canvi en un d'aquests aspectes pot afectar-ne a molts d'altres (Calvo, 1995).

El terme de zones humides inclou qualsevol anomalia hídrica del terreny amb una extensió considerable i ha de ser suficientment duradora com per produir comunitats biològiques diferents de la resta de l'entorn (González, 1992). Són extensions on l'aigua cobreix el sòl temporalment o al llarg de l'any, però no és un llac (que presenta major profunditat, està estratificat i sense vegetació central).

La saturació hidrològica determina en gran manera com es desenvolupa el sòl i les comunitats de flora i fauna que habitaran l'ecosistema. Es poden suportar espècies aquàtiques i terrestres. La presència prolongada d'aigua crea condicions que afavoreixen el creixement de plantes especialment adaptades (els hidròfits) i del desenvolupament de sòls característics d'aiguamolls. Trobem dues categories generals d'aiguamolls (Cardelús i altres, 1988):

- **Zones humides continentals o terrestres:** La nostra zona d'estudi és un exemple. Són els més comuns en les planes d'inundació al llarg de rius i rierols. Majoritàriament són estacionals.
- **Zones humides marines i costaners:** En aquest cas l'aigua de mar es barreja amb aigua fresca per formar un ambient de diferents salinitats. L'aigua salada i la fluctuació d'aquests causats de l'acció de la marea creen un entorn bastant difícil per a la majoria de les plantes. En conseqüència, moltes zones costaneres poc profundes es converteixen en pisos de fang o bancs de sorra sense vigilància.

Les principals característiques hidrològiques de les zones humides són les següents (Llamas, 1984):

- Constitueixen zones de relleu molt pla (amb poc pendent).
- Formen en conjunt una zona deprimida topogràficament en relació amb la geografia més o menys propera.
- Les formacions geològiques on s'ubiquen tenen permeabilitat suficient per a permetre un flux d'aigua subterrània significatiu.
- Sobre elles recorren cursos d'aigua, en general divagants, amb caràcter permanent o efímer que durant les avingudes cobreixen una àmplia proporció de la zona. En algunes ocasions constitueixen llacunes endorreiques.

Les zones humides són ecosistemes molt importants i de gran interès per les persones i el medi ambient ja que presenten un conjunt de beneficis que s'anomenen ecoserveis o serveis de l'ecosistema (Davies i Claridge, 1993):

- Protecció d'inundacions. Els aiguamolls costaners protegeixen les zones altes de l'augment del nivell del mar i les tempestes.
- Control d'erosió. Els aiguamolls costaners poden prevenir l'erosió gràcies a la seva

capacitat d'absorbir l'energia creada pels corrents oceànics, que degradarien la costa.

- Aliments i hàbitat de la vida silvestre. Els aiguamolls costaners proporcionen hàbitat per a moltes espècies amenaçades i en perill d'extinció.
- S'utilitzen per a pesca comercial.
- Milloren la qualitat de l'aigua. Els aiguamolls filtren els productes químics abans que arribin a l'oceà.
- Segrest de carboni, ecosistemes costaners com els manglars poden segrestar i emmagatzemar grans quantitats de carboni, això és possible perquè presenten unes taxes de creixement molt ràpides i unes taxes de descompressió lentes.

La dinàmica i la qualitat dels recursos hidrogeològics de les zones humides depenen totalment de les característiques hidrològiques locals i les fortes pressions humanes sobre aquestes, sobretot les explotacions intensives o les activitats agrícoles i ramaderes.

En les zones litorals, els recursos hidrològics de les zones humides reben una intensa pressió a causa de l'acció antròpica (demanda d'aigua i contaminació d'aquesta deguda a activitats econòmiques). Aquesta pressió crea una pèrdua de qualitat d'aigua com dels seus recursos i aquest conjunt de pressions poden causar un conjunt d'amenaçes (Viñals, 2005):

- **Drenatge:** Es tracta d'una amenaça de transformació, és el canvi total en el sistema hidrològic amb l'eliminació de les aigües superficials i la reducció de les aigües subterrànies, l'abandonament dels antics cursos d'aigua i la construcció de nous. Ja en el passat es produïa normalment per l'agricultura per permetre el creixement de conreus sobre el que prèviament havia estat temporalment terra de pastura, o també per erradicar els mosquits que portaven la malària.
- **Eutrofització i contaminació de les aigües:** És la contaminació química de l'aigua, donada per la putrefacció de les aigües residuals i els fertilitzants provoquen l'eutrofització de les aigües de les zones humides, fet que suposa l'acabar amb la vida de les plantes i animals que habiten zones humides. La proximitat de les zones humides amb els nuclis urbans, provoca un augment de contaminació de les aigües, causant un augment de la càrrega orgànica de l'aigua i dels nivells de substàncies tòxiques.
- **Sobreexplotació dels recursos naturals:** Fortament relacionada amb l'agricultura intensiva, el canvi de conreus tradicionals de secà per altres de regadiu i la sobreurbanització. La conseqüència principal de la sobreexplotació és la dessecació d'aiguamolls, així com l'esgotament i, en molts casos, la salinització dels aqüífers costaners.
- **Construccions:** Ens referim a les obres hidràuliques o els efectes causats per preses i embassaments. Aquestes construccions disminueixen l'arribada de sediments fluvials, fent que les maresmes litorals en estuaris i deltes no puguin seguir el seu procés de creixement.

Pel que fa a l'hidroquímica, els aiguamolls són sistemes molt complexos, ja que aquests poden captar els nutrients de les aigües entrants de diverses maneres i, poden eliminar el nitrogen i el fòsfor a través d'una combinació de processos físics, químics i biològics. L'explotació de les zones litorals pel desenvolupament humà, ha causat l'alteració de les dinàmiques naturals, modificant la relació entre el

mar i el continent. La repercussió més evident i que apareix primer és la salinització (The Wetlands Initiative, 2016). El carboni, és el cicle més gran de nutrients a les zones humides. La majoria dels nutrients, com ara sofre, fòsfor, carboni i nitrogen es troben dins del sòl dels aiguamolls.

La respiració anaeròbia i aeròbica en el sòl influeix en el cicle de nutrients del carboni, l'hidrogen, l'oxigen i el nitrogen, i la solubilitat del fòsfor contribuint així a les variacions químiques de l'aigua. Els aiguamolls amb baix pH i conductivitat salina poden reflectir la presència de sulfats àcids i els aiguamolls amb nivells de salinitat mitjans poden estar fortament influïts per calci o magnesi.

Tant el nitrogen com el fòsfor poden estar presents en moltes formes (partícules, dissoltes, orgàniques, inorgàniques, etc.), i aquestes actuen diferent segons el procés que es dugui a terme. Les plantes incorporen nitrogen i fòsfor inorgànics (és a dir, nitrats, amoníacs i fosfats reactius solubles) a través de les seves arrels i/o fullatge durant la primavera i l'estiu, i els converteixen en compostos orgànics per al creixement. Això només proporciona un emmagatzematge temporal dels nutrients. La majoria d'aquests nutrients assimilats són alliberats a l'aigua i els sòls quan les plantes creixen i es descomponen durant la tardor i l'hivern.

Els principals processos de transformació que es poden donar són: l'amonificació (transformació del nitrogen orgànic a amoníac), nitrificació (transformació de l'amoníac a nitrat o nitrit), i la desnitrificació (procés anaeròbic invers al de la nitrificació), on el nitrat (NO_3^-) es converteix en gas nitrogen inadequat (N_2), que compon el 85% de la nostra atmosfera.

La desnitrificació és el procés de remoció dominant i sostenible en aiguamolls que reben càrregues de nitrat elevades a partir de l'escolament agrícola o de l'abocament de la planta de tractament d'aigües residuals. En aquest cas, la desnitrificació es realitza principalment per bacteris que són heteròtrofs, el que significa que requereixen una font de carboni per al creixement i l'energia, tot i que també existeix la desnitrificació per autòtrof.

El fòsfor, d'altra banda, s'elimina principalment a través de processos físics i químics. Normalment entra en el sistema, en forma de partícules o en forma dissolta. El fòsfor en forma de partícula es diposita a les zones humides, pel procés de sedimentació, i la forma dissolta de fòsfor s'acumula ràpidament en sediments per sorció (als òxids i hidròxids d'alumini i ferro) i precipitació (per formar alumini, ferro i fosfats de calci).

2- Zona d'estudi

Castelló d'Empúries, és el municipi que ocupa major superfície protegida dins el Parc Natural dels Aiguamolls de l'Empordà, amb una extensa zona de Reserva Natural Integral anomenada: les Llaunes o Estanys de Castelló, entre la desembocadura de la Muga i del Fluvià (Figura 1). Castelló d'Empúries es troba emplaçat sobre una elevació natural d'uns 17 metres d'altura sobre el nivell del mar, aproximadament a uns 5 km de la platja d'Empuriabrava, dins els límits de la comarca de l'alt Empordà.

Els Estanys de Castelló, actualment presenten una extensió bastant reduïda pel dessecament. És considerat un dels embassaments empordanesos més importants de la província, des d'un punt de vista físic, per l'extensió que ocupa, i socioeconòmic, pels diferents aprofitaments i per les explotacions de recursos que es realitzen (Ajuntament de Castelló d'Empúries, 2013).

La Reserva Natural dels Estanys és principalment de titularitat privada, aquest fet dificulta la seva gestió per part de l'òrgan rector del Parc Natural dels Aiguamolls de l'Empordà. La Reserva dels Estanys, també pateix greus problemes derivats dels drenatges existents, i de l'addició d'aigües d'escorrentia procedent dels conreus (eutrofització i colmatació (reducció de la permeabilitat del sòl)). També existeixen problemes puntuals de sobrepastura. La Reserva Natural dels Estanys de Castelló, comprèn, anant de mar cap a l'interior, els següents indrets: estany del Tec, closos del Tec, Aiguaclara, estanys de Palau, estanys d'en Massot i de l'Albert, estany de Mornau, estany de Vilaüt.

Es tracta d'un aiguamoll que rep sediments de petits recs i de la Mugueta, que drenen el terreny, i que moltes vegades es comuniquen entre ells en l'època plujosa. Ocasionalment podem trobar la interacció, mar - aiguamoll, però normalment la interacció present és aiguamoll-mar.

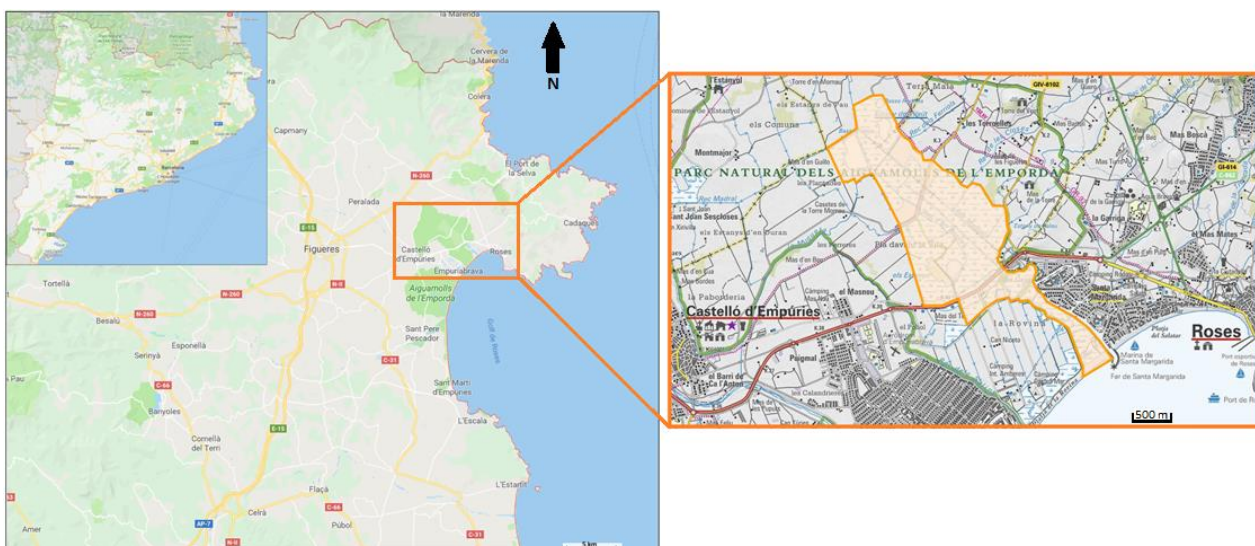


Figura 1: Ubicació de la zona d'estudi. Font: Instamaps amb modificacions pròpies.

2.1- Història

Antigament, l'Estany de Castelló ocupava una gran extensió (Figura 2), encara que aquesta es reduís considerablement després de l'explotació antròpica per explotar els seus recursos naturals.

L'explotació d'aquest terreny, va començar la baixa Edat Mitjana, amb l'alteració del curs del tram final de la Muga, entre 1402 i 1410, a continuació, es van dessecar diferents aiguamolls per convertir-los en closes o camps de pastura. No és fins als segles XVII i XVIII quan s'inicien la major part dels treballs d'assecament de l'estany de Castelló, consistents sobretot en l'obertura de multitud de recs d'escorriment. A mitjans d'aquest segle, bona part dels terrenys que pertanyien a la vila de Castelló provenien dels treballs de dessecació de l'estany, s'havien convertit en terres de conreu (Ajuntament de Castelló d'Empúries, 2013).

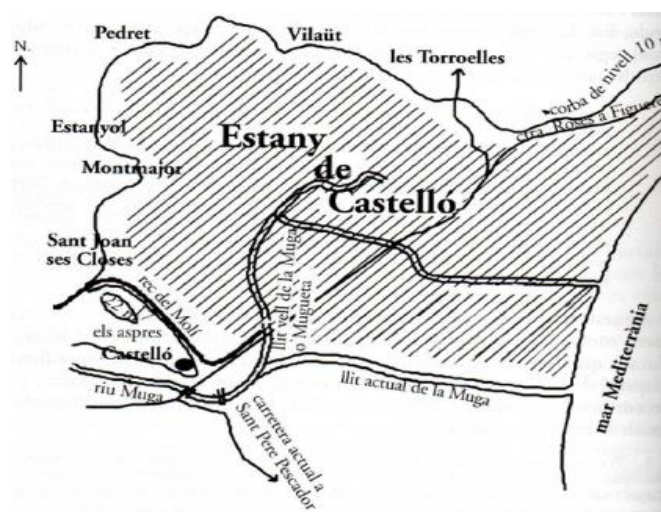


Figura 2: L'Estany de Castelló en 1769. Font: Ajuntament de Castelló d'Empúries. (2013).

La dessecació de l'estany de Castelló fou afavorida pel desviament de la Muga, el seu curs fou desviat directament al mar per accions antròpiques (actualment es troba en forma de canals), i l'antic curs és conegut com la Mugueta.

Fins a mitjans del segle XX, al 21 de setembre de 1976 més concretament, es tramet a la Comisión Interministerial de Medio Ambiente (CIMA) el primer document on es demana la protecció de les zones humides de l'Empordà. El 1979, la Generalitat de Catalunya assegura públicament que recolzarà la conservació dels aiguamolls de la plana empordanesa.

No va ser fins al 1983, que al Parlament de Catalunya aprova per unanimitat la Llei 21/1983 (declaració com a Paratges Naturals d'Interès Nacional i Reserves Integrals Zoològiques i Botàniques dels Aiguamolls de l'Empordà). Aquesta llei, però, només inclou els aiguamolls de la badia de Roses, a l'Alt Empordà, quedant-ne fora els del Baix Empordà.

Actualment, s'observa una situació semblant a l'actual (Figura 3), en què l'estany aparentment ha desaparegut del paisatge, tot i que encara se'n podria recuperar una bona part. Si no hagués estat per les pressions socials, és molt probable que hi hauria una gran diferència entre el perfil de l'estany del 1946 i amb el del 1956, amb l'actual.



Figura 3: Ortofotomapa de la zona d'estudi emmarcada, a la part esquerra durant l'any 1946 i a la dreta durant l'any 1956. Font: Instamaps, amb modificacions pròpies.

2.2- Geologia

La plana empordanesa es considera clàssicament com d'origen tectònic, és a dir, correspondria a un gran compartiment enfonsat en diferents blocs per l'acció d'importantes fractures del terreny (falles). Aquesta plana forma un glacis lleugerament inclinat d'uns 200 metres entorn del peu de la Garrotxa i del Pirineu fins al mar (Bach, 2005).

Els Estanys dels Aiguamolls de l'Empordà, formen part de la unitat geomorfològica de la plana fluviodeltàica de l'Alt Empordà. Aquesta unitat ocupa una extensió de 120 km², dels quals 55 km² corresponen a la plana del Baix Fluvià i 65 km² a la plana de la Muga. Entre ambdues no existeix una separació geomorfològica clara.

Els sediments que trobem en els aiguamolls (Figura 4), són en general detrítics dins, d'argiles i llims, amb molta abundància de matèria orgànica i de restes de flora i fauna que viuen en ell. Són materials que conformen la depressió neògena, són detrítics procedents de les aportacions al·luvials, col·luvials i eluvials que han anat omplint la conca durant el Terciari (Pliocè) i el Quaternari (Plistocè i Holocè) (ICGC, 2019).

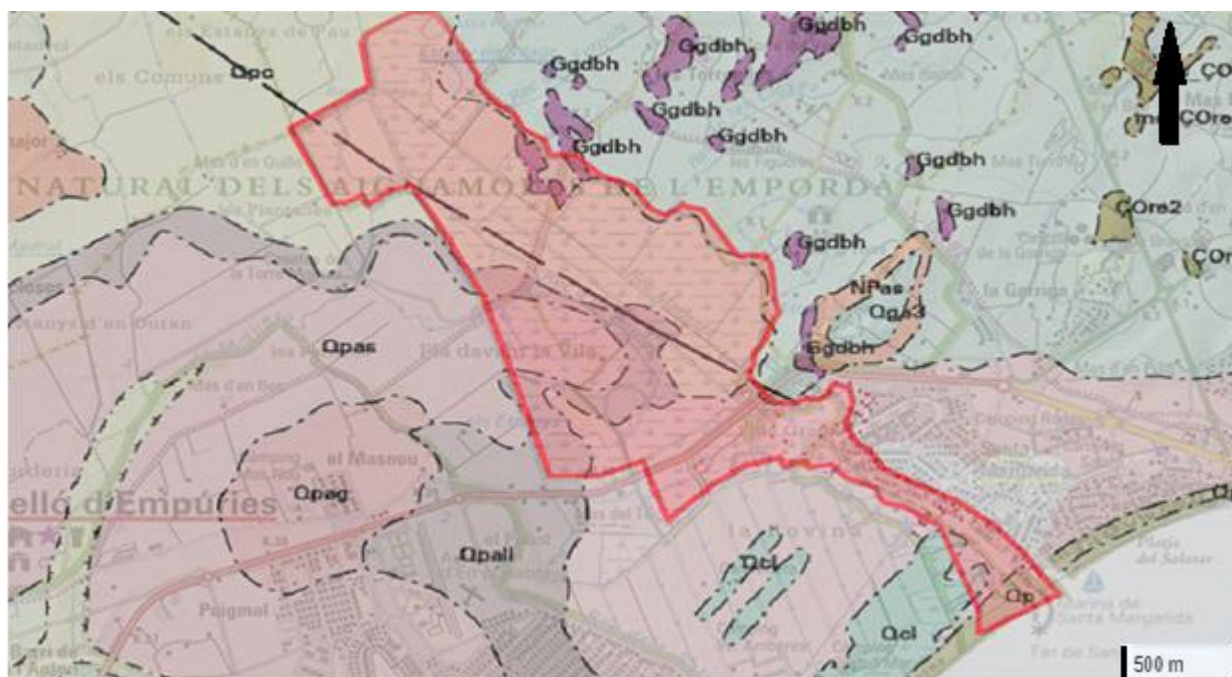


Figura 4: Mapa Geològic de Castelló d'Empúries, la zona d'estudi es troba senyalitzada en vermell. Font: ICGC amb modificacions pròpies. Llegenda: **Qm:** Argiles i llims amb nivells sorrencs. Presenten un color fosc pel seu alt contingut en sal i en matèria orgànica litoral. Són dipòsits de maresmes de l'Holocè actual. **Qpall:** Plana deltaica composta per llims. Època: Holocè superior. **Qpas:** Canals distribuïdors de sorres i graves de plana deltaica. Època: Holocè superior. **Qt1:** Graves subarrodonides i sorres amb matriu lutítica de color marronosa. S'interpreten com a dipòsits de ventalls al·luvials associats a la Terrassa fluvial. Època: Holocè. **Qga2:** Dipòsits de glaci d'acumulació, formats per argiles, llims i sorres englobant clasts dispersos i concentrats en nivells, el gruix dels dipòsits pot variar entre decimètric i mètric. Corresponen a dipòsits col·luvials recolzats als relleus. Època: Plistocè terminal - HOLOCÈ basal. **Qga3:** Glaci d'acumulació. Correlacionables amb la Terrassa Qga2. Argiles englobant clasts dispersos. Època: Plistocè superior. **Qpc:** Argiles i sorres palustres, de l'època del Plistocè. **Ggdbh:** Són un conjunt d'afloraments rocosos amb una granodiorita biotítico-hornblèndica. Època: Carbonífer-Permià. **NPas:** Graves i sorres grolleres amb una matriu argilosa. Localment, es poden trobar intercalacions de nivells d'argiles amb nòduls de carbonat de calci. Època: Pliocè.

2.3- Hidrogeologia

Els aiguamolls de l'Empordà, en estat natural, són sistemes palustres mixtos, és a dir, estan mantinguts per aigua subterrània de sistemes regionals i també locals, amb aportacions significatives d'aigües superficials i influència marina a través del terreny.

Els Estanys de Castelló, presenten una circulació d'aigua més o menys contínua, encara que lenta i en molts casos immòbil. Les aportacions d'aigües són principalment subterrànies, però també d'escorrentia superficial de rius, rieres i recs.

Els Estanys analitzats, representats en la Figura 5, són les següents:

- ❖ **La Rubina o rovina (1):** És una zona formada per petites parcel·les de terra dessecades i usades pel conreu. Hi trobem la bassa de la Rubina, una llacuna d'origen natural i molt pròxima al mar, el qual condiciona la vegetació i els sistemes naturals, cal destacar les jonqueres i la presència d'un dels peixos més rars i autòcton de Catalunya, el fartet (*Aphanius iberus*).
- ❖ **Estanys del Camp del Mas de la Torre (2):** Conjunt de zones inundables.
- ❖ **Estany de Pau i Morro de Porc (3 i 4):** És una de les zones que roman coberta d'aigua gran part de l'any. Actualment la seva extensió com estany està molt per sota de les seves capacitats a causa del drenatge.

- ❖ **Estany de Vilaüt i Bassa Rodona (5 i 6):** Estanys d'aigua dolça durant tot l'any, és una clara resta de l'antic estany de Castelló. A causa de la seva escassa fondària, la major part de l'estany hi observem boga (*Typha*) i joncs d'aigua (*Scirpoides holoschoenus*) entre les aigües lliures i a les vores. L'estany i els prats que l'envolten són aprofitats per a la pastura de vaques.

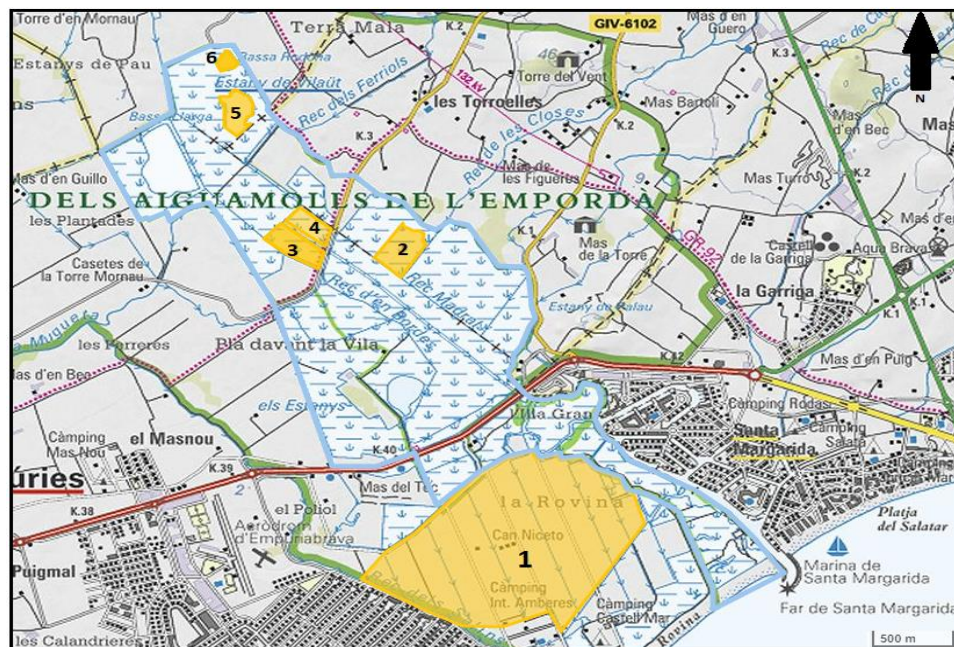


Figura 5: Ubicació dels Estanys analitzats. Font: Font: Instamaps amb modificacions pròpies

2.4- Meteorologia

Per emmarcar el període d'estudi i comprendre la hidrologia de la conca, s'han agafat les dades mensuals dels darrers dotze mesos, tenint en compte que el mostreig es va realitzar el 22 de Febrer, les dades dels quals s'exposen a la Taula 1.

Les dades de les precipitacions i les temperatures han estat obtingudes de l'estació de Castelló d'Empúries. Les dades dels últims 12 mesos, han estat facilitades pel Servei Meteorològic de Catalunya (Generalitat de Catalunya, 2019).

Taula 1: Representació de les mitjanes de: T, P, ETP mensuals, de la zona d'estudi. Font: Pròpia

	T° mitjana (°C)	Precipitació mitjana (mm)	Dies	N° Hores de sol	Índex de calor mensual (i)	ETP sense corregir (mm)	ETP corregida (mm)	P-ETP (mm)	P-ETPc (mm)
Març (2018)	11.8	52	31	12.00	3.67	104.17	107.64	-52.17	-55.64
Abril	13.8	48	30	13.40	4.65	113.89	127.18	-65.89	-79.18
Maig	17.4	49	31	14.30	6.61	129.98	160.05	-80.98	-111.05
Juny	20.9	39	30	15.00	8.72	144.29	180.36	-105.29	-141.36
Juliol	23.6	22	31	14.75	10.48	154.63	196.41	-132.63	-174.41
Agost	23.4	42	31	13.75	10.35	153.89	182.21	-111.89	-140.21
Setembre	21.2	59	30	12.50	8.91	145.46	151.53	-86.46	-92.53
Octubre	16.8	91	31	11.20	6.26	127.40	122.87	-36.40	-31.87
Novembre	12.5	52	30	10.00	4.00	107.64	89.70	-55.64	-37.70
Desembre	10.7	33	31	9.25	3.16	98.51	78.47	-65.51	-45.47
Gener (2019)	7.81	6.40	31	9.50	1.96	82.31	67.33	-75.91	-60.93
Febrer	9.03	2.13	28	10.50	2.45	89.43	73.04	-87.31	-70.91

El càlcul de l'evapotranspiració potencial s'ha realitzat amb el mètode de Thornthwaite (1948), basat en la determinació de l'evapotranspiració en funció de la temperatura mitjana, amb una correlació en funció de la durada d'hores de sol dels dies i del nombre de dies que tingui un mes (Sánchez San Román, 2001).

Fòrmula de Thornthwaite:

- 1- Es calcula l'índex de calor mensual (i), a partir de la temperatura mitjana mensual (t):

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1.514}$$

- 2- Es calcula l'índex de calor anual (I), fent el sumatori dels 12 valors i:

$$I = \sum i$$

- 3- Calculem la ETP mensual sense corregir, a partir de la següent fórmula:

$$ETP_{sense\ corr} = 16 * \left(\frac{10t}{I} \right)^a$$

Essent: $a = (675 * 10^{-9} I^3) - (771 * 10^{-7} I^2) + (1792 * 10^{-5} I) + 0.49239$

- 4- Calculem la ETP mensual corregida segons el n° de dies del mes i n° d'hores de sol:

$$ETP = ETP_{sense\ corr} * \left(\frac{N}{12} \right) * \left(\frac{d}{30} \right)$$

Essent: N: Nombre màxim d'hores de sol (depenen del mes).

d: Nombre de dies del mes.

L'evapotranspiració potencial és la quantitat màxima possible d'aigua, que perdria el sòl per evaporació i transpiració, suposant que aquest estigués saturat. La diferència entre l'ETP i la precipitació, permet saber si la superfície terrestre perd aigua.

Un cop obtingudes les dades de les temperatures, precipitacions, i l'evapotranspiració potencial (ETP), Taula 1, es comparen els resultats amb les dades meteorològiques, de fa 9 anys, aquests han estat calculades per l'estació de Roses i proporcionades pel RURALCAT (Generalitat de Catalunya, 2019), Taula 2.

Taula 2: Representació de les mitjanes de: T, P, ETP mensuals des de fa 9 anys. Font: Pròpia

	T° mitjana fa 9 anys (°C)	Precipitació mitjana fa 9 anys (mm)	ETP fa 9 anys (mm)	P-ETPc mitjana fa 9 anys (mm)
Març	11.73	78.16	30.02	-124.94
Abril	14.73	50.20	45.76	-177.26
Maig	18.06	44.40	66.21	-233.05
Juny	22.17	25.91	91.69	-278.60
Juliol	24.59	18.33	104.19	-236.51
Agost	24.39	24.53	96.31	-164.88
Setembre	21.34	44.65	72.35	-82.42
Octubre	17.86	77.53	50.55	-66.84
Novembre	13.04	79.13	29.14	-63.54
Desembre	9.66	34.14	18.07	-77.52
Gener	8.92	35.66	16.59	-91.27
Febrer	9.58	32.68	20.36	-641.24

Amb l'ajuda de les dades de les taules anteriors (Taula 1 i Taula 2), s'ha creat un climograma anual (Figura 6), de les pluges i temperatures mitjanes mensuals, amb comparació amb les mitjanes d'anys anteriors. Es pot observar, que tant les precipitacions han estat menor en els últims mesos, en comparació amb anys anteriors, en canvi, la temperatura no ha variat gaire, en comparació amb altres anys.

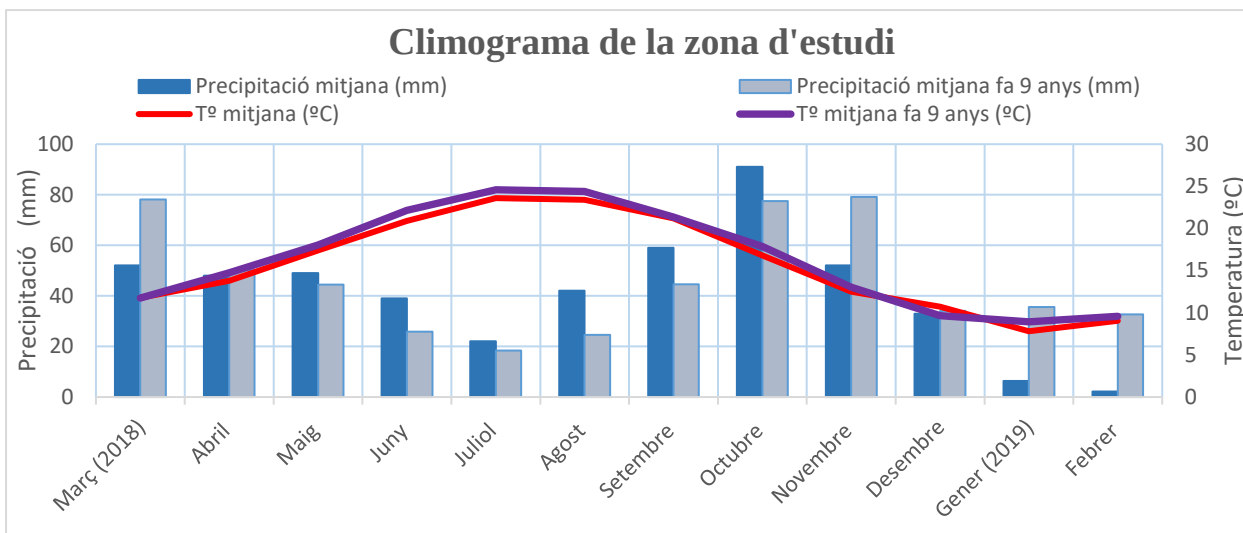


Figura 6: Representació de les dades de les Taules 1 i 2, en forma de climograma, durant un any i comparades amb les dades de fa 9 anys. Font: Pròpia

Si ens fixem amb la diferència entre la precipitació i l'ETP corregida (Figura 7), cada mes durant tot l'any obtenim un resultat negatiu, això significa que hi ha dèficit d'aigua superficial.

En canvi, si es compara amb anys anteriors, s'observa una tendència similar respecte els mesos d'estiu (del Maig a Setembre), en canvi, durant l'hivern s'observa com antigament la diferència entre les precipitacions i l'ETP, era positiva.

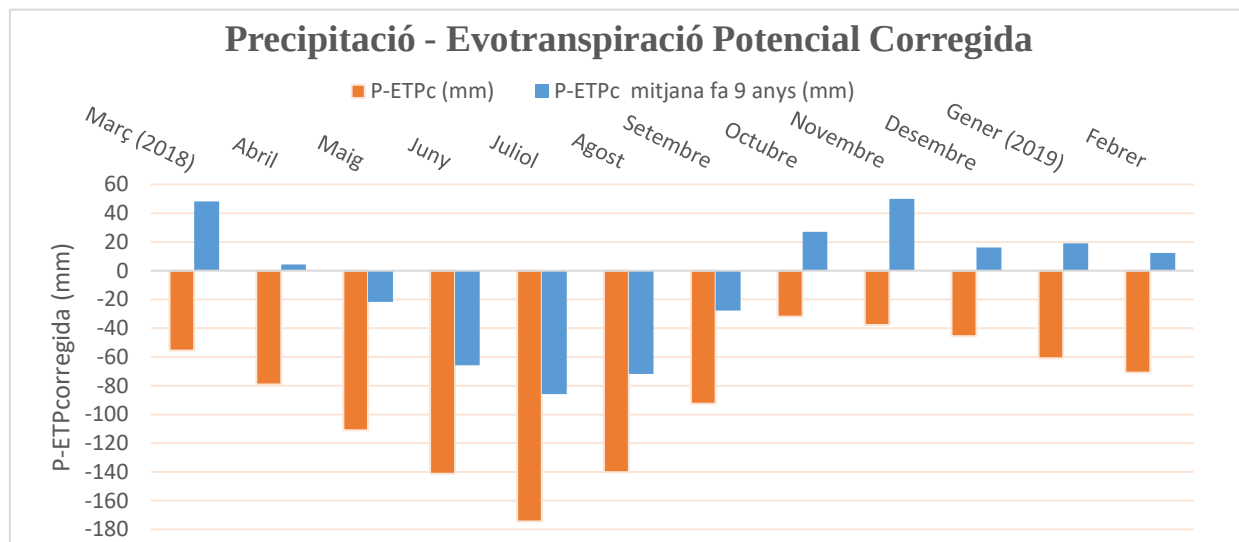


Figura 7: Relació Evapotranspiració corregida, obtinguda per la fórmula de Thornthwaite, amb les precipitacions, comparades amb les dades de fa 9 anys . Font: Pròpia

Les condicions meteorològiques dels darrers mesos permeten comprendre millor l'estat hidrològic dels estanys de Castelló en el moment del mostreig (Figures 8 i 9).

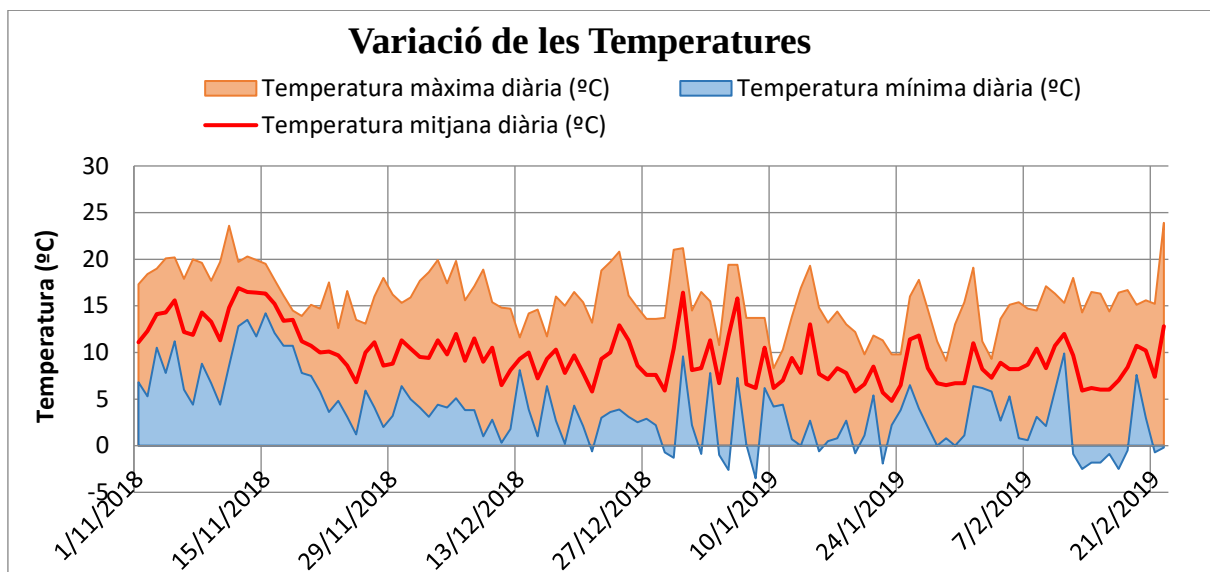


Figura 8: Distribució de Temperatures en la zona d'estudi en els últims 3 mesos. Font: meteocat amb modificacions pròpies

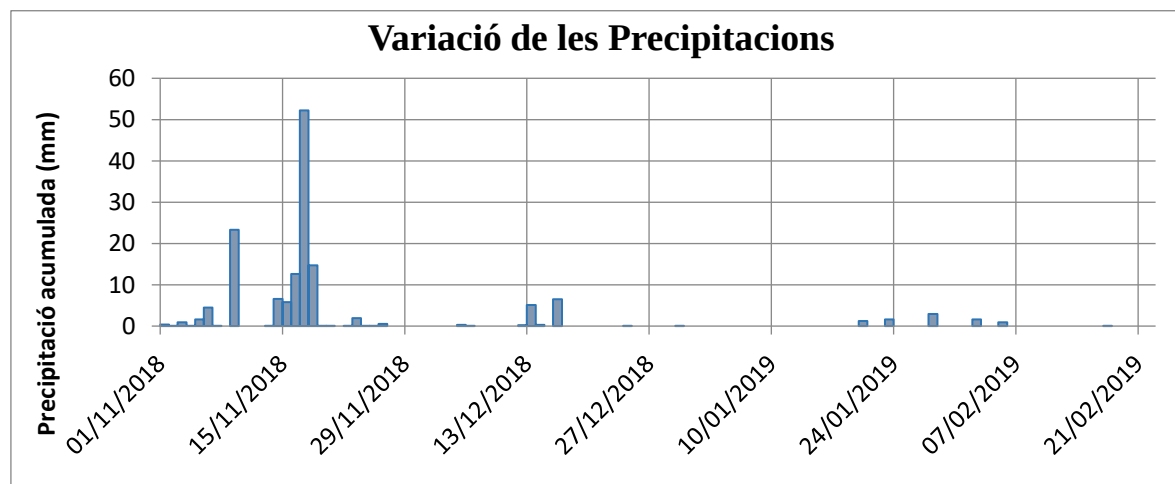


Figura 9: Distribució de les Precipitacions en la zona d'estudi en els últims 3 mesos. Font: meteocat amb modificacions pròpies

Les pluges han estat mínimes sobretot durant els últims 3 mesos, i per aquest motiu, la superfície dels estanys es trobava tan reduïda i, la majoria de regs d'entrada que es volien mostrejar estaven secs. Respecte a la temperatura mitjana anual, la corba obtinguda és típica de zones amb el clima mediterrani (majors temperatures a l'estiu i menors a l'hivern).

3- Objectius

The main aim of this study is to investigate the hydrological dynamic of Estanys de l'Empordà, placed in a Natural Protected Area, by means of hydrochemical data.

Different hydrochemical components are analyzed in this project. Hydrochemical associations can be found in the lagoons and in different canals (input, exit, and inside ones) that constitute the drainage network of this wetland area. The main intention is to check if there is a direct affectation of wetland zones because of human pressures, mainly agricultural and farming activities around the protected area or in contrast, whether the pond itself generates the observed hydrochemical values, meaning that there isn't any human affection.

To check if there is a condition given by the relation "land uses - wetlands", it is made a balance of mass, and it is paid attention on the nitrogen, predominately nitrates, since the nitrogen is the element that more information can contribute us on the interaction among the human activities with wetlands. The purpose is to value the level of nutrients at the waters of the lagoons and to value the assimilation of nitrogen like an approach to the qualitative state of this water body.

4- Metodologia

Durant el desenvolupament de les pràctiques de camp, és fonamental establir un pla de recopilació de dades de forma eficaç abans d'anar a la zona d'estudi. Per aquest motiu, la recollida de mostres es basa amb una organització prèvia a les sortides de camp, per optimitzar el temps i recollir diverses mostres segons l'origen de la mostra.

Per dur a terme aquest treball s'han seleccionat 15 punts de mostreig, aquests han estat escollits seguint el criteri d'ubicar-los en zones properes a vies de comunicació perquè l'accés i l'extracció de les mostres siguin fàcils, també, es recomana establir llocs de mostreig permanents, tenint cura d'assegurar les mateixes condicions de mostreig perquè siguin reproduïbles.

Els punts de mostreig per a aquest estudi presenten un origen diferent, pel qual els podem classificar: 3 recs d'entrada (punts: 5,14 i 15), 3 recs interiors (punts: 7,9 i 11), 5 mostres representen les llacunes interiors (punts: 6,8,10,12 i 13) i finalment 4 mostres representen les sortides dels Estanys (punts: 1,2,3 i 4). La ubicació de tots els punts de mostreig, estan representats en la Figura 10.

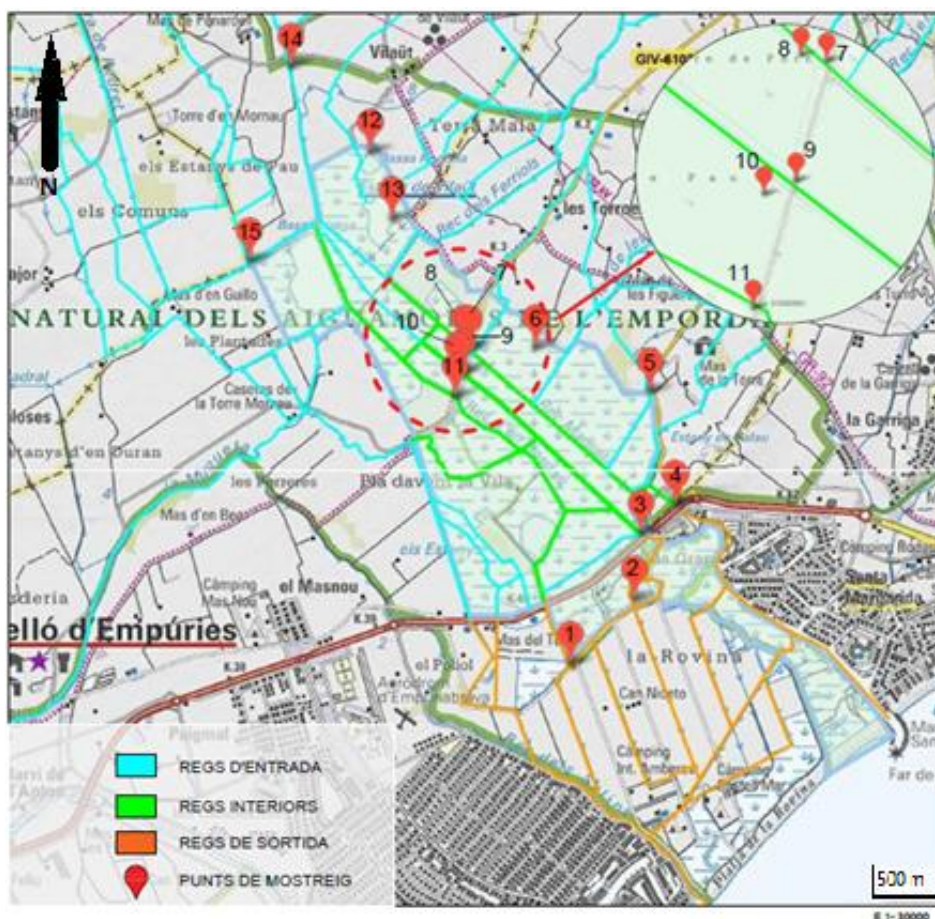


Figura 10: Zona d'estudi, a escala 1:30.000, diferenciant les diferents classes de punts de mostreig, segons el seu origen. Font: instamaps amb modificacions pròpies.

4.1- Presa de mostres i anàlisis químic

Les mostres d'aigua es van prendre durant els dies 22 i 23 de febrer de l'any 2019, en tots els casos, es van obtenir directament del punt de mostreig.

Per mesurar els paràmetres fisicoquímics in situ es va utilitzar un equip compost per un conductímetre i un pH-metre, per mesura la conductivitat elèctrica, el pH i la temperatura. En el cas dels paràmetres fisicoquímics ex situ, vam prendre mostres d'aigua, un volum significatiu, 250 mL aproximadament. Un cop el recipient estava ple, taparem la mostra sense que hi hagi cap bombolla d'aire dins d'aquest, per evitar que la química de l'aigua variï. Finalment s'emmagatzemaran les mostres en una nevera portàtil mantenint-les a baixes temperatures (uns 4°C), fins a arribar a l'ICRA (Institut Català de Recerca de l'Aigua), on s'analitzaran les mostres recollides.

Un cop analitzades les mostres, vam obtenir l'alcalinitat, i les concentracions de: nutrients (nitrits, nitrats, fosfats i fosfats totals), anions (Cl^- i S-SO_4^{2-}), els cations (Na^+ , N-NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} i Ca^{2+}).

Per tant, els paràmetres químics (pH, conductivitat elèctrica (EC), i temperatura) van ser mesurats in situ. En canvi, en el laboratori, es va mesurar l'alcalinitat que es va determinar usant Gran titration, les concentracions de: SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , K^+ i N-NH_4^+ , van ser mesurades utilitzant cromatografia iònica, i finalment, N-NO_2^- , N-NO_3^- , P-PO_4^{2-} i PT (fòsfor total), van ser determinats per espectrofotometria. La qualitat de l'anàlisi química, va ser comprovada per un balanç de massa iònic, amb un error més baix que 5%.

4.2- Tractament de les dades

Els resultats de les anàlisis de les magnituds fisicoquímiques, dels punts de mostreig, queden reflectits a la Taula 3 i en la Taula 4.

S'han pres els valors de referència de la composició química de l'aigua de mar, corresponents a una mostra de la Badia de Roses (Kruse i Mas-Pla, 2009).

Taula 3: Composició hidroquímica de les mostres segons el seu origen, en mg/L. Font Pròpia

Taula en: mg/L			Mostreig de camp in situ			Mostreig de laboratori ex situ												
Nº Mostreig	DESCRIPCIÓ	Temperatur a (°C)				Conductivit at (µS/cm)	pH	Anions						Cations				
			Alcalinitat = HCO3- (mg/L)	Alcalinitat = CO3z- (mg/L)	Sulfat (mg/L)			Clorur (mg/L)	Nitrat (mg/L)	Nitrit (mg/L)	Amoni (mg/L)	Calci (mg/L)	Magnesi (mg/L)	Sodi (mg/L)	Potassi (mg/L)	Fosfats P- PO4 (mg/L)	Fòsfor Tot (mg/L)	
	1	Rec de sortida, sota Estany del Tec (la Rubina)	13,15	699,00	7,45	298,73	0,00	47,64	57,91	0	0	0	83,51	17,10	43,06	13,88	0,02	0,08
	2	Rec sortida, la Rubina	14,85	7940,00	7,79	307,45	0,00	384,93	2307,94	0,52	0	0	135,45	174,16	1341,19	53,34	0,03	0,05
	3	Sortida del Rec del Mig	13,40	737,00	7,79	239,85	0,00	86,39	76,72	5,04	0,06	0,28	78,90	20,66	54,69	3,36	0,01	0,06
	4	Sortida del Rec del Madral	13,40	1956,00	7,72	344,52	0,00	110,30	403,17	0	0	0,18	103,84	48,03	234,06	11,18	0,22	0,24
	5	Rec d'entrada, sota el mas de la Torre	13,85	1337,00	7,90	361,93	0,00	103,16	214,79	0	0	2,36	101,11	41,84	130,00	5,08	0,26	0,37
	6	Estany de Palau (al costat del mas de la Torre)	14,05	1702,00	7,83	299,03	0,00	111,92	339,71	0	0	0,10	87,05	49,89	191,47	7,62	0,08	0,24
	7	Rec del Madral	13,40	1256,00	7,54	271,78	0,00	116,17	207,09	0	0	0,21	86,52	33,71	128,34	5,69	0,12	0,19
	8	Estany Morro de Porc	13,50	2780,00	8,02	269,38	0,00	127,85	677,00	0	0	0,15	75,96	61,55	403,38	8,83	0,27	0,32
	9	Rec del Mig	13,90	705,00	7,84	235,08	0,00	85,80	66,06	6,32	0,09	0,29	78,34	19,99	48,98	3,01	0,02	0,06
	10	Estany de Pau	14,40	2330,00	9,02	205,74	14,01	64,86	597,28	0	0	0	43,85	48,87	381,50	8,71	0,01	0,08
	11	Rec d'en Bordes	14,95	961,00	7,68	277,07	0,00	82,16	117,17	0	0	0,07	70,85	24,36	94,21	5,18	0,03	0,11
	12	Bassa Rodona	17,70	2220,00	8,09	429,73	0,00	192,56	424,34	0	0	1,48	151,38	68,37	229,07	15,05	1,39	1,55
	13	Estany de Vilaüt	18,25	1993,00	8,18	344,48	0,00	241,42	320,76	0,12	0,06	1,22	131,09	57,34	192,24	10,97	0,09	0,17
	14	Riu tort (Entrada), mostra de sota el pont del camí vell de Cadaqués	15,35	779,00	7,63	179,55	0,00	101,05	70,32	26,87	0,53	0,40	65,50	24,03	50,58	5,66	0,33	0,36
	15	Rec d'entrada, Rec madral	13,85	1094,00	7,20	279,66	0,00	176,27	140,84	17,46	0,05	0,14	104,31	44,07	87,94	2,58	0,08	0,10
		Aigua de Mar		37540,00	8,10	178,00		2452,00	18104,00				372,00	1203,00	9927,00	360,00		

Taula 4: Composició hidroquímica de les mostres segons el seu origen, en meq/L. Font Pròpia

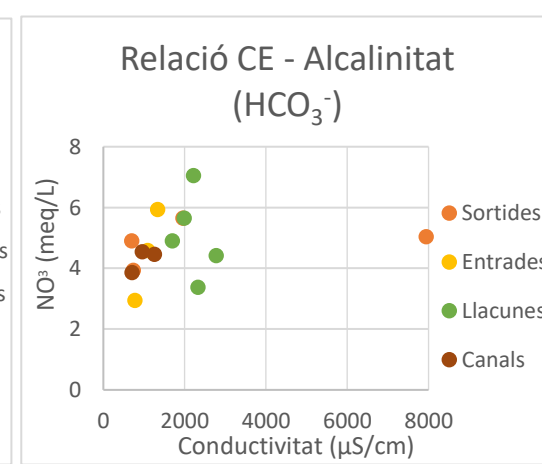
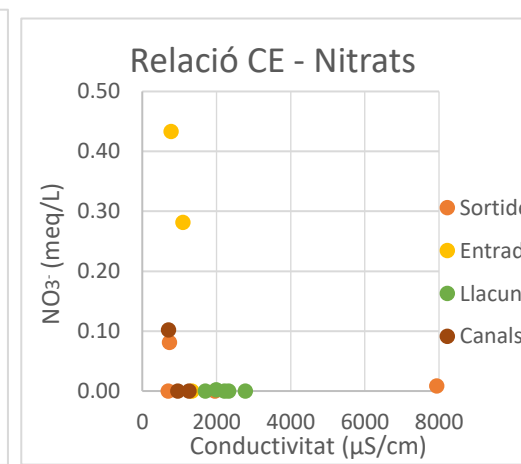
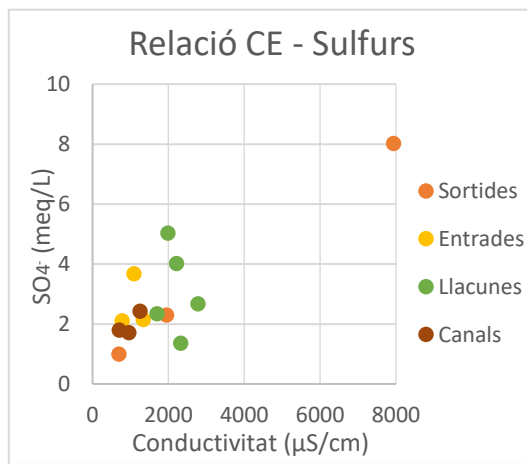
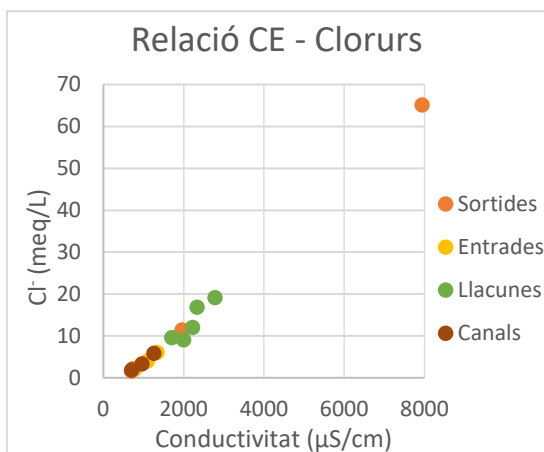
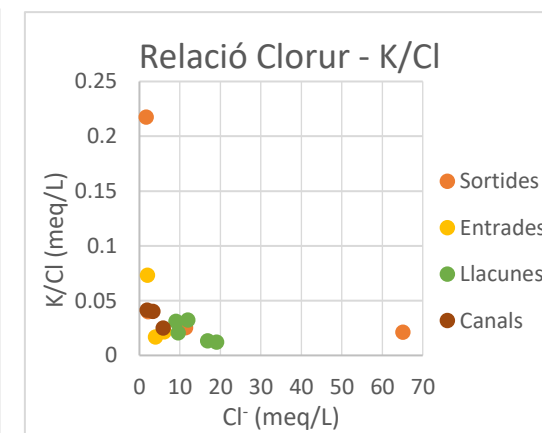
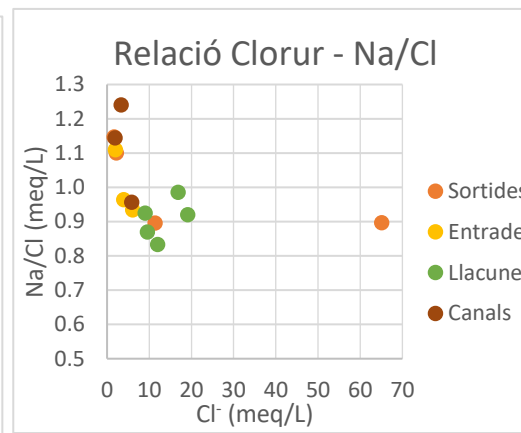
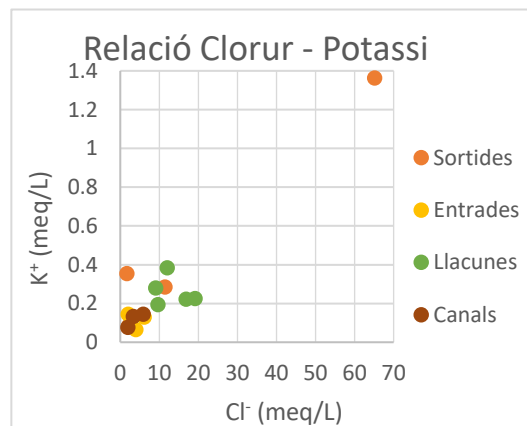
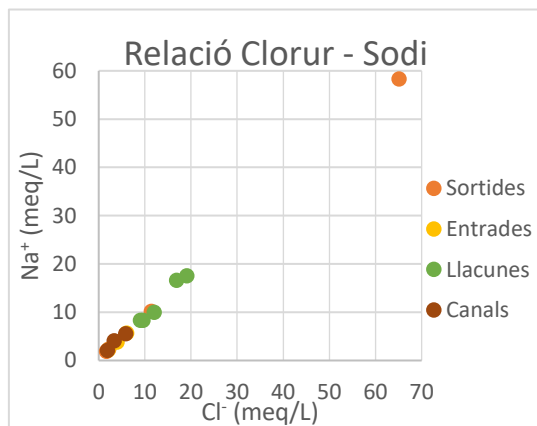
Taula en: meq/L

	Nº Mostreig	DESCRIPCIÓ	Mostreig de camp in situ			Mostreig de laboratori ex situ										Suma Anions	Suma Cations	Error	
			Temperatura (°C)	Conductivitat (µS/cm)	pH	Bicarbonat (meq/L)	Carbonat (meq/L)	Sulfat (meq/L)	Clorur (meq/L)	Nitrat (meq/L)	Nitrit (meq/L)	Amoni (meq/L)	Calci (meq/L)	Magnesi (meq/L)	Sodi (meq/L)				Potassi (meq/L)
	1	Rec de sortida, sota Estany del Tec (la Rubina)	13,15	699,00	7,45	4,90	0,00	0,99	1,63	0,00	0,00	0,00	4,18	1,41	1,87	0,35	7,52	7,81	1,88
	2	Rec sortida, la Rubina	14,85	7940,00	7,79	5,04	0,00	8,02	65,10	0,01	0,00	0,00	6,77	14,33	58,36	1,36	78,17	80,83	1,67
	3	Sortida del Rec del Mig	13,40	737,00	7,79	3,93	0,00	1,80	2,16	0,08	0,00	0,02	3,95	1,70	2,38	0,09	7,98	8,13	0,92
	4	Sortida del Rec del Madral	13,40	1956,00	7,72	5,65	0,00	2,30	11,37	0,00	0,00	0,01	5,19	3,95	10,19	0,29	19,32	19,63	0,79
	5	Rec d'entrada, sota el mas de la Torre	13,85	1337,00	7,90	5,93	0,00	2,15	6,06	0,00	0,00	0,13	5,06	3,44	5,66	0,13	14,14	14,42	0,96
	6	Estany de Palau (al costat del Mas de la Torre)	14,05	1702,00	7,83	4,90	0,00	2,33	9,58	0,00	0,00	0,01	4,35	4,11	8,33	0,19	16,82	16,99	0,51
	7	Rec del Madral	13,40	1256,00	7,54	4,46	0,00	2,42	5,84	0,00	0,00	0,01	4,33	2,77	5,58	0,15	12,72	12,84	0,49
	8	Estany Morro de Porc	13,50	2780,00	8,02	4,42	0,00	2,66	19,10	0,00	0,00	0,01	3,80	5,06	17,55	0,23	26,18	26,65	0,90
	9	Rec del Mig	13,90	705,00	7,84	3,85	0,00	1,79	1,86	0,10	0,00	0,02	3,92	1,65	2,13	0,08	7,61	7,79	1,16
	10	Estany de Pau	14,40	2330,00	9,02	3,37	0,47	1,35	16,85	0,00	0,00	0,00	2,19	4,02	16,60	0,22	22,04	23,04	2,22
	11	Rec d'en Bordes	14,95	961,00	7,68	4,54	0,00	1,71	3,31	0,00	0,00	0,00	3,54	2,00	4,10	0,13	9,56	9,78	1,16
	12	Bassa Rodona	17,70	2220,00	8,09	7,04	0,00	4,01	11,97	0,00	0,00	0,08	7,57	5,63	9,97	0,38	23,03	23,63	1,29
	13	Estany de Vilaüt	18,25	1993,00	8,18	5,65	0,00	5,03	9,05	0,00	0,00	0,07	6,55	4,72	8,37	0,28	19,73	19,99	0,65
	14	Riu tort (Entrada), mostra de sota el pont del camí vell de Cadaqués	15,35	779,00	7,63	2,94	0,00	2,11	1,98	0,43	0,01	0,02	3,27	1,98	2,20	0,14	7,48	7,62	0,95
	15	Rec d'entrada, Rec madral	13,85	1094,00	7,20	4,58	0,00	3,67	3,97	0,28	0,00	0,01	5,22	3,63	3,83	0,07	12,51	12,74	0,91
		Aigua de mar				2,92		51,08	510,69				18,60	98,99	431,98	9,21	564,69	558,78	-0,53

Els errors obtinguts inferiors al 5% (Taula 4), només es calcula amb meq/L, ja que es necessiten les relacions iòniques i no de massa, corroboren la correcció analítica de cada mostra.

5- Resultats

A partir dels anàlisis realitzats i dels resultats, obtenim aquestes figures per conèixer les relacions que es donen a terme.



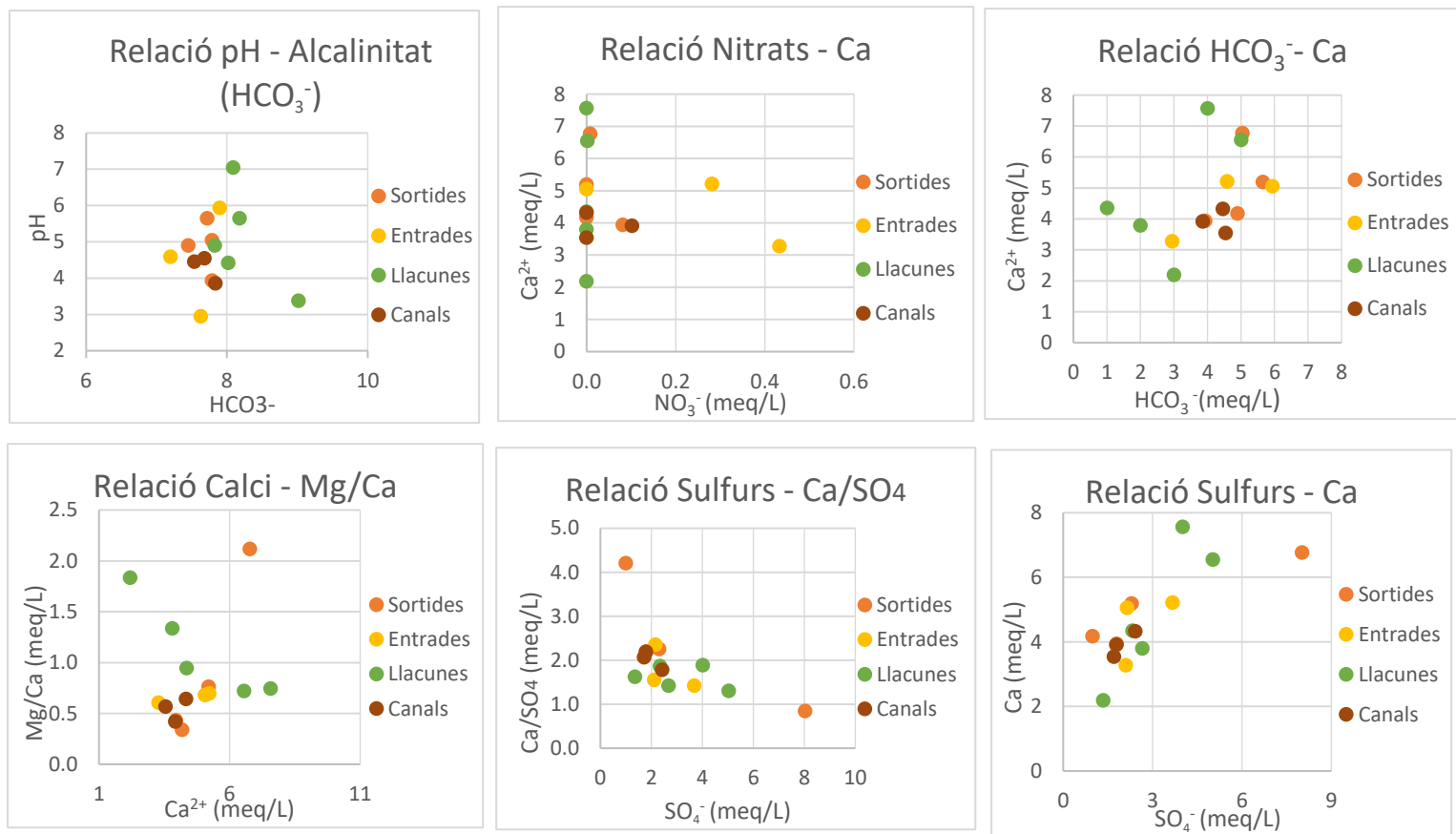


Figura 11: Relacions iòniques entre les diferents mostres dels Estanys de Castelló.

5.1- Descripció dels resultats hidroquímics

Un cop realitzades les taules, podem agrupar tots els punts de mostreig segons el seu origen o les propietats físico-químiques, tots menys el punt 2, aquest presenta unes concentracions que no concorden amb la resta de punts de mostreig.

Relacions entre els paràmetres físico-químics:

Els paràmetres físico-químics es caracteritzen per presentar un ampli rang de variabilitat en els diferents punts d'aigua. Van molt associats al període en què es va realitzar el mostreig (existeix una variabilitat temporal). Dels resultats obtinguts, cal destacar:

-Temperatura: La temperatura de l'aigua oscil·la entre 13,00 °C i 18,50 °C, estant fortament influïda per la temperatura ambiental. Aquesta diferència de temperatures tan elevada ve donada per les llacunes, ja que la mitjana de la temperatura en les 4 llacunes mostrejada és de 16,00 °C (degut a les altes temperatures de l'estany de Vilaüt i la bassa Rodona, amb 18,25 °C i 17,70 °C respectivament).

-Conductivitat elèctrica: Aquesta oscil·la entre límits amplis. En el cas de les llacunes s'han mesurat valors de 1.702 - 2.780 $\mu\text{S} / \text{cm}$.

En els punts d'aigua de reg també hi ha un ampli rang de variabilitat, entre 699-1956 $\mu\text{S} / \text{cm}$, amb l'única excepció del reg de sortida que es troba sota la Rajoleria, en aquest cas vam obtenir una conductivitat de 7.940 $\mu\text{S} / \text{cm}$, un valor molt semblant a l'aigua salada.

-pH: El pH obtingut en els diversos punts de mostreig, oscil·la entre 7,30 i 8,20, ascendint fins a 9,20 a l'Estany de Pau. La variabilitat d'aquest paràmetre és molt més elevat quan analitzem les llacunes, amb valors que presenten un pH neutre com l'Estany del Camp de Mas de la Torre (amb un pH de 7,83, un valor totalment acceptable, ja que l'estany no el trobem afectat per la ramaderia que es practica en el Mas de la Torre), i valors que es consideren bàsics, com l'obtingut en l'Estany de Pau, un pH de 9,20.

Relacions entre els components químics (els elementals):

En el conjunt de punts d'aigües mostrejats (llacunes i els regs: d'entrada, interiors i de sortida), observem que els anions majoritaris són els clorurs i sulfats, la concentració de nitrats i nitrats presents és quasi nul·la. Respecta els cations obtinguts, el sodi i el calci, són els que presenten major abundància.

En el cas dels clorurs i del sodi, les concentracions obtingudes, semblen indicar la gran influència dels regs, on gran part de les aportacions són ramaderes o d'aigües residuals urbanes (causants de l'augment de la relació Cl^-/Na^+), i / o a causa de la seva geografia, formada per terrenys al·luvials de molt gruix contenint sorres i llims amb nivells de graves al llarg de la subconca hidrogràfica del període Quaternari (en vista de l'elevada concentració de bicarbonats i calci), per tant, no es descarta que existeixin relacions d'intercanvi catiònic, $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+}$, que enriqueix amb Na^+ .

La major variabilitat entre les diferents anàlisis, correspon al contingut en sulfats, que està directament vinculada a la proporció de calci, segons es desprèn de les relacions iòniques calci / sulfat ($\text{Ca}^{2+} / \text{SO}_4^{2-}$) calculades. Aquesta relació és d'1,87.

S'observa que en els regs d'entrada, presenten uns valors elevats de nitrats, tot i que aquesta concentració disminueix considerablement en les llacunes, a causa de l'assimilació de la vegetació, causant que les sortides, presentin unes concentracions de nitrogen quasi inexistent.

Dinàmiques:

El conjunt de concentracions iòniques, obtingudes de les entrades i dels canals interiors, presenten unes propietats bastant similars. En excepció de les concentracions de nitrats i nitrats, en ambdós casos, les concentracions de nitrats són superiors, a causa que la vegetació capta els nitrats i nitrats que provenen dels canals d'entrada, per nodrir-se.

Respecte a les llacunes, s'observen que presenten unes relacions entre el Na^+ i Cl^- majors, per tant, són més salades, segurament per l'evaporació que es dona sobre aquestes.

Finalment les sortides, en aquest cas s'han obtingut 3 mostres que presenten resultats similars, i 1 que presenta uns valors, que presenten una semblança major amb l'aigua de mar.

6- Discussió

Podem afirmar que les propietats dels regs d'entrada i dels canals interiors tendeixen a ser bastant uniformes en tots els paràmetres, tant físics com químics.

Respecte a les llacunes, s'observa que presenten unes dades significativament diferents respecte als regs (tant d'entrada com de sortida) i dels canals. Aquest fet pot ser, perquè es tracta d'aigües en poc moviment i amb facilitat a l'evaporació, si bé es considera la hipòtesi que les concentracions obtingudes estan afectades per evaporació. Per aquest motiu calcularem els percentatges d'evaporació, per comprovar l'efecte sobre les llacunes.

Finalment, les dades obtingudes dels diferents regs de sortida, presenten uns resultats bastant semblants en els diferents punts de mostreig, menys el punt 2, es tracta d'una dada atípica que presenta unes característiques semblants a les del mar. Per tant, el compararem amb les característiques hidroquímiques que s'atribueixen a la influència de l'aigua de mar, utilitzant línies de mescla, per conèixer la proporció d'aigua de mar a la mostra i en quantificarem el percentatge.

6.1- Percentatges d'evaporació de les llacunes

S'ha calculat el % d'evaporació que estan sent sotmeses les llacunes, per poder conèixer l'estat que es trobaven aquestes durant el mostreig. El percentatge d'evaporació de les llacunes, es troba definit pel comportament dels ions més conservatius i s'utilitzaran un conjunt de càlculs numèrics per avaluar-lo.

La Taula 5, mostra els possibles valors dels ions analitzats, que presentarien les llacunes depenen de l'evaporació que haguessin estat sotmeses.

L'evaporació ha estat calculada a partir de la fórmula (Kruse i Mas-Pla, 2009: p 35-36):

$$C' = \frac{Co}{(1-X)} \quad \text{on: } X = \frac{v}{v_o}$$

Essent: Co: La concentració mitjana, dels tres regs d'entrada a les llacunes

x: Percentatge d'evaporació

S'observa que existeix una relació semblant respecte a les pèrdues totals d'aigua, s'observen dos grups diferents de llacunes segons l'evaporació, les tres llacunes que presenten menor evaporació, per el major flux d'aigua, són les llacunes del Camp del Mas de la Torre, de Pau i de Morro de Porc, en aquests tres casos, s'observa un baix percentatge d'evaporació, entre el 55 – 65%. En canvi, les llacunes de Vilaüt i Bassa Rodona, presenten una evaporació major, entre el 75-85%.

Taula 5: Concentracions d'entrada per calcular els possibles % d'evaporació i el percentatge d'evaporació en els diferents ions . Font: Pròpia

Co (mitjana entrades)	4,0	1070,00	3,89	3,95	2,64	3,02	4,52
% d'evaporació	Cl	CE	Na	Na/Cl	SO4	Mg	Ca
5	4,22	1126,32	4,10	0,97	2,78	3,17	4,75
10	4,45	1188,89	4,33	0,97	2,94	3,35	5,02
15	4,71	1258,82	4,58	0,97	3,11	3,55	5,31
20	5,01	1337,50	4,87	0,97	3,30	3,77	5,64
25	5,34	1426,67	5,19	0,97	3,52	4,02	6,02
30	5,72	1528,57	5,56	0,97	3,77	4,31	6,45
35	6,16	1646,15	5,99	0,97	4,07	4,64	6,95
40	6,68	1783,33	6,49	0,97	4,40	5,03	7,53
45	7,28	1945,45	7,08	0,97	4,80	5,48	8,21
50	8,01	2140,00	7,79	0,97	5,28	6,03	9,03
55	8,90	2377,78	8,66	0,97	5,87	6,70	10,03
60	10,01	2675,00	9,74	0,97	6,61	7,54	11,29
65	11,44	3057,14	11,13	0,97	7,55	8,62	12,90
70	13,35	3566,67	12,98	0,97	8,81	10,05	15,05
75	16,02	4280,00	15,58	0,97	10,57	12,06	18,06
80	20,03	5350,00	19,47	0,97	13,21	15,08	22,58
85	26,70	7133,33	25,97	0,97	17,62	20,10	30,10
90	40,05	10700,00	38,95	0,97	26,42	30,16	45,15
95	80,10	21400,00	77,90	0,97	52,85	60,31	90,31

El resultat d'aquesta evaporació és que les concentracions dels ions conservatius, com el Cl^- , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , s'incrementin en augmentar el percentatge d'evaporació, encara que en proporcions diferents. En comparar la recta teòrica, amb les dades de mostreig que presenten les llacunes, s'observa una relació lineal entre Cl^- - Na^+ i l'evaporació (Figura 11), i el percentatge l'evaporació que es dona en les llacunes mostrejades.

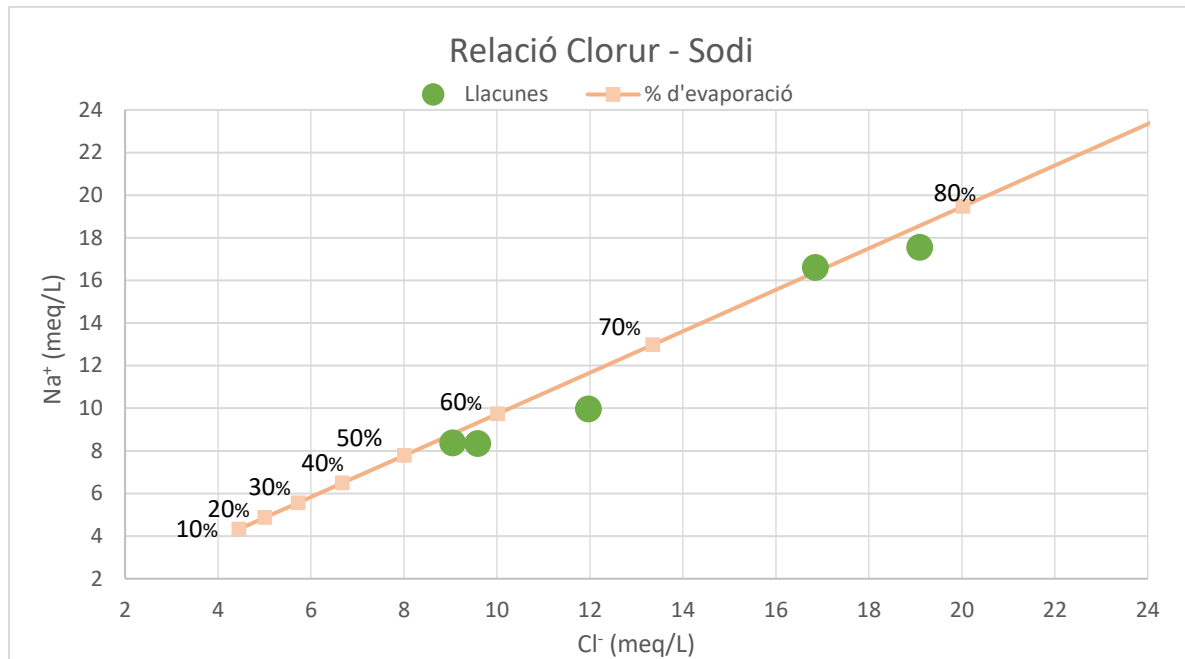


Figura 11: Càlcul del % d'evaporació de les llacunes segons les concentracions de Na⁺ i Cl⁻. Font: Pròpia

Aquest comportament d'evaporació, ens indica que l'aigua de les llacunes a més diferència de la sortida o dels canals interiors, presenta un temps de residència major que ha permès una evaporació de més del 55%, i en alguns casos superior al 75%, que són la causa concentracions elevades observades en aquesta campanya de camp.

6.2- Estimació de la mescla amb aigua marina

La mostra del punt 2, que presenta unes concentracions elevades, sobretot de conductivitat elèctrica, que s'atribueixen a la mescla amb aigua de mar. Aquesta mostra, va ser extreta d'una zona propera a la desembocadura del rec del Madral, ja en la Rubina, a causa de la seva situació propera a l'aigua marina, explicar que presenti unes propietats similars de mescla a les de l'aigua de mar.

Per tant, s'han determinat els paràmetres físico-químics de l'aigua de mar, per comparar-los amb els paràmetres obtinguts de la mostra del punt 2 i analitzar-ho amb el càlcul de línies de mescla (Taula 6). Per aquest motiu, es van emprar les concentracions d'alguns d'elements analitzats, amb l'aigua de mar, com ara: la conductivitat elèctrica (CE), el Cl⁻, el Na⁺, el Ca²⁺ i el Mg²⁺.

En calcular les línies de mescla, els processos de mescla es consideren dos o més pols, també anomenats membres extrems de la mescla. Al principi, se suposa que els components de la mescla tenen un caràcter conservatiu, de manera que la composició química de la barreja resulta una combinació lineal de les contribucions dels diferents pols. (Kruse i Mas-Pla, 2009: p 39-40)

En el cas de dos membres extrems, aigua continental (ac) i aigua marina (am), l'expressió de mescla, posant com a exemple el clorur, és la següent:

$$C^{Cl} = f_{am} \times C_{am}^{Cl} + f_{ac} \times C_{ac}^{Cl} = f_{am} \times C_{am}^{Cl} + (1 - f_{am}) \times C_{ac}^{Cl}$$

Essent: C: La concentració, en aquest cas del clor

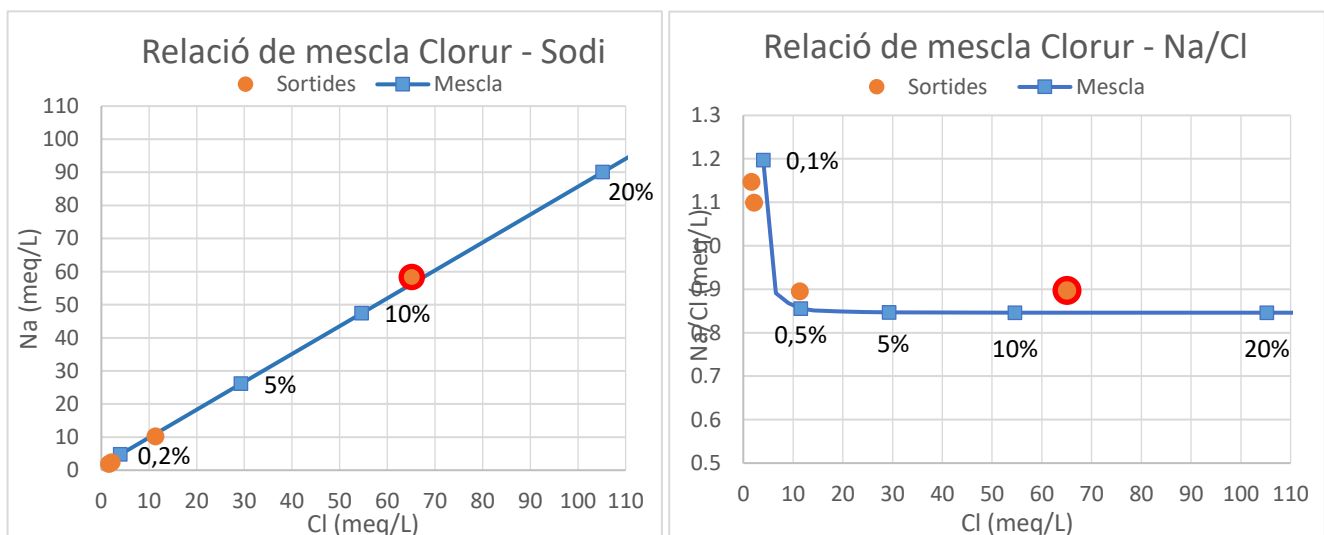
f: La contribució dels diferents pols

Taula 6: Càlculs per la línia de mescla, per diferents elements. Font: Pròpia

	Entrada	Mar	Sortida mostra	% mescla
CE ($\mu\text{S/cm}$)	1070,00	37540,00	7940,00	18,84
Cl (meq/L)	4,01	510,69	65,10	12,06
Na (meq/L)	3,89	431,98	58,36	12,72
Ca (meq/L)	4,52	18,60	6,77	16,02
Mg (meq/L)	3,02	98,99	14,33	11,79
				$\pm 14,29$

En les Figures 12a i 12b, queda representat com la mostra 2 cau a sobre de la línia de mescla de l'aigua de mar, par tant, si podem afirmar que la mostra 2 rep molta influència de l'aigua de mar.

En el cas del calci, els resultats poden estar condicionats per reaccions iòniques que s'han donat o perquè pot haver realitzat intercanvis amb el sodi, que han acabat alterant els resultats, per aquest motiu, no és considerat del tot indicatiu.



Figures 12a i 12 b : línies de mescla Teòriques entre el Cl-Na i el Cl-Na/Cl, del Punt 2 (emmarcat en vermell), amb aigua de mar. Font: Pròpia

Encara que la figura també mostri els resultats de les altres mostres de sortides, i malgrat que tinguin salinitats diferents, aquestes no s'atribueixen a mescla amb l'aigua de mar doncs, per la seva ubicació i altitud del punt de mostreig, aquesta mescla no és possible.

Els càlculs (Taula 6) i gràfics (Figures 12a i 12b) indiquen que el punt, presenta una contribució del 18% d'aigua de mar, segons amb la conductivitat elèctrica. Aquest percentatge disminueix fins a un 12%, si prenen com a base el clor, de sodi i magnesi. La mitjana dels percentatges de mescla s'obté que presenta un $\pm 14.29\%$, si usem els ions més conservatius, respecte a l'aigua de mar. Es confirma doncs, que existeix mescla entre el punt 2 i l'aigua de mar, ja que en certa manera, tots els ions conservatius presenten un percentatge de mescla entre el 12 i 16%.

6.3- Ètica i sostenibilitat

En les zones litorals, els recursos hidrològics, reben una forta pressió a causa de la incrementació de l'ocupació humana. Aquest treball és un estudi de la dinàmica hidrogeològica de la zona dels estanys aiguamolls de Castelló que permet aportar uns criteris sobre la qualitat química i la hidrodinàmica d'una zona humida present en una reserva integral. També permet valorar l'impacte de les activitats humanes del voltant. D'aquesta manera, es presenta un estudi que contribueix a la gestió sostenible en una Reserva Integral.

Amb aquest estudi, la direcció tècnica del Parc Natural dels Aiguamolls de l'Empordà disposarà doncs de dades originals per a ser utilitzades en la gestió del Parc, i concretament d'aquesta nova zona de reserva integral; com per exemple: l'existència d'indicis d'impactes antròpics, ja que les concentracions de nitrats en els regs d'entrada són elevades, encara que no presenten uns valors que es puguin considerar alarmants.

El treball aporta també algunes mesures que contribueixen a la gestió sostenible d'aquesta zona humida. Concretament, s'haurien de reduir les concentracions de nitrats en les entrades, ja que els nitrats són d'origen antròpic, i són les úniques vies d'entrada de nitrogen als estanys.

7- Conclusions

We can affirm that els Estanys de Castelló present a chemistry that is affected by the human activity as indicated by the hydrochemical analysis of the surface water samples including canals of entrance and exit, several inner canals and an ensemble of ponds found in the Natural Reservation.

Inside of the Estanys de Castelló, it is observed that inputs present high nitrate and nitrite concentration, but these are inexistent at the exit canal samples. The lack of nitrates at the exit canals is attributed to the assimilation by vegetation at the wetland. If it was not by the vegetation, the high values of nitrates and phosphorous might cause a eutrophication that has not observed at our zone of survey.

About the lagoons, they present a time of residence much higher and are subjected at some processes of evaporation of until a 75%, that causes an increase of salinity. About the exit samples, point #2 shows the influence of the seawater as it presents some higher concentration values compared to the rest of exit samples. This date is attributed to a mixing with seawater at the own canal that arrives at the 14% of average.

This study provides a characterization of the wetlands hydrochemistry at the surroundings of the pond of Vilaüt, that can be used to establish management criteria; for instance, to control and reduce the entrances of nitrogen to the system, yet they do not cause a main eutrophication problem due to nutrient assimilation by wetland plants.

8- Bibliografia

- Ajuntament de Castelló d'Empúries. (2013). *Pla d'ordenació urbanística municipal*. Recuperat de: http://poum.castello.cat/octubre_2013/Doc%20B-Annexos_TR_pdf/CdE_TR_B3-EIRG.pdf.
- Calvo, M. (1995). *El régimen jurídico de los humedales*. Madrid, Instituto Pascual Madoz - Universidad Carlos III - BOE.
- Cardelús, B.; RUZA, F.; HIRALDO, F. (1988). *Las Zonas Húmedas*. Madrid, Ed. Debate.
- Davies, J. i Claridge, G. (1993). *Wetland Benefits*. Malasia: Asian Wetland Bureau.
- Generalitat de Catalunya. (2019). ICGC. Recuperat de: http://betaportal.icgc.cat/visor/client_utfgrid_geo.html. Consultat 11/01/2019
- Generalitat de Catalunya. (22 de febrer de 2019). *Meteocat*. Recuperat de: <http://www.meteo.cat/>. Consultat: 24/02/2019.
- Generalitat de Catalunya. (2019). *Ruralcat*. Recuperat de: <https://ruralcat.gencat.cat/>. Consultat: 20/05/2019.
- González Bernáldez, F. (1992). *Los paisajes del agua: Terminología popular de los humedales*. Madrid, J.M. Reyero Editor; p. 225-333.
- Institut Cartogràfic Geològic de Catalunya. (2019). *Instamaps*. Recuperat de: <https://www.instamaps.cat/#/>.
- LLamas, M.R. (1984). Notas sobre peculiaridades de los sistemas hídricos de las zonas húmedas. MOPU (ed.) *Las zonas húmedas en Andalucía*. Madrid, Dirección General del Medio Ambiente; p.77-86.
- Mas-Pla, J. i G.M. Zuppi (editors, 2009). *Procesos hidrogeológicos y calidad del agua en acuíferos litorales: métodos hidroquímicos*. Editorial Rubes. *Gestión ambiental integrada de áreas costeras - Gestão ambiental integrada dos areas costeiras*; (p. 29-54).
- Romagosa, F. (2009). *El procés històric de dessecació d'estanys a la plana empordanesa*. Recuperat de: <https://core.ac.uk/download/pdf/13276356.pdf>.
- Sánchez San Román, F.J. (2001). *Evapotranspiración*. Recuperat de: <https://fjferre.webs.ull.es/Bibliog/Biblio/Evapotranspiracion.pdf>
- The Wetlands Initiative (gener del 2016). Recuperat de: The Wetlands Initiative Web site: <http://www.wetlands-initiative.org/nutrient-removal>.

Viñals, M.J. (2005). Dinámica hidromorfológica y acción antrópica en las albuferas y marjales costeros mediterráneos. SANJAUME, E.; MATEU, J.F. (eds.) Geomorfologia litoral i Quaternari. València, Publicacions de la Universitat de València; p. 497-508.

Bach, J. (2005). *Trets geològics de la plana litoral de l'Alt Empordà*. Recuperat de: <https://www.raco.cat/index.php/Empuries/article/viewFile/95675/288246>.