



**Universitat de les
Illes Balears**

Facultat de Filosofia i Lletres

Memòria del Treball de Fi de Grau

Evolució de la piezometria i la salinitat a s'Albufera de Mallorca (2000-2019)

Cristòfol Rotger Pujadas

Grau de Geografia

Any acadèmic 2020-21

DNI de l'alumne: [REDACTED]

Treball tutelat per Celso García García
Departament de Geografia

S'autoritza la Universitat a incloure aquest treball en el Repositori Institucional per a la seva consulta en accés obert i difusió en línia, amb finalitats exclusivament acadèmiques i d'investigació	Autor		Tutor	
	Sí	No	Sí	No
	☒	☐	☒	☐

Paraules clau del treball: albufera, massa d'aigua subterrània, nivell piezomètric, salinitat, acció antròpica, canvi climàtic, biodiversitat.

ÍNDEX

1. Introducció.....	7
2. Àrea d'estudi.....	8
3. Metodologia.....	10
4. Resultats.....	13
4.1 Piezometria	13
4.1.1 Anàlisi anual	13
4.1.2 Anàlisi estacional	15
4.2 Qualitat.....	15
4.2.1 Anàlisi anual	15
4.2.2 Anàlisi estacional.....	17
5. Discussió.....	18
7. Agraïments.....	21
8. Bibliografia.....	21

Llista de figures

Figura 1. Localització de l'Albufera de Mallorca.....	9
Figura 2. Localització dels pous de qualitat i piezometria	11
Figura 3. Evolució històrica dels nivells piezomètrics del pou MA0667	13
Figura 4. Mapa dels valors de la tendència lineal, pendent de Sen (metres/any) dels diferents punts de la xarxa de piezometria.	14
Figura 5. Evolució històrica dels nivells de clorurs del pou MA0649	16
Figura 6. Mapa dels valors de la tendència lineal, pendent de Sen (mg/l/any) dels diferents punts de la xarxa de qualitat (clorurs)	16

Llista de taules

Taula 1. Taula dels Índexs de Completesa (%) dels diferents pous analitzats.	12
Taula 2. Pendent de Sen en la tendència lineal (metres/any) dels diferents punts de la xarxa de piezometria.....	14
Taula 3. Pendent de Sen en la Tendència lineal estacional dels pous amb tendències estadísticament significatives	15
Taula 4. Pendent de Sen (mg/l any) dels diferents punts de la xarxa de qualitat (clorurs).....	17
Taula 5. Pendent de Sen dels pous de qualitat en la tendència lineal estacional dels pous amb tendències estadísticament significatives.....	17

Llista d'acrònims

DHIB – Demarcació Hidrogràfica de les Illes Balears

DMA – Directiva Marc de l'Aigua

IC – Índex de Completesa

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

LIC – Lloc d'Importància Comunitària

PH – Pla Hidrològic

PHIB – Pla Hidrològic de les Illes Balears

SIG – Sistemes d'Informació Geogràfica

ZEPA – Zona d'Especial Interès per a les Aus

Resum.

Arreu del món les zones humides costaneres s'estan enfrontant a grans problemàtiques fruit del consum creixent d'aigua dolça d'aqüífers costaners i de l'impacte causat pel canvi climàtic, sent s'Albufera de Mallorca un exemple paradigmàtic d'aquesta realitat global. S'Albufera de Mallorca és un laboratori natural excel·lent per comprovar l'evolució dels nivells piezomètrics i la intrusió salina, on la falta d'una anàlisi actualitzada demostra la necessitat d'aportar nous coneixements sobre aquestes qüestions. El present estudi analitza a partir de tendències lineals l'evolució piezomètrica i la intrusió salina d'aquest aiguamoll entre els anys 2000 i 2019. Es demostrà doncs un augment piezomètric de les zones costaneres i una disminució als sectors més interiors. A més s'observà un clar descens generalitzat de la salinitat, tot i seguir mantenint en l'actualitat uns valors elevats. Aquests resultats indiquen un incompliment dels objectius de la Directiva Marc de l'Aigua (DMA) i una pèrdua dels valors ecològics i paisatgístics d'aquest indret, una realitat que necessita ser revertida sent aquest treball una gran eina enfront de la seva recuperació.

Paraules clau. Albufera, massa d'aigua subterrània, nivell piezomètric, salinitat, acció antròpica, canvi climàtic, biodiversitat.

Abstract.

All over the world, coastal wetlands are facing major problems as a result of the growing consumption of freshwater from coastal aquifers and the impact caused by climate change, being S'Albufera de Mallorca a paradigmatic example of this reality. S'Albufera de Mallorca is an excellent natural laboratory for checking the evolution of piezometric levels and saline intrusion, where the lack of an up-to-date analysis demonstrates the need to provide new knowledge on these issues. The present study analyses, based on linear trends, the piezometric evolution and saline intrusion of this wetland between 2000 and 2019. Thus, a piezometric increase in coastal areas and a decrease in the inland sectors were demonstrated. In addition, there was a clear general decline in salinity, although it continues to maintain high values today. These results indicate a breach of the objectives of the Water Framework Directive (WFD) and a loss of ecological and landscape values of this place, a reality that needs to be reversed, being this work a great tool for its recovery.

Keywords. Albufera, body of water, piezometric level, salinity, anthropogenic action, climate change, biodiversity.

1. Introducció.

Prop del 50% de les zones humides costaneres del món s'han perdut durant els darrers cent anys, i es preveu que d'entre el 20% i el 90% de les actuals ho hauran fet arribat l'any 2100 (IPCC, 2019). Aquest fet es deu a l'acció combinada de la pressió humana localitzada, juntament amb l'escalfament global, l'augment del nivell del mar i els fenòmens climàtics extrems (van Dijk et al., 2015, 2017; Vörösmarty et al., 2000). El desenvolupament econòmic i social de les zones costaneres es tradueix en una demanda creixent d'aigua subterrània, i per tant aquest recurs hídric subterrani n'és particularment vulnerable (Cary et al., 2015). Una de les conseqüències més evidents de l'esmentat desenvolupament n'és la intrusió salina, la qual afecta negativament a les aigües dolces de les regions costaneres (e.g., Oude Essink et al., 2010; van Dijk et al., 2017; Velstra et al., 2011; Werner & Simmons, 2009).

Els aiguamolls són uns ecosistemes que juguen un paper fonamental pels diferents beneficis que proporcionen (Barbier et al., 2011). Aquests aporten fins al 40% dels serveis ecosistèmics renovables de la terra, tot i que cobreixen només l'1,5% de la superfície de la planeta (Costanza et al., 1998). Tenen un important paper en el subministrament d'aigua dolça i en la millora de la qualitat de l'aigua (Zedler & Kercher, 2005), en el segrest de carboni (Mitra, 2005), en la regulació del clima i en la mitigació d'efectes climàtics extrems (McInnes, 2016), en la disminució de les inundacions (Hey et al., 2004; Potter, 2011) i en el suport a la biodiversitat (McCallister et al., 2001). A més, són ecosistemes amb una enorme productivitat primària i alhora proporcionen refugi i zones d'alimentació a diverses espècies de gran rellevància (Adam, 2011). En aquest context, les aigües subterrànies (vinculades directament als aiguamolls) són molt importants, les quals esdevenen un recurs natural clau per a l'òptim desenvolupament dels aiguamolls, i alhora, pel desenvolupament socioeconòmic de les zones on s'emporten, tot i que en molts casos han estat protegides inadequadament (Foster et al., 2013).

Malgrat la importància ecològica d'aquestes zones humides, els aqüífers i els ecosistemes dependents de l'aigua subterrània s'enfronten a una pressió antròpica creixent fruit del consum d'aigua, i també del canvi climàtic, els quals modifiquen els nivells de les aigües subterrànies, la seva temporalitat i els seus patrons (Chaudhuri & Ale, 2014; Weinthal et al., 2005), amenaçant als serveis vitals de l'ecosistema (Kløve et al., 2014). Aquestes pertorbacions es troben molt vinculades amb la població (Bocanegra et al., 2010) i amb les activitats humanes de la zona (Zalidis, 1998). Tot això provoca una gran amenaça global de salinització dels aqüífers costaners, la qual s'està produint a un ritme i una escala geogràfica sense precedents (Herbert et al., 2015), i que tal com algunes investigacions indiquen, pot arribar a ser irreversible (e.g. Davis et al., 2003; Runyan & D'Odorico, 2010; Sim et al., 2006; Strehlow et al., 2005).

Un exemple clar d'aquesta tendència és el que succeeix amb s'Albufera de Mallorca, la zona humida més extensa i important de les Illes Balears (Espanya). Aquesta s'emporta entre una zona d'ús agrícola per excel·lència (i.e. Sa Pobla i Muro) i una zona purament turística (i.e. Port d'Alcúdia i platges de Muro) (Candela et al., 2009). Un indret que pateix grans extraccions d'aigua de les masses d'aigua subterrànies, a partir de pous de bombeig agrícola i urbà (Galimont et al., 2003; Rebassa & Llobera, 2006; Riddiford et al., 2014), i que està veient reduïda la precipitació, provocant un descens de la recàrrega de l'aqüífer (Candela et al., 2009). D'acord amb les dades del Pla Hidrològic de les Illes Balears, a Mallorca pel període

2010-2015, més del 85% de l'abastiment urbà d'aigua fou a partir d'aigües subterrànies (García & Rodríguez-Lozano, 2020). Així, l'índex de risc global de les masses d'aigua subterrània posiciona la massa d'aigua Inca - Sa Pobla en un risc alt de no poder assolir el seu bon estat global. Per tant, és de vital importància conèixer en profunditat l'estat hídric de s'Albufera per poder-hi desenvolupar bones mesures de gestió.

Aquesta zona humida, quant al seu estat piezomètric i de clorurs ha estat escassament estudiat. Dins l'àmbit de l'illa de Mallorca s'ha analitzat la intrusió marina de manera generalitzada, evidenciant una clara intrusió salina als aqüífers costaners (López-García & Mateos Ruiz, 2003). Més concretament, per a s'Albufera de Mallorca destaquen els estudis de Custodio et al., (1992) que analitzaren el seu estat de salinitat, i el de Galimont et al., (2003) que analitzà l'evolució de la intrusió salina de la massa d'aigua Inca – Sa Pobla d'entre els anys 1995 i 2001 a partir de l'anàlisi de concentració de clorurs. A escala de conca també s'han estudiat els escenaris del canvi climàtic i la recàrrega de l'aqüífer (Candela et al., 2009). També destaquen alguns estudis relacionats amb altres disciplines com la seva biodiversitat (Martínez-Taberner & Moya, 1993; Pons, 1993; Riddiford & Foster, 2020), les relacions entre la ciència i la participació voluntària (Riddiford et al., 2014), o l'estudi de bio-indicadors per avaluar els efectes de l'ús d'aigua dolça de l'albufera (Veraart et al., 2004). Així i tot, hi ha poc coneixement sobre el seu estat, evolució piezomètrica i intrusió salina, fet que fa palès la necessitat d'actualitzar i millorar el coneixement sobre aquestes qüestions en un indret que esdevé un exemple paradigmàtic d'una realitat global, sent així de gran utilitat per a la seva correcta gestió. Aquest estudi pretén cobrir aquest buit analitzant l'evolució piezomètrica i de clorurs dels darrers vint anys.

2. Àrea d'estudi

S'Albufera de Mallorca és la zona humida més extensa i important de les Illes Balears. Es situa al nord-est de Mallorca, dins la badia d'Alcúdia i té una superfície total protegida de 2036 hectàrees terrestres (Figura 1). Es tracta d'una zona litoral geomorfològicament deprimida, situada enfront de la costa, on s'hi diposita el sediment (GAAT, 2007). Aquest fet ha permès l'acumulació d'aigua, formant una llacuna separada del mar per un cordó arenós, anomenat restinga o fletxa (Dídac, 1997). El clima de l'àrea d'estudi és Mediterrani, caracteritzat per precipitacions irregulars durant tot l'any, amb un màxim a la tardor i primavera i un període càlid a l'estiu (López Mayol et al., 2016). La temperatura mitjana de s'Albufera és de 17°C, i les precipitacions oscil·len entre els 500 i 600 mm de mitja anual (AAVV, 2005). Des del punt de vista geològic, s'Albufera està formada per sòls poc evolucionats, i assentada sobre un fons d'eolianites calcàries recobertes de materials detrític-terrígens (Galimont et al., 2003).

Aquesta zona humida constitueix la zona intermèdia de desguàs de la unitat hidrogeològica al mar, i alhora representa un element regulador del drenatge (Barón, 2003). La conca hidrogràfica que comprèn s'Albufera és d'uns 640 km², la qual s'estén per gran part del pla central i del nord de Mallorca, on es troben localitzades més de vint masses d'aigua subterrànies (Rebassa & Llobera, 2006). D'aquesta manera, les aportacions d'aigua al sistema aqüífer es produeixen principalment per l'aportació de les aigües subterrànies (25-35 hm³ anuals), encara que també per aportacions dels torrents com el torrent de Muro, i el torrent de Sant Miquel (20 – 30 hm³ anuals) (Candela et al., 2009; Durán Valsero, 2006). Cal destacar

que la recàrrega per part dels torrents és esporàdica, a causa de la naturalesa que els defineix, i la seva canalització dirigeix les aigües cap al mar, dificultant la inundació de la llacuna. A més, es tracta d'una albufera molt canalitzada i antropitzada, fet que ha provocat una clara afectació del sistema natural.

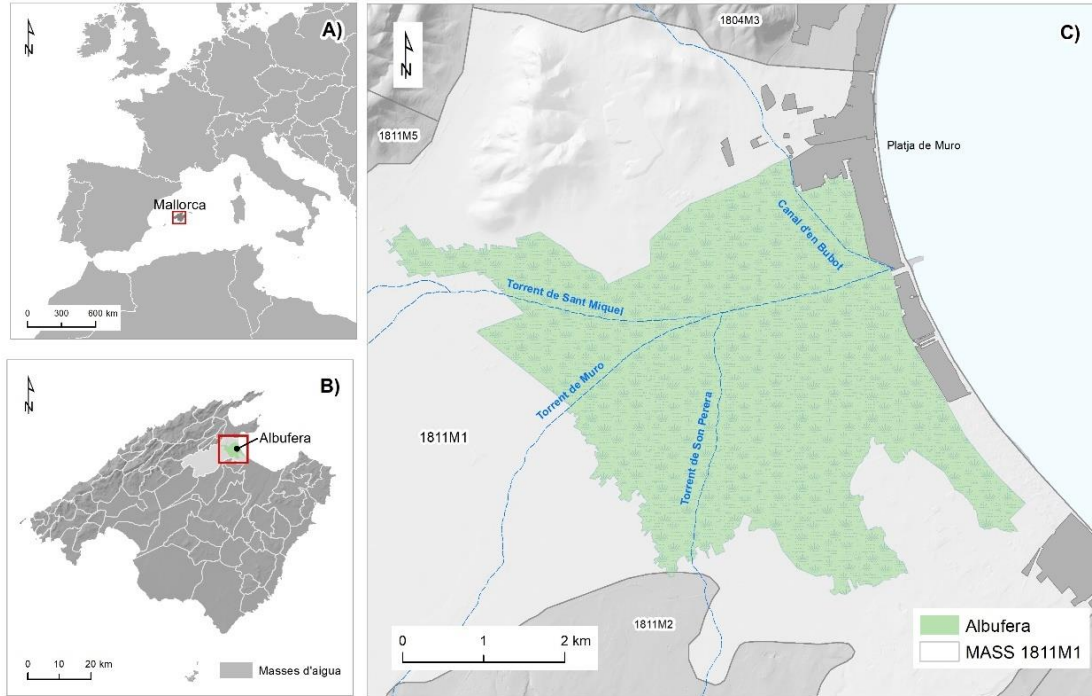


Figura 1. Localització de s'Albufera de Mallorca a (A) l'est de la península ibèrica, (B) l'illa de Mallorca, (C) la badia d'Alcúdia.

Els valors ecològics i paisatgístics de s'Albufera són àmpliament reconeguts tant a escala nacional com internacional. Des del punt de vista biològic, el parc és un refugi natural per a diverses espècies endèmiques, espècies rares, poblacions reproductores d'importància internacional i importants poblacions d'espècies d'invertebrats, a més una sèrie d'espècies de plantes i animals considerades amenaçades o en perill a escala europea i mundial (Veraart et al., 2004). A més, és una zona de gran importància per una gran quantitat d'aus nidificants, les quals depenen directament de s'Albufera (GOB, 2010). Abunden les espècies de mamífers (i.e. ratpenats, ratolins i rates, juntament amb una gran diversitat d'invertebrats). També destaquen espècies de peixos com les llisses (*Chelon i Liza spp.*) o l'anguila (*Anguilla anguilla*), els amfibis com la granota comuna (*Pelophylax perezi*), i rèptils com la serp d'aigua (*Natrix maura*) o la tortuga d'estany (*Emys orbicularis*). A més, és un ecosistema amb una gran importància botànica, ja que l'aigua i la humitat del sòl permet el creixement continuat de vegetació, la qual varia segons la profunditat, la proximitat al mar i el tipus de terreny (GOIB, 2020). Destaca el canyís (*Phragmites australis*), la mansega (*Cladium mariscus*) i la boga (*Typha spp.*). Per altra banda són de gran importància ecològica les diferents plantes submergides com el llapó punxenc (*Ceratophyllum demersum*) i el *Potamogeton pectinatus*, o també els joncs (*Juncus spp.*) i salicornars (*Sarcocornia spp.*) a les zones més salobres. A les àrees dunars destaquen algunes espècies com són el ginebró de fruit gran (*Juniperus oxycedrus macrocarpa*), el peu de milà (*Thymelaea velutina*) o el lliri de mar (*Pancratium maritimum*). Finalment, quant als arbres són destacables els oms (*Ulmus spp.*) i l'àlber blanc

(*Populus alba*). Així i tot, aquest gran conjunt d'espècies es veuen determinades per dos elements decisius: l'aigua i la sal (AAVV, 2005), dos factors que juntament amb l'acció humana poden posar en perill tot l'anteriorment esmentat.

S'Albufera fou declarada com a Parc Natural el 28 de gener de 1988 (Decret 4/1988), el primer Parc Natural de les Illes Balears. Fou considerada el 1987 per la Comissió de les Comunitats Europees com a Zona d'Especial Protecció per les Aus (ZEPA), adquirint així una preservació jurídica. Més endavant, al 1989 el Consell de Ministres declarà s'Albufera com maresma d'importància internacional pel conveni Ramsar, que ofereix unes bases fermes per la cooperació internacional en la conservació de zones humides. El 2000 fou declarada Lloc d'Importància Comunitària (LIC) i també fou inclosa dins la Xarxa Natura 2000. Tota aquesta gran quantitat d'instruments proteccionistes que s'hi han desenvolupat demostren la importància d'aquest aiguamoll. La gestió de s'Albufera va a càrrec de la Conselleria de Medi Ambient, concretament a partir de la Direcció General d'Espais Naturals i Biodiversitat, juntament amb la Direcció General de Recursos Hídrics, ambdós amb col·laboració del Cos d'Agents de Medi Ambient i de l'Institut Balear de Natura. Aquesta gestió es desenvolupa a partir de Plans Anuals d'Execució, uns documents on queden definits a un any vista els projectes i actuacions a desenvolupar en el parc, juntament amb el seu pressupost. A més, destaca el paper de la Junta Rectora, un òrgan de participació on es troben representats tots els sectors implicats en la gestió, conservació i altres activitats relacionades amb el parc. Aquesta assessora l'administració, informa del Pla Rector d'Ús i Gestió, i vetlla pel seu compliment per poder aconseguir així l'objectiu general: assolir el bon estat ecològic i hidrològic de s'Albufera.

3. Metodologia.

S'han emprat les dades de la xarxa piezomètrica i de qualitat de la Direcció General de Recursos Hídrics de les Illes Balears. Més concretament, les dades referents a la profunditat de l'aigua (piezometria) i qualitat (clorurs) dels diferents punts de mesura (pous) de l'àrea d'estudi. Quant a la piezometria s'han emprat les dades de mostrejos existents dins l'albufera, i en canvi quant als clorurs s'han utilitzat els situats dins la massa d'aigua 1811M1, a causa de l'absència de mostrejos de qualitat dins els límits de l'albufera. De tots aquests punts de mesura, s'han escollit aquells que tenen una major quantitat de registres, aplicant així un Índex de Completesa (IC), basat en Lasagna et al., (2019), tant a les sèries piezomètriques com a les de qualitat. Aquest índex es calcula a partir de la divisió del nombre de registres disponibles de cada punt de control, entre el màxim de registres possibles dins l'interval considerat, tot multiplicat per cent (aconseguint un valor percentual). Així, s'ha pogut destriar objectivament els pous amb una quantitat de registres representativa (Figura 2, Taula 1). Pel que fa a la piezometria, s'ha establert un IC mínim del 75% dins el període 2006-2020 i pel que fa als clorurs, un IC del 50% entre el 2000 i 2019. Això permet comprovar l'efecte de la Directiva Marc de l'Aigua (DMA) i la consegüent protecció de les masses d'aigua subterrània quant als nivells piezomètrics i qualitat.

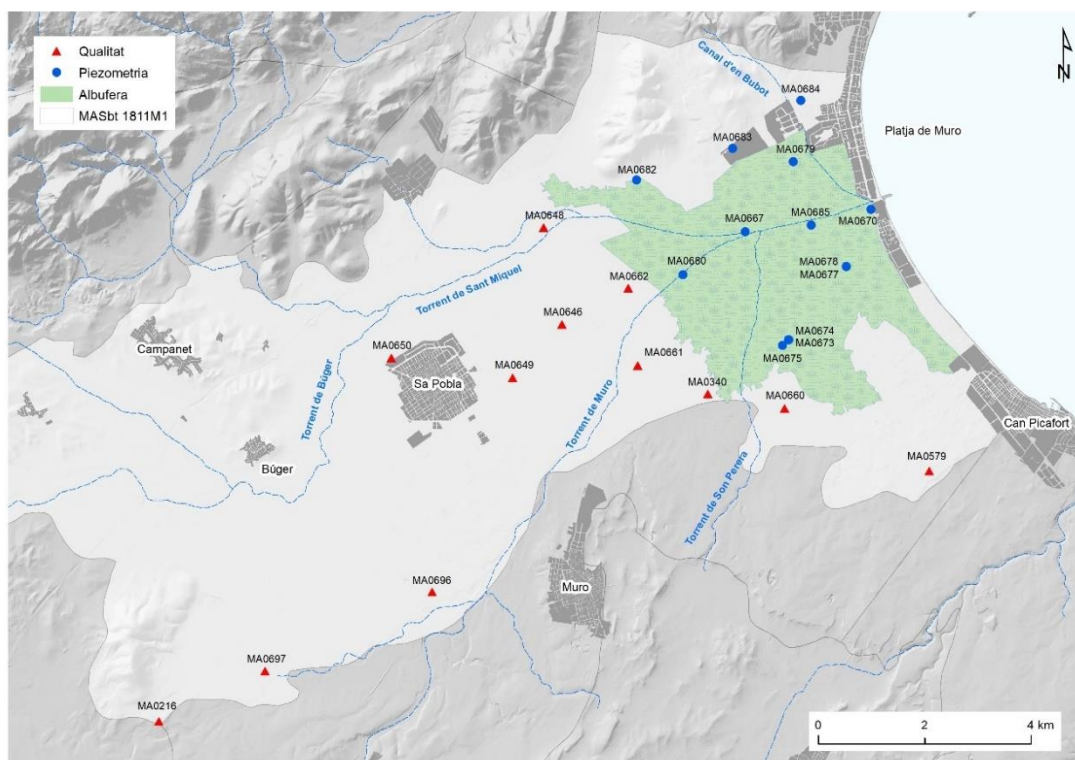


Figura 2. Localització dels pous de qualitat i piezometria de la xarxa de la Direcció General de Recursos Hídrics, destriats a partir de l'Índex de Completesa.

La tendència temporal de les bases de dades resultants (piezometria i qualitat) s'ha analitzat a partir del test no paramètric de Mann Kendall, amb la interfície codificada pel programari RStudio: *TTAinterface Trend Analysis* (i.e. interfície que dona la possibilitat d'analitzar les tendències temporals sobre dades ambientals) (Devreker & Lefebvre, 2014). Aquest ha permès realitzar una anàlisi anual i estacional de tendències a la sèrie regularitzada. Per una banda, l'anàlisi anual ha permès analitzar el comportament de piezometria al llarg dels anys, i per altra banda, l'anàlisi estacional ha permès conèixer els detalls de la tendència per a cada una de les diferents estacions de l'any: hivern (i.e. desembre, gener i febrer), primavera (i.e. març, abril i maig), estiu (i.e. juny, juliol i agost) i tardor (i.e. setembre, octubre i novembre). Amb tot, s'han obtingut els valors P (i.e. permetent-nos veure el nivell de significativitat estadística dels resultats) i del valor del pendent de Sen (i.e. valor que mostra el pendent de la tendència lineal calculada amb aquest mètode no-paramètric) (Devreker & Lefebvre, 2014; Hamed & Rao, 2018; Hirsch & Slack, 1984).

Finalment, s'han realitzat dos gràfics (i.e. un per a la piezometria i un per als clorurs) de les evolucions dels valors dels dos pous amb una sèrie històrica més completa, juntament amb una anàlisi espacial de les dades. Aquesta segona s'ha dut a terme a partir del programari SIG ArcMap (versió 10.4.1), el qual ha permès entendre el comportament espacial diferencial de les tendències piezomètriques i de qualitat sobre s'Albufera de Mallorca.

PIEZOMETRIA					
POUS	IC (%)	POUS	IC (%)	POUS	IC (%)
MA0663	24,71	*MA0673	78,16	*MA0679	77,01
MA0664	62,64	*MA0674	78,16	*MA0680	81,61
MA0666	62,64	*MA0675	78,16	*MA0682	77,01
*MA0667	77,01	MA0676	71,84	*MA0683	78,16
*MA0670	75,29	*MA0677	75,86	*MA0684	77,01
MA0672	74,71	*MA0678	76,44	*MA0685	76,44
QUALITAT					
POUS	IC (%)	POUS	IC (%)	POUS	IC (%)
MA0021	9,2	MA0622	13,6	MA0665	0
MA0022	9,2	MA0623	14,9	MA0666	0
MA0024	6,6	MA0624	0	MA0667	0
MA0027	9,2	MA0625	14,5	MA0668	0
MA0028	8,8	MA0626	13,2	MA0669	0
MA0029	9,6	MA0627	14,5	MA0670	0
MA0030	8,8	MA0631	9,6	MA0671	0
MA0032	7,0	MA0632	14,0	MA0672	0
MA0033	9,2	MA0633	38,6	MA0673	0
MA0133	0	MA0634	0	MA0674	0
MA0134	0	MA0635	14,5	MA0675	0
MA0213	0,4	MA0636	14,5	MA0676	0
MA0214	0	MA0637	6,6	MA0677	0
*MA0216	70,2	MA0640	14,0	MA0678	0
MA0217	0,0	MA0641	13,6	MA0679	0
MA0219	1,3	MA0642	13,2	MA0680	0
MA0220	0	MA0643	13,6	MA0681	0
MA0330	0	MA0644	0	MA0682	0
MA0335	8,3	MA0645	0	MA0683	0
*MA0340	93,0	*MA0646	67,5	MA0684	0
MA0341	0,4	*MA0648	76,3	MA0685	0
MA0342	26,8	*MA0649	84,6	MA0686	0
MA0343	9,2	*MA0650	74,6	MA0694	0
MA0344	7,9	MA0651	0	*MA0696	77,6
MA0566	11,4	MA0652	0	*MA0697	76,3
*MA0579	67,1	MA0653	7,9	MA0699	0
MA0611	12,3	MA0654	0	MA0700	1,8
MA0613	15,4	MA0655	0	MA0702	0
MA0614	13,6	MA0656	0	MA0707	0
MA0615	34,6	MA0657	0	MA0709	0
MA0616	22,8	*MA0660	54,8	MA0710	0
MA0617	42,5	*MA0661	77,2	MA0760	0
MA0618	18,9	*MA0662	83,3	MA0761	0
MA0619	14,0	MA0663	0	MA0762	0,9
MA0621	13,6	MA0664	0	MA0893	23,2

Taula 1. Taula dels Índexs de Completesa (%) dels diferents pous analitzats. (*) Pous escollits amb un Índex de Completesa superior al llindar establert.

4. Resultats

4.1 Piezometria

4.1.1 Anàlisi anual

L'evolució històrica dels nivells piezomètrics de s'Albufera demostra com al llarg dels anys s'han produït grans fluctuacions (Figura 3). Aquestes es deuen a les diferències de precipitació al llarg d'un any, des d'uns màxims de pluviometria durant la tardor, fins a uns mínims durant l'estiu. La precipitació influeix directament a la recàrrega hídrica de les masses d'aigua subterrànies, i en aquest cas, de la massa 1811M1. Dintre aquest gran conjunt de fluctuacions destaquen alguns moments de sequera intensa, com és l'any 2009, o els anys 2018-2019, període en què els valors de piezometria disminueixen 37 centímetres, i que es recuperen llavors ràpidament en qüestió de dos mesos (i.e. a causa d'intenses precipitacions durant els mesos següents).

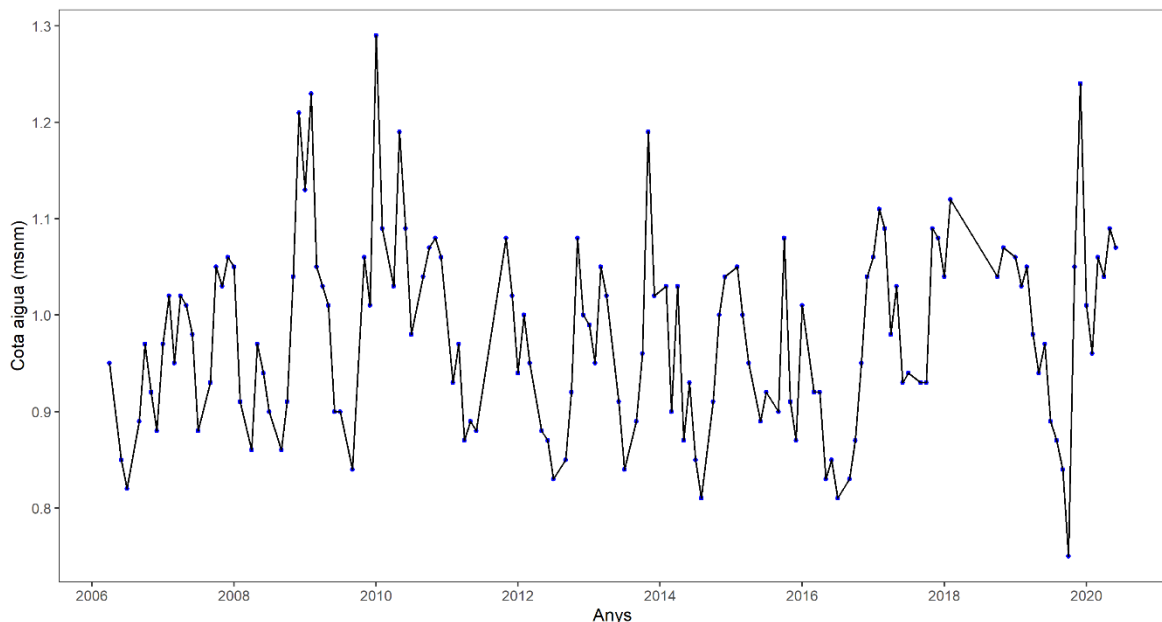


Figura 3. Evolució històrica dels nivells piezomètrics del pou MA0667. Cota de l'aigua en metres sobre el nivell del mar (m.s.n.m.).

L'anàlisi de tendències anuals dels valors de la xarxa piezomètrica, demostra la presència de tendències diferenciades segons la seva distribució espacial. Les tendències piezomètriques esdevenen positives (i.e. augment del nivell piezomètric) a tots els pous més propers a la línia de costa (e.g. MA0679, MA0670) (Figura 3, Taula 2), juntament amb els del sector central de s'Albufera (e.g. MA0667, MA0685). Dintre d'aquests, destaquen els que tenen una tendència estadísticament significativa, com el pou MA0679, el qual presenta un SenSlope de 0,005 m, és a dir un augment piezomètric de 0,5 cm per any. De la mateixa manera que el MA0670, que també presenta un augment piezomètric de 0,5 cm per any. Es tracta de variacions mil·limètriques en el seu comportament piezomètric.

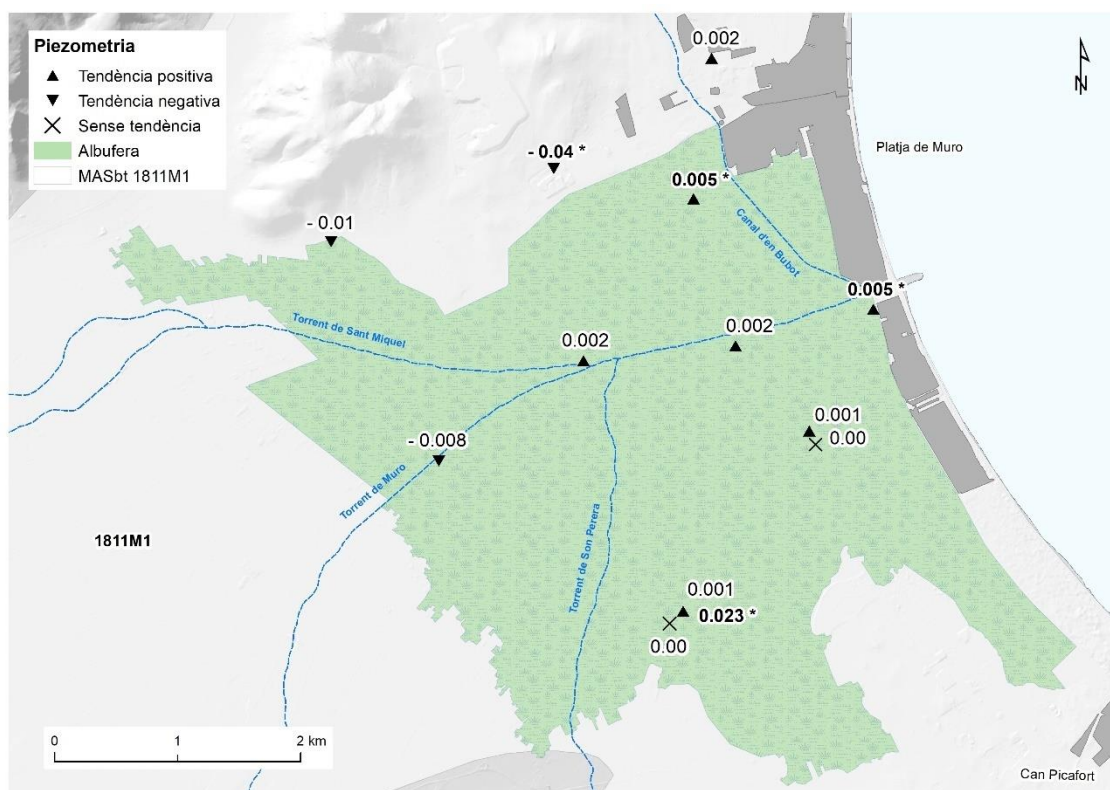


Figura 4. Mapa dels valors de la tendència lineal, pendent de Sen (metres/any) dels diferents punts de la xarxa de piezometria. (*) Tendència estadísticament significativa.

En canvi, els punts més allunyats de la línia de costa – especialment els del sector més occidental de s'Albufera – presenten tendències piezomètriques negatives (e.g. MA0680, MA0682, MA0683). Destaca el pou MA0683, situat sobre la central tèrmica des Murterar i que presenta una tendència negativa estadísticament significativa de -0,04 m, és a dir una disminució de 4 cm per any del nivell piezomètric en aquest sector. Per tant, en general ens trobem davant un conjunt de variacions d'ordre mil·limètric, les quals passen a ser centimètriques a les zones més externes de s'Albufera.

Pou	Valor P	Pendent de Sen
MA0685	0,235	0,002
MA0684	0,703	0,002
*MA0683	0,011	-0,04
MA0682	0,246	-0,01
MA0680	0,077	-0,008
*MA0679	0,042	0,005
MA0678	0,538	0,001
MA0677	0,825	0,00
MA0675	0,900	0,00
MA0674	0,662	0,001
*MA0673	0,000	0,023
*MA0670	0,040	0,005
MA0667	0,510	0,002

Taula 2. Pendent de Sen en la tendència lineal (metres/any) dels diferents punts de la xarxa de piezometria. (*) Tendència estadísticament significativa.

4.1.2 Anàlisi estacional

Generalment, els valors de les tendències piezomètriques estacionals esdevenen positives, és a dir, hi ha un augment generalitzat dels valors de piezometria (Taula 3). Destaca el pou MA0673, amb tendències estadísticament significatives a cada una de les estacions de l'any, totes elles positives (i.e. un augment piezomètric d'entre 2,2 a 2,8 cm per les diferents estacions de l'any). Aquest mateix pou ha passat de 0,78 m.s.n.m. a 1,27 m.s.n.m des del 2006 al 2020, un augment de l'escala d'aproximadament 50 cm en 14 anys. Així i tot, és destacable la tendència negativa del pou MA0683, el qual està localitzat a la central tèrmica des Murterar. Aquest presenta tendències estadísticament significatives en els mesos d'estiu i tardor, ambdues negatives (i.e. una reducció dels nivells piezomètrics). Es tracta d'un pou amb un valor de piezometria que es troba per sota de la superfície del mar, essent de -1,66 m.s.n.m el juny de 2020, sent el pou amb una reducció més evident dins el conjunt de pous de s'Albufera.

Estacions	POUS			
	MA0670	MA0673	MA0679	MA0683
Hivern		0,0289		
Primavera	0,0083	0,025		
Estiu		0,0221	0,005	-0,0459
Tardor		0,0233	0,0052	-0,0526

Taula 3. Pendent de *Sen* en la tendència lineal estacional dels pous amb tendències estadísticament significatives.

4.2 Qualitat.

4.2.1 Anàlisi anual

Quant a l'evolució històrica dels nivells de clorurs (Figura 6), el pou MA0649 (pou amb la sèrie històrica més completa) mostra el comportament general de la salinitat a s'Albufera al llarg del temps. Tot i les destacables fluctuacions, es pot observar com hi ha hagut una evident disminució a partir dels anys 2000. D'entre els anys 1970 i 2000 tot i haver-hi destacables fluctuacions, la tendència general de la quantitat de clorurs es mantenia amb uns nivells mitjans de 280 mg/l, uns valors que no disminueixen de forma significativa fins a l'any 2000.

Per altra banda, les tendències referides als nivells de clorurs de la xarxa de qualitat demostren com hi ha hagut una gran disminució generalitzada dels valors de salinitat a la massa d'aigua 1811M1 a partir de l'any 2000 (Figura 5, Taula 3). Totes les tendències negatives (i.e. disminució dels valors de salinitat) esdevenen estadísticament significatives. D'entre elles, destaquen les tendències dels pous MA0660 (i.e. una disminució de 31,2 mg/l cada any), MA0661 (i.e una disminució de 28,7 mg/l cada any), i del MA0662 (i.e. una disminució de 13,9 mg/l cada any). Més concretament, el pou MA0660 ha passat de 723 mg/l l'any 2000 a 508 mg/l el 2016; el MA0661 de 623 mg/l l'any 2000 a 146 mg/l el 2019; i el MA0662 de 609 mg/l l'any 2000 a 477 mg/l el 2019. Aquests són els punts que han sofert una major disminució dels valors de clorurs, tot i que la resta han tingut alhora una disminució evident, encara que de menor magnitud.

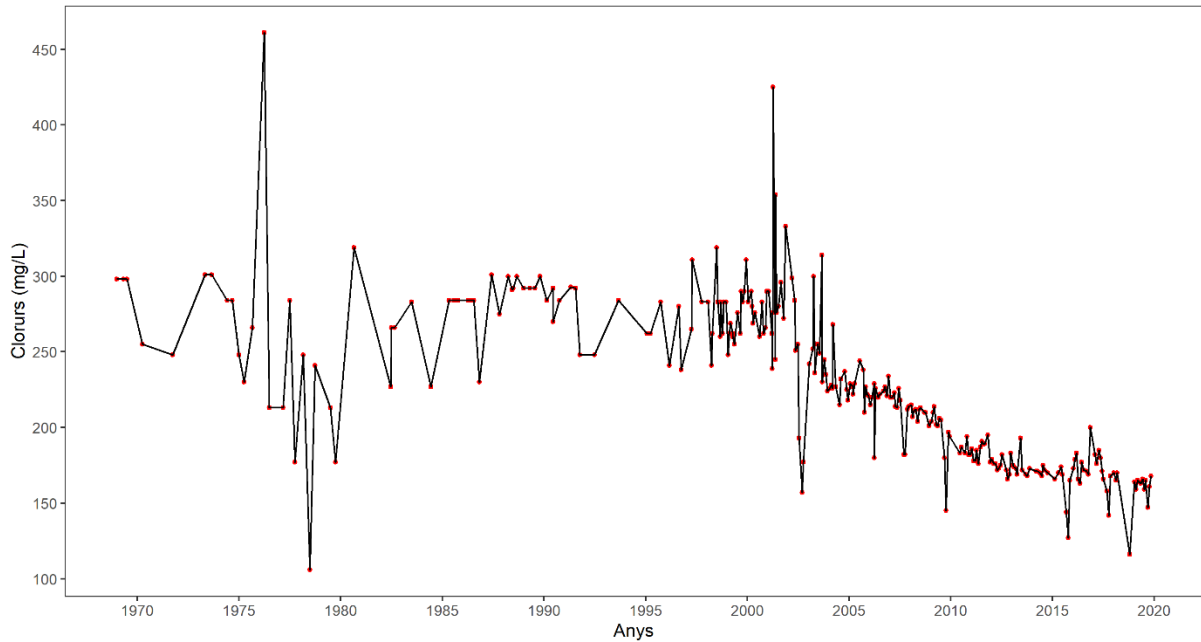


Figura 5. Evolució històrica dels nivells de clorurs del pou MA0649. Valors de clorurs en mil·ligrams per litre.

Tot i les tendències negatives de qualitat, els valors màxims de salinitat de s'Albufera són molt elevats. Per exemple, d'entre els pous amb tendències significatives i molt destacables, el pou MA0660 ha arribat a uns valors de 1104 mg/l, el MA0661 a uns valors de 815 mg/l i el MA0662 a 806 mg/l. Fins i tot, altres pous, tot i no ser considerats per a l'estudi de tendències – a causa de la seva incompleta quantitat de mostres –, evidencien uns valors de clorurs molt elevats,

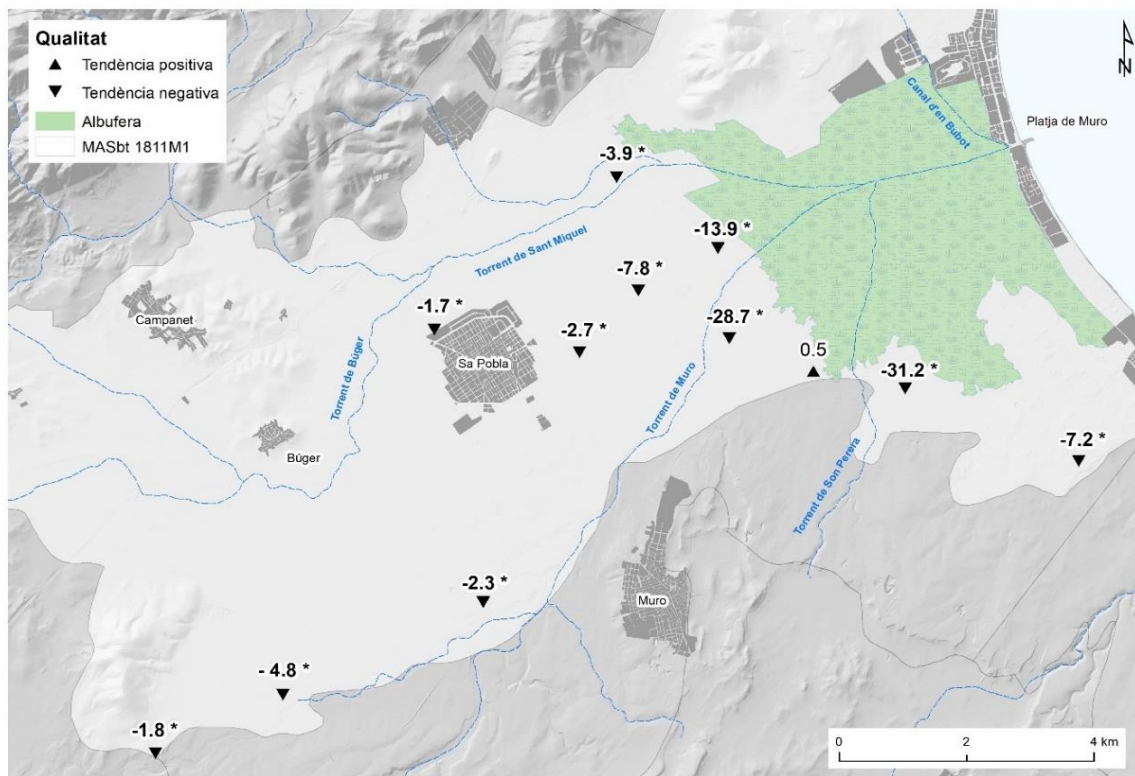


Figura 6. Mapa dels valors de la tendència lineal, pendent de Sen (mg/l/any) dels diferents punts de la xarxa de qualitat (clorurs). (*) Tendència estadísticament significativa.

com és el pou MA0663, el qual presenta un últim registre de qualitat (i.e. octubre 2019) de 1215 mg/l. A més, la seva sèrie històrica demostra que s'ha arribat a uns nivells de 2179 mg/l el 2007, i que s'ha anat mantenint una quantitat molt elevada de clorurs al llarg dels anys.

Únicament apareix un pou amb una tendència positiva dels valors de clorurs, el MA0340, el qual presenta un augment de la salinitat de l'ordre de 0,5 mg/l a l'any, essent un pou amb una tendència estadísticament no significativa.

Pou	Valor P	Pendent de Sen
*MA0216	0,03	-1,8
MA0340	0,3	0,5
*MA0579	0,02	-7,2
*MA0646	0,0007	-7,8
*MA0648	0,04	-3,9
*MA0649	0	-2,7
*MA0650	0,004	-1,7
*MA0660	0,0005	-31,2
*MA0661	0	-28,7
*MA0662	0	-13,9
*MA0696	0	-2,3
*MA0697	0,0006	-4,8

Taula 4. Pendent de Sen (mg/l any) dels diferents punts de la xarxa de qualitat (clorurs). (*) Tendència estadísticament significativa.

4.2.2 Anàlisi estacional.

De la mateixa manera que amb les tendències anuals, les estacionals segueixen demostrant una disminució generalitzada dels valors de salinitat. Destaquen del conjunt els pous MA0660 (i.e. amb una tendència acusada de -36,3 mg/l la tardor), el MA0661 (i.e. amb una tendència de -31,4 mg/l l'estiu) i el MA0662 (i.e. amb una tendència de -16 mg/l l'estiu). D'entre els 12 pous, 7 presenten unes tendències molt acusades de reducció dels nivells de salinitat entre l'estiu i la tardor. Més concretament, el pou MA0660 ha passat de 723 mg/l el 2000 a 508 mg/l el 2016 (i.e. una reducció de 215 mg/l en 16 anys); el pou MA0661 ha passat de 623 mg/l el 2000 a 146 mg/l el novembre de 2019 (i.e. una reducció de 477 mg/l en 19 anys); i el MA0662 de 609 mg/l el 2000 a 477 mg/l el desembre de 2019 (i.e. una reducció de 132 mg/l en 19 anys).

Estacions	POUS					
	MA0216	MA0340	MA0579	MA0646	MA0648	MA0649
Hivern	-2,4		-5,9	-7,8	-6,2	-4,5
Primavera			-6,4	-6,6	-7,9	-3,5
Estiu	-1,7		-6,3		-3,5	-3,1
Tardor		1,8	-6,5	-0,9		-3,0
	MA0650	MA0660	MA0661	MA0662	MA0696	MA0697
Hivern		-24,5	-28,3	-11,0	-2,1	-3,8
Primavera	-1,6	-26,2	-23,6	-12,4	-2,1	-4,1
Estiu	-1,1		-31,4	-16,0	-2,5	-4,5
Tardor	-2,7	-36,3	-30,7	-14,7	-2,6	-5,0

Taula 5. Pendent de Sen dels pous de qualitat en la tendència lineal estacional dels pous amb tendències estadísticament significatives

5. Discussió

Els resultats obtinguts demostren un augment piezomètric generalitzat a les zones més costaneres de s'Albufera (augment mil·limètric), a diferència de les zones més interiors (augment centimètric). En aquest context, d'acord amb Befus et al., (2020), l'augment piezomètric dels aqüífers costaners es veu directament relacionat amb l'augment del nivell del mar, fet que podria explicar les tendències positives dels pous més propers a la línia de costa (i.e. MA0670, MA0673 i MA0679). El mareògraf situat al port d'Alcúdia, segons les dades de la xarxa de mareògrafs dels Ports de l'Estat (REDMAR, 2019), mostra com en un total de 8 anys el nivell mitjà de la mar ha pujat 0,8 mm, és a dir 1 mm/any. Doncs, la pujada dels nivells piezomètrics pot estar relacionada amb aquesta pujada del nivell de la mar, la qual tot i ser una pujada lleu, afecta l'aqüífer costaner. Aquest emperò no és l'únic factor que pot influir a l'augment piezomètric. Ketabchi et al., (2014) va concloure que l'evolució del nivell piezomètric a un aqüífer costaner era més sensible a la velocitat de recàrrega, el pendent de la superfície terrestre, el gruix de la capa de l'aqüífer i la conductivitat hidràulica, en comparació amb el moviment vertical de la pujada del nivell del mar dins el rang de paràmetres considerats pel seu estudi. No obstant és necessari destacar que en el cas de s'Albufera, aquesta es troba molt canalitzada i controlada per l'acció antròpica a partir de comportes, fet que dificulta l'entrada d'aigües del mar a les zones més interiors. Els sectors més costaners emperò sí que es poden veure influïts per una entrada superficial d'aigua marina incrementant així els seus valors de piezometria. També cal considerar la possibilitat que aquest augment piezomètric pugui ser degut a una reducció dràstica de les extraccions a aquests sectors costaners.

Per altra banda, els resultats també mostren com hi ha una disminució generalitzada dels valors de salinitat. Una disminució que prové d'uns valors històrics màxims extremadament elevats, arribant als 1104 mg/l (pou MA0660) o fins i tot als 2179 mg/l el 2007 (pou MA0663), per posar alguns exemples. Aquests alts valors en salinitat es deuen a les contínues extraccions que ja de temps enrere es desenvolupaven sobre l'aqüífer costaner, provocant la seva sobreexplotació i el consegüent tascó salí (Galimont et al., 2003; López-García & Mateos Ruiz, 2003). En l'actualitat, els valors de salinitat es troben entre els 130 mg/l i els 500 mg/l aproximadament, per tant, aquesta gran disminució tot i esdevenir un aspecte positiu per s'Albufera, no implica que s'hagi arribat a assolir el seu estat òptim. Segons Masterson & Garabedian., (2007) i Ketabchi et al., (2016) en l'augment de la salinitat de l'aqüífer costaner també hi juga un paper important l'augment del nivell del mar, el qual provoca una clara reducció de la part dolça. En el cas de s'Albufera és més difícil poder veure aquesta realitat reflectida damunt els valors de clorurs, ja que tot i la pujada del nivell del mar, les tendències de qualitat demostren un descens generalitzat de la concentració de clorurs a causa del fet de provenir d'uns valors històrics molt elevats. Aquest descens per tant pot amagar una possible realitat actual de salinització per l'entrada d'aigua marina fruit del seu augment de nivell.

En el context actual de canvi climàtic, la intrusió de l'aigua del mar als aqüífers costaners esdevé un problema mundial, el qual es veu agreujat no només per la creixent demanda d'aigua dolça a àrees de costa, sinó també per l'augment del nivell del mar esmentat (Werner et al., 2013). D'aquesta manera, l'augment del nivell de la mar associat amb el canvi climàtic (a partir de l'expansió tèrmica d'oceans i mars a mesura que s'escalfen, i de la fosa de capes de gel i glaceres) és un procés potencialment significatiu que s'espera que jugui un paper clau en la intrusió salina (Werner & Simmons, 2009). De fet, el Panell Intergovernamental sobre Canvi Climàtic (IPCC, 2001) prediu que per al 2100 l'escalfament global conduirà a un

augment del nivell de la mar d'entre 110 i 880 mm. D'aquesta manera, encara que aquest augment del mar no sigui uniforme mundialment (hi ha diferències regionals de fins a un 30%) (IPCC, 2019), aquest està afectant de manera directa als aqüífers costaners i conseqüentment a les zones humides costaneres, com és el cas de s'Albufera.

Un dels agents que tenen més influència en el proveïment d'aigua dolça i en la seva infiltració en aqüífers costaners són les descàrregues dels rius. En el cas de s'Albufera aquesta entrada d'aigua dolça es duu a partir dels torrents com el torrent de Muro, i el torrent de Sant Miquel, els quals aporten entre 20 i 30 hm³ anuals (Candela et al., 2009; Durán Valsero, 2006). Encara així la canalització dels esmentats torrents implica que en aquest cas la seva influència no sigui un factor decisiu per a l'augment piezomètric, ja que la seva canalització dificulta la inundació de la llacuna. En tot aquest context, fruit de l'elevada salinitat present a s'Albufera, s'ha demostrat un costant creixement d'algues del gènere *Dunaliella* (GOB, 2018), unes algues de característiques halòfiles amb una alta adaptabilitat a ambients hipersalins. Aquestes algues esdevenen un gran indicador a l'hora d'entendre l'estat de s'Albufera, les quals relaten la realitat de les seves aigües, i alhora corroboren l'alt grau de salinitat esmentada en alguns sectors.

La gestió de la qualitat de les aigües a Espanya, de la mateixa manera que a la resta d'Estat de la Unió Europea, s'estableix sota els principis de la Directiva 2000/60/CE Marc de l'Aigua (DMA) (Unió Europea, 2000), una directiva vigent des de desembre de 2000 i que fou transposada a la legislació nacional. Aquesta pretén establir un marc per a la protecció de les aigües superficials, continentals, de transició, costeres i subterrànies amb l'objectiu d'assolir el seu bon estat (Cortina, 2020). L'estat d'una massa d'aigua doncs, s'entén com el grau d'alteració que presenta respecte a les seves condicions naturals, i ve determinat del seu estat químic i biològic (aigües superficials), o del seu estat químic i quantitatiu (aigües subterrànies). En aquest punt entra en joc la planificació hidrològica a partir dels Plans Hidrològics (PH) elaborats per les demarcacions hidrogràfiques (i.e. instruments d'ordenació dels recursos hídrics, i que recullen tota la informació rellevant per a la gestió de la Demarcació Hidrogràfica). Existeix un PH nacional que estableix les mesures per la coordinació dels PH de les diferents demarcacions. Llavors, la Demarcació Hidrològica de les Illes Balears (DHIB) s'ha d'atendre a les obligacions exposades per la DMA (Lucena-Moya et al., 2010). En aquest context el Pla Hidrològic de les Illes Balears (PHIB) (Conselleria d'Agricultura Medi Ambient i Territori, 2015) seguint les indicacions de la DMA establí un valor límit de clorurs de 250 mg/l en masses d'aigua subterrània. Doncs, si la concentració de clorurs supera els llindars esmentats, la massa d'aigua passa a considerar-se com a massa en mal estat.

Si es relacionen aquests llindars amb els valors presents a s'Albufera, es constata que es tracta d'una zona en mal estat, ja que en molts casos (e.g. MA0340, MA0579, MA0648, MA0660, MA0662) es superen els llindars permesos. Doncs, no sempre es resolen de forma satisfactòria les expectatives del PH i de la DMA consistents en assolir el bon estat de totes les masses d'aigua i dels ecosistemes associats. Així i tot, és necessari destacar la forta disminució en la concentració de clorurs a la massa d'aigua a partir de l'any 2000 (figura 6). Aquest fou l'any a partir del qual entraren en funcionament les polítiques de la DMA, un fet que constata l'eficàcia i la seva forta influència quant a la reducció dels valors de salinitat en aquest sector.

En tot aquest context cal destacar que s'Albufera es troba localitzada a una zona plenament turística, fet que per un lloc es converteix en una oferta turística complementària (paisatgística i ecològica), però per altre lloc ha de suportar una gran pressió antròpica amb el seu conseqüent risc de degradació (Candela et al., 2009). A aquesta realitat cal sumar-li el resultat de les pràctiques d'agricultura intensiva del pla Inca - Sa Pobla, les quals comporten evidents impactes negatius al medi, tant per les contínues extraccions com per la contaminació de les masses d'aigua subterrània (e.g. nitrats), que afecten conseqüentment a s'Albufera (Rebassa & Llobera, 2006; Riddiford et al., 2014). Tot aquest conjunt de situacions provoquen que l'albufera es trobi lluny de tenir una òptima proporció d'ambients oligotròfics i oligohalins.

És necessari recalcar en aquest punt l'important paper dels aiguamolls, els quals són ecosistemes amb una enorme productivitat primària, i alhora esdevenen un refugi natural per a diverses espècies de gran rellevància ambiental (Adam, 2011). Aquests, tenen nombroses funcions importants quant al subministrament d'aigua dolça, en el segrest de carboni, en la regulació del clima, en la millora de la qualitat de l'aigua, en la mitigació d'efectes climàtics extrems, i en el suport a la biodiversitat (Barbier et al., 2011; Zedler, 2003; Zedler & Kercher, 2005). De fet, s'Albufera de Mallorca presenta hàbitats d'interès comunitari i de conservació prioritària que són dependents de l'aigua dolça. Tots aquests valors ecològics i paisatgístics es veuen estretament relacionats amb dos elements decisius: l'aigua i la sal, uns elements que poden agreujar la situació de s'Albufera, i que estan molt relacionats amb l'activitat humana esmentada.

Per tant, s'Albufera esdevé un exemple paradigmàtic d'una amenaça global de salinització d'aqüífers costaners. Tots aquests ecosistemes depenen molt estretament de la qualitat i el nivell de les seves aigües, i es necessita una qualitat mínima necessària per a mantenir els processos ecològics que sustenten tota la biodiversitat de la zona humida. De fet, el procés de salinització, s'està produint a un ritme i una escala geogràfica sense precedents (Herbert et al., 2015), i si no s'actua de manera eficaç, pot arribar a esdevenir una realitat irreversible (Davis et al., 2003; Runyan & D'Odorico, 2010; Sim et al., 2006; Strehlow et al., 2005). D'aquesta manera cal recalcar la importància de la conscienciació ciutadana, juntament amb la implicació dels diferents agents implicats per revertir aquesta realitat.

6. Conclusions

El Parc Natural de s'Albufera de Mallorca esdevé un exemple més d'una realitat global de salinització d'aqüífers costaners. Aquest, malgrat la seva importància ecològica i paisatgística, s'enfronta a una pressió antròpica creixent de consum d'aigua, i també del canvi climàtic, els quals modifiquen els nivells de les aigües subterrànies, la seva temporalitat i els seus patrons. L'anàlisi de tendències piezomètriques i de qualitat han permès demostrar l'estat quantitatiu i qualitatiu (clorurs) de les seves aigües, les quals constaten una disminució piezomètrica a l'interior i un augment a les zones costaneres. A més, s'ha demostrat una disminució general de la salinitat tot i que els valors de clorurs continuen sent elevats.

És una situació que s'ha vist i es veurà agreujada pel canvi climàtic, el qual repercuteix al seu deteriorament. Doncs, el present estudi esdevé una nova contribució en l'anàlisi d'aquesta realitat, el qual pot donar peu a futures solucions adaptant-se així a la DMA. Amb tot i això, es requereix una millora de la quantitat i la qualitat de punts de control dins els límits de s'Albufera

per poder conèixer amb exactitud la seva problemàtica interna i poder-la preservar a partir d'una millora del seu estat.

7. Agraïments

Primerament agrair al meu tutor Dr. Cels Garcia per l'esforç i perseverança davant el present projecte i la seva constància durant tot el procés. També agrair al Dr. Pablo Rodríguez Lozano per introduir-me dins el món de la investigació i ser una font continua d'ajuda, motivació i suport per poder assolir els meus objectius acadèmics. També agrair a tots els professors que s'han involucrat en l'aprenentatge actiu dels estudiants aportant coneixements de gran valor formant-nos així com a bons professionals.

En segon lloc, agrair a la meua família per fer-me el camí més fàcil i recolzar-me contínuament en les meves decisions. I en darrer lloc i no menys important, agrair a tots els meus amics i companys que m'han recolzat al llarg d'aquest període universitari, especialment a Marc Aguiló, per l'ajuda mútua, per ser-hi sempre i fer-me més fàcil i divertida aquesta etapa. Sense tots ells no hauria estat possible l'elaboració d'aquest estudi.

8. Bibliografia

AAVV. (2005). *Parque Natural de s'Albufera de Mallorca, guía de paseo*.

Adam, P. (2011). Plant life history studies. *Saltmarsh Ecology*, 309–334. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511565328.006>

Barbier, E., Hacker, S., Kennedy, C., Koch, E., Stier, A., & Silliman, B. (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 81(2)(2), 169–193.

Barón, A. (2003). Conflictos producidos entre el humedal de S'Albufera y el acuífero que lo alimenta. *Conflictos Entre El Desarrollo de Las Aguas Subterráneas y La Conservación de Los Humedales: Litoral Mediterráneo*.

Befus, K. M., Barnard, P. L., Hoover, D. J., Finzi Hart, J. A., & Voss, C. I. (2020). Increasing threat of coastal groundwater hazards from sea-level rise in California. *Nature Climate Change*, 10(10), 946–952. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0874-1>

Bocanegra, E., da Silva, G. C., Custodio, E., Manzano, M., & Montenegro, S. (2010). Etat des connaissances sur la gestion des aquifères côtiers en Amérique du Sud. *Hydrogeology Journal*, 18(1), 261–267. <https://doi.org/10.1007/s10040-009-0520-5>

Candela, L., Elorza, F., & von Igel, W. (2009). Impacto del cambio climático y escenarios de gestión sobre la recarga de la U.H. Inca-Sa Pobla y S'Albufera. *Estudios de La Zona No Saturada Del Suelo*, IX(April), 1–7.

Cary, L., Petelet-Giraud, E., Bertrand, G., Kloppmann, W., Aquilina, L., Martins, V., Hirata, R., Montenegro, S., Pauwels, H., Chatton, E., Franzen, M., Aurouet, A., Lasseur, E., Picot, G., Guerrot, C., Fléhoc, C., Labasque, T., Santos, J. G., Paiva, A., ... Pierre, D. (2015). Origins and processes of groundwater salinization in the urban coastal aquifers of Recife (Pernambuco, Brazil): A multi-isotope approach. *Science of the Total Environment*, 530–

- 531, 411–429. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.015>
- Chaudhuri, S., & Ale, S. (2014). Long-term (1930-2010) trends in groundwater levels in Texas: Influences of soils, landcover and water use. *Science of the Total Environment*, 490, 379–390. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.013>
- Conselleria d'Agricultura Medi Ambient i Territori. (2015). *Plan Hidrológico de las Illes Balears 2015-2021. Memoria*. http://www.caib.es/sites/aigua/es/revisia_anticipada_del_pla_hidrolagic_de_les_illes_balears/
- Cortina, L. M. (2020). Retos de la planificación hidrológica española ante el 3 er ciclo de la Directiva Marco del Agua. In *Los procesos de planificación hidrológica en la Península Ibérica e Islas en un contexto de cambio climático*.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & van den Belt, M. (1998). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Ecological Economics*, 25(1), 3–15. [https://doi.org/10.1016/s0921-8009\(98\)00020-2](https://doi.org/10.1016/s0921-8009(98)00020-2)
- Custodio, E., Barón, A., Rodríguez-Morillo, H., Poncela, R., & Bayó, A. (1992). Study and Modelling of Saltwater Intrusion into Aquifers. *Study and Modelling of Saltwater Intrusion into Aquifers, CIMNE, I*, 661–686.
- Davis, J. A., McGuire, M., Halse, S. A., Hamilton, D., Horwitz, P., McComb, A. J., Froend, R. H., Lyons, M., & Sim, L. (2003). What happens when you add salt: Predicting impacts of secondary salinisation on shallow aquatic ecosystems by using an alternative-states model. *Australian Journal of Botany*, 51(6), 715–724. <https://doi.org/10.1071/BT02117>
- Devreker, D., & Lefebvre, A. (2014). TTAinterfaceTrendAnalysis: An R GUI for routine Temporal Trend Analysis and diagnostics. *Journal of Oceanography, Research and Data*, 6(January), 1–18. <https://w3.ifremer.fr/archimer/doc/00245/35635/>
- Dídac, F. (1997). *Geografia de les Illes Balears* (Lleonard Muntaner (ed.)).
- Durán Valsero. (2006). *Islas de Agua: Patrimonio Geologico e Hidrogeologico de las Islas Baleares* (IGME (ed.)). Conselleria de Medi Ambient, Govern Balear. https://www.caib.es/sites/aigua/es/libro_islas_de_agua-38418/archivopub.do?ctrl=MCRST259ZI105498&id=105498
- Foster, S., Chilton, J., Nijsten, G. J., & Richts, A. (2013). Groundwater-a global focus on the “local resource.” *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(6), 685–695. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.10.010>
- GAAT. (2007). *Estudi hidrològic de la zona humida de s'Albufera*.
- Galimont, A., Candela, L., Barón, A., & González, C. (2003). Evolución De La Intrusión Salina En El Llano De Inca-Sa Pobra , Mallorca. *Tecnología de La Intrusión de Agua de Mar En Acuíferos Costeros: Países Mediterráneos @IGME*, 533–541.
- García, C., & Rodríguez-Lozano, P. (2020). Cinco aspectos clave en la gestión del agua en las Islas Baleares. In Colegio Oficial de Ingenieros de Montes (Ed.), *Los procesos de planificación hidrológica en la Península Ibérica e islas en un contexto de cambio climático*. (pp. 230–245). <https://doi.org/10.25145/b.Planificacionhidrologica.2020>
- GOB. (2010). Atles dels aucells nidificants de Mallorca i Cabrera, 2003 - 2007. In *Grup Balear*

- d'Ornitologia i Defensa de la Naturalesa (GOB)* (Vol. 53, Issue 9) [Date Accessed: 26/04/2021].
- GOB. (2018). *S'Albufera demana auxili*. Grup Balear d'Ornitologia i Defensa de La Naturalesa. <https://www.gobmallorca.com/que-feim/biodiversitat/s-albufera-demana-auxili> [Date Accessed: 26/04/2021].
- GOIB. (2020). *S'albufera de Mallorca, parque natural*. https://balearsnatura.com/wp-content/uploads/2016/11/AlbuferaESP_2020.pdf
- Hamed, K. H., & Rao, A. R. (2018). A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Clinical Oncology*, 36(15_suppl), 522–522. https://doi.org/10.1200/jco.2018.36.15_suppl.522
- Herbert, E. R., Boon, P., Burgin, A. J., Neubauer, S. C., Franklin, R. B., Ardon, M., Hopfensperger, K. N., Lamers, L. P. M., Gell, P., & Langley, J. A. (2015). A global perspective on wetland salinization: Ecological consequences of a growing threat to freshwater wetlands. *Ecosphere*, 6(10), 1–43. <https://doi.org/10.1890/ES14-00534.1>
- Hey, D. L., Montgomery, D. L., Urban, L. S., Prato, T., Forbes, A., Martell, M., Pollack, J., Steele, Y., & Zarwell, R. (2004). *Flood Damage Reduction in the Upper Mississippi River Basin: an Ecological Alternative*. 60604(312).
- Hirsch, R. M., & Slack, J. R. (1984). A Nonparametric Trend Test for Seasonal Data With Serial Dependence. *Water Resources Research*, 20(6), 727–732. <https://doi.org/10.1029/WR020i006p00727>
- IPCC. (2001). Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In *Cambridge University Press* (Vol. 12, Issue 3). [https://doi.org/10.1016/S1058-2746\(02\)86826-4](https://doi.org/10.1016/S1058-2746(02)86826-4)
- IPCC. (2019). Summary for policymakers. In *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* (Issues vii, 973). https://doi.org/http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/spm.html
- Ketabchi, H., Mahmoodzadeh, D., Ataie-Ashtiani, B., & Simmons, C. T. (2016). Sea-level rise impacts on seawater intrusion in coastal aquifers: Review and integration. *Journal of Hydrology*, 535, 235–255. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.01.083>
- Ketabchi, H., Mahmoodzadeh, D., Ataie-Ashtiani, B., Werner, A. D., & Simmons, C. T. (2014). Sea-level rise impact on fresh groundwater lenses in two-layer small islands. *Hydrological Processes*, 28(24), 5938–5953. <https://doi.org/10.1002/hyp.10059>
- Kløve, B., Ala-Aho, P., Bertrand, G., Gurdak, J. J., Kupfersberger, H., Kværner, J., Muotka, T., Mykrä, H., Preda, E., Rossi, P., Uvo, C. B., Velasco, E., & Pulido-Velazquez, M. (2014). Climate change impacts on groundwater and dependent ecosystems. *Journal of Hydrology*, 518(PB), 250–266. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.06.037>
- Lasagna, M., Mancini, S., Antonio De Luca, D., & Cravero, M. (2019). Piezometric levels in the Piedmont plain (NW Italy): Trend and hydrodynamic behaviour of the shallow aquifer. *Rendiconti Online Societa Geologica Italiana*, 48(July), 2–9. <https://doi.org/10.3301/ROL.2019.30>
- López-García, J. M., & Mateos Ruiz, R. M. (2003). La intrusión marina en los acuíferos de la

- isla de Mallorca. *Tecnología de La Intrusión de Agua de Mar En Acuíferos Costeros: Países Mediterráneos @IGME*, January, 10. <http://aguas.igme.es/igme/publica/tiac-01/Area IV-9.pdf>
- López Mayol, T., Homar, V., Ramis, C., & Guijarro, J. A. (2016). PREGRIDBAL 1.0: towards a high resolution rainfall atlas for the Balearic Islands (1950–2009). *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, November, 1–25. <https://doi.org/10.5194/nhess-2016-330>
- Lucena-Moya, P., Sánchez, R. A., Lago, L. G., & Núñez, C. D. (2010). *Implementación de la DMA en Baleares: evaluación de la calidad ambiental de las masas de agua epicontinentales utilizando indicadores e índices biológicos*.
- Martinez-Taberner, A., & Moya, G. (1993). Submerged vascular plants and water chemistry in the coastal marsh Albufera de Mallorca (Balearic Islands). *Hydrobiologia*, 271(3), 129–139. <https://doi.org/10.1007/BF00005410>
- Masterson, J. P., & Garabedian, S. P. (2007). Effects of sea-level rise on ground water flow in a coastal aquifer system. *Ground Water*, 45(2), 209–217. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2006.00279.x>
- Mcallister, D. E., Craig, J. F., Davidson, N., Delany, S., & Seddon, M. (2001). Biodiversity Impacts of Large Dams. *International Union for Conservation of Nature and Natural Resources and the United Nations Environmental Programme*, 1, 63.
- McInnes, R. J. (2016). Climate Regulation and Wetlands: Overview. *The Wetland Book*, 1–7. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-6172-8>
- Mitra, S. (2005). An appraisal of global wetland area and its organic carbon stock. *Current Science*, 88(1), 92–101.
- Oude Essink, G. H. P., Van Baaren, E. S., & De Louw, P. G. B. (2010). Effects of climate change on coastal groundwater systems: A modeling study in the Netherlands. *Water Resources Research*, 46(10), 1–16. <https://doi.org/10.1029/2009WR008719>
- Pons, G. (1993). Artropodes de s'Albufera de Mallorca: Arachnida, Araneae. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 5(07071).
- Potter, K. W. (2011). Estimating potential flood reduction benefits of restored wetlands. *Journal of Contemporary Water Research and Education*, 97(1), 34–38.
- Rebassa, M., & Llobera, M. (2006). *S'Albufera, ante el reto de mejorar la calidad de sus aguas*.
- REDMAR. (2019). *Resumen de parámetros relacionados con el nivel del mar y la marea que afectan a las condiciones de diseño y explotación portuaria*.
- Riddiford, N. J., & Foster, G. N. (2020). The aquatic beetles (Coleoptera) of the Parc Natural de s'Albufera de Mallorca, Balearic Islands. *Bolletí de La Societat d'Història Natural de Les Balears*, 9–22.
- Riddiford, N. J., Veraart, J. A., Ferriz, I., Owens, N. W., Royo, L., & Honey, M. R. (2014). The Albufera Initiative for Biodiversity: a cost effective model for integrating science and volunteer participation in coastal protected area management. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 14(2), 267–288. <https://doi.org/10.5894/rgci475>

- Runyan, C. W., & D'Odorico, P. (2010). Ecohydrological feedbacks between salt accumulation and vegetation dynamics: Role of vegetation-groundwater interactions. *Water Resources Research*, 46(11), 1–11. <https://doi.org/10.1029/2010WR009464>
- Sim, L. L., Chambers, J. M., & Davis, J. A. (2006). Ecological regime shifts in salinised wetland systems. I. Salinity thresholds for the loss of submerged macrophytes. *Hydrobiologia*, 573(1), 89–107. <https://doi.org/10.1007/s10750-006-0267-0>
- Strehlow, K., Davis, J., Sim, L., Chambers, J., Halse, S., Hamilton, D., Horwitz, P., McComb, A., & Froend, R. (2005). Temporal changes between ecological regimes in a range of primary and secondary salinised wetlands. *Hydrobiologia*, 552(1), 17–31. <https://doi.org/10.1007/s10750-005-1502-9>
- Unió Europea. (2000). *Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas*. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2000-82524> Unió
- van Dijk, G., Nijp, J. J., Metselaar, K., Lamers, L. P. M., & Smolders, A. J. P. (2017). Salinity-induced increase of the hydraulic conductivity in the hyporheic zone of coastal wetlands. *Hydrological Processes*, 31(4), 880–890. <https://doi.org/10.1002/hyp.11068>
- van Dijk, G., Smolders, A. J. P., Loeb, R., Bout, A., Roelofs, J. G. M., & Lamers, L. P. M. (2015). Salinization of coastal freshwater wetlands; effects of constant versus fluctuating salinity on sediment biogeochemistry. *Biogeochemistry*, 126(1–2), 71–84. <https://doi.org/10.1007/s10533-015-0140-1>
- Velstra, J., Groen, J., & de Jong, K. (2011). Observations of salinity patterns in shallow groundwater and drainage water from agricultural land in the northern part of The Netherlands. *Irrigation and Drainage*, 60(SUPPL. 1), 51–58. <https://doi.org/10.1002/ird.675>
- Veraart, J. A., de Groot, R. S., Perelló, G., Riddiford, N. J., & Roijackers, R. (2004). Selection of (bio) indicators to assess effects of freshwater use in wetlands: a case study of s'Albufera de Mallorca, Spain. *Regional Environmental Change*, 4(2–3), 107–117. <https://doi.org/10.1007/s10113-004-0070-2>
- Vörösmarty, C. J., Green, P., Salisbury, J., & Lammers, R. B. (2000). Global Water Resources : Vulnerability from Climate Change and Population Growth. *Science*, 289(5477), 284–288.
- Weinthal, E., Vengosh, A., Marei, A., Gutierrez, A., & Kloppmann, W. (2005). The water crisis in the Gaza Strip: Prospects for resolution. *Ground Water*, 43(5), 653–660. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2005.00064.x>
- Werner, A. D., Bakker, M., Post, V. E. A., Vandenbohede, A., Lu, C., Ataie-Ashtiani, B., Simmons, C. T., & Barry, D. A. (2013). Seawater intrusion processes, investigation and management: Recent advances and future challenges. *Advances in Water Resources*, 51, 3–26. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.03.004>
- Werner, A. D., & Simmons, C. T. (2009). Impact of sea-level rise on sea water intrusion in coastal aquifers. *Ground Water*, 47(2), 197–204. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2008.00535.x>
- Zalidis, G. (1998). Management of river water for irrigation to mitigate soil salinization on a coastal wetland. *Journal of Environmental Management*, 54(2), 161–167.

<https://doi.org/10.1006/jema.1998.0226>

Zedler, J. B. (2003). Wetlands at Your Service: Reducing Impacts of Agriculture at the Watershed Scale. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1(2), 65. <https://doi.org/10.2307/3868032>

Zedler, J. B., & Kercher, S. (2005). Wetland resources: Status, trends, ecosystem services, and restorability. *Annual Review of Environment and Resources*, 30, 39–74. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.30.050504.144248>