

Treball de fi de Grau 2017-2018

Influència de l'activitat de la macrofauna en el flux de ^{224}Ra des dels sediments

El cas dels Alfacs, Catalunya

Laia Carrió Lladós

Sonia Serra Artal

Tutors:

Jordi Garcia-Orellana

Anna Soler Membrives

Almudena Hierro Gutierrez

Montserrat Roca Martí

Marc Diego Feliu

Ciències Ambientals

Bellaterra, Juny 2018

UAB
Universitat Autònoma
de Barcelona



Influència de l'activitat de la macrofauna en el flux de ²²⁴Ra dels sediments

Autores:

Laia Carrió Lladós i Sonia Serra Artal

Bellaterra, Barcelona. Juny 2018

Universitat Autònoma de Barcelona



Es permet la reproducció total o parcial, la comunicació pública de l'obra i la creació d'obres derivades, sempre que no sigui amb finalitats comercials que es distribueixin sota la mateixa llicència que regula l'obra original. Cal que es reconegui l'autoria de l'obra original.

Disseny del logotip: Laia Carrió i Sonia Serra

Cita recomanada:

Carrió Lladós L., Serra Artal S. (2018). "Influència de l'activitat de la macrofauna en el flux de ²²⁴Ra des dels sediments". Treball de Fi de Grau. Universitat Autònoma de Barcelona.

“If there is magic on this planet, it is contained in water ”

Loren Eiseley

Agraïments

Després d'un període intens de vuit mesos, avui és el dia: ens toca escriure els agraïments per donar per acabat el nostre Treball de Fi de Grau. Han sigut uns mesos d'aprenentatge intens, no només en l'àmbit científic, sinó també en l'àmbit personal. Escriure aquest treball ha tingut un gran impacte per nosaltres i per aquest motiu ens agradaria donar les gràcies a totes aquelles persones que ens han ajudat i fet costat durant aquest projecte.

Ens agradaria agrair als nostres tutors la seva ajuda i atenció durant tot el recorregut. En primer lloc al Jordi García-Orellana. Et volem donar les gràcies per l'oportunitat que ens has donat per realitzar aquest treball d'investigació i per confiar en nosaltres fins i tot quan nosaltres mateixes no ho hem fet. També a l'Anna Soler, pel seu seguiment en tot moment i la seva ajuda amb la part biològica del projecte. A tots dos, gràcies per acompanyar-nos, transmetre'ns la vostra energia i el vostre suport durant aquesta fase que ens ha unit. A més a més volem agrair al Marc Diego per la seva valuosa ajuda en tot moment – encara no sabem com hauríem fet els Excels sense tu –. A l'Almudena Hierro i la Muntsa Roca pel seguiment en les tutories així com els consells de caràcter estructural per redactar la memòria i per tots els ànims que ens han donat cada vegada que ens hem vist, gràcies.

Als companys del Departament de Física de la Universitat Autònoma: el Joan Manel, l'Ariadne, la Sara i l'Aron. Ha estat un plaer compartir el nostre experiment i vivències al laboratori amb vosaltres.

Definitivament entre tots ens heu brindat gran part del vostre temps i les eines necessàries per completar el nostre estudi satisfactòriament. De veritat, gràcies.

Per altra banda, fem una menció especial al Pablo, ja que sense ell encara estaríem recollint les mostres als Alfacs.

També als nostres familiars, gràcies per donar-nos suport durant tota l'etapa acadèmica que avui acaba. Pels seus savis consells i comprensió en els moments més estressants. Sempre hi han estat per nosaltres. Al Christian i al Marcos, que ens han aguantat en els moments que hem estat més insuportables.

I per últim – però no menys importants – als nostres amics. Tant als companys de carrera com als de fora. No només han estat per recolzar-nos en els moments difícils, sinó que també hem pogut desconnectar amb vosaltres quan ho hem necessitat.

A tots vosaltres el nostre més sincer agraïment.

Resum

La principal entrada de nutrients i compostos químics als oceans és a través dels rius, tot i que recentment s'ha demostrat que les descàrregues d'aigües subterrànies al mar (SGD) també poden ser una font rellevant. Aquest treball però, es basa en l'ús de l'isòtop ²²⁴Ra per quantificar processos a petita escala com és el cas de l'intercanvi de soluts i partícules entre sediments i la columna d'aigua (PEX), transportant així substàncies dissoltes, partícules fines i altres materials procedents de sediments.

Gràcies als resultats que es dicten a l'article de Rodellas et al. (2017), hem vist que a la Badia dels Alfacs, les concentracions màximes de ²²⁴Ra se situen lluny de la costa, i a més a més s'observa una forta variació estacional, on a l'estiu les concentracions arriben a ser fins a cinc vegades més elevades que a l'hivern.

A partir dels resultats d'aquest estudi, sorgeix la idea que hi poden haver diversos mecanismes que afavoreixen al flux advectiu de materials i compostos a través de la interfície d'aigua-sediment generant així diferències entre certs punts de la badia i variacions al llarg de l'any. Aquests mecanismes són la influència de la "bioirrigació", el vent, la hidrodinàmica de les aigües de la badia, el nivell del mar i l'onatge, les barreres impermeables i la convecció de l'aigua per la temperatura o les bombolles de gas entre d'altres (Santos et al., 2012).

El nostre estudi s'ha basat en la "bioirrigació" i bioturbació, fet que ens ha portat a plantejar-nos dues hipòtesis. La hipòtesi principal basada en el fet que la fauna bentònica és un factor rellevant que influeix en l'intercanvi de ²²⁴Ra entre el sediment i la columna d'aigua, i la segona hipòtesi centrada en l'article de Rodellas et al. (2017), que defensa que a la zona més llunyana a la costa trobem més ²²⁴Ra a la columna d'aigua respecte a la zona més propera.

Per aquest motiu, vam realitzar dos mostrejos en dos punts diferents, un proper a la costa, concretament a la Torre de Sant Joan (ST1), i l'altre punt a una zona propera a la Punta de la Banya (ST2). La campanya va ser realitzada l'octubre del 2017 i es van obtenir mostres de flora, fauna, sediment i aigua de les dues zones per tal de poder realitzar posteriorment diverses incubacions al laboratori. Per cada estació es van realitzar incubacions amb sediment, altres amb sediment i fauna i altres amb sediment, flora i fauna. Per altra banda, a ST2 també es va

realitzar una incubació amb 50 exemplars de *Tritia reticulata* i una amb 10 exemplars d'*Hexaplex trunculus*.

En aquestes incubacions es van mesurar periòdicament els fluxos de ²²⁴Ra del sediment cap a la columna d'aigua per a cada mostra filtrant l'aigua i també es va caracteritzar la flora i fauna bentònica de cada estació, així com es va analitzar la granulometria i l'activitat del ²²⁴Ra present en el sediment.

Els resultats obtinguts mostren el següent:

- La cobertura vegetal present a cada estació és diferent quant a l'arrelament i l'espessetat de la praderia (sent major a ST1) i juga a favor de confirmar la hipòtesi que a ST2 hi ha més ²²⁴Ra en la columna d'aigua que a ST1.
- La fauna bentònica de cada estació és diferent respecte a diversitat i mida. A ST2 trobem individus de més grans i amb més capacitat de moviment, fet també juga a favor de confirmar les nostres dues hipòtesis.
- La granulometria i l'anàlisi de l'activitat del ²²⁴Ra en el sediment mostren que aparentment no hi ha diferències significatives en la concentració de ²²⁴Ra en el sediment entre ST1 i ST2.
- Els perfils de la *porewater* mostren poques variacions espacials però una menor difusió estacional en els mesos d'hivern.
- Les incubacions que contenen flora i fauna són les que han obtingut mesures de ²²⁴Ra majors respecte les que només contenen sediment. A ST1, el flux més elevat pertany a la incubació amb sediments i fauna ($67 \pm 6 \text{ dpm} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$) i el menor a la que només trobem sediments ($22 \pm 2 \text{ dpm} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$). En canvi a ST2, el flux major pertany a la incubació amb sediment, flora i fauna i a la de 50 exemplars de *Tritia reticulata* ($30 \pm 3 \text{ dpm} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$) i el menor a la de 10 exemplars d'*Hexaplex trunculus* ($23 \pm 2 \text{ dpm} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$) seguida de la incubació amb sediment ($23 \pm 2 \text{ dpm} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$).

Per tots aquests motius, podem concloure i confirmar la hipòtesi que la fauna bentònica influeix en els fluxos de ²²⁴Ra del sediment. Tot i això, les diferències entre estacions mostrejades i entre estiu i hivern no només són degudes a la fauna, sinó que hi ha d'altres factors que també influeixen en aquests fluxos de ²²⁴Ra del sediment cap a la columna d'aigua.

Índex

Resum	5
1. Antecedents	13
1.1 Introducció als mars i oceans	13
1.1.1 Importància dels nutrients	13
1.1.2 Principals entrades de nutrients a la costa	16
1.2 Isòtops de Ra com traçadors de SGD o PEX	23
1.2.1 Avantatges i desavantatges	25
1.3 Fauna bentònica	27
1.3.1 La vida bentònica en fons sorrencs i fangosos	28
2. Cas d'estudi: descripció de la Badia dels Alfacs	29
2.1 Localització	29
2.2 Hidrogeologia	30
2.3 Flora marina	32
2.4 Fauna marina	33
3. Estudi previ	35
4. Justificació del projecte	38
5. Objectius	41
Objectius generals	41
Objectius específics	41

6. Metodologia	42
6.1 Esquema de la metodologia	42
6.2 Treball de camp	43
6.2.1 Itinerari	43
6.2.2 Materials utilitzats per a la recollida de mostres	44
6.3 Treball al laboratori	46
6.3.1 Identificació de la flora i fauna	46
6.3.2 Granulometria	47
6.3.3 Quantificació i determinació de les concentracions de ²²⁴ Ra	48
7. Resultats	54
7.1 Anàlisi de la flora	54
7.2 Anàlisi de la fauna bentònica	54
7.3 Granulometria	59
7.4 Activitat de ²²⁴ Ra en el sediment	59
7.5 Perfils de ²²⁴ Ra de la <i>porewater</i>	60
7.6 Fluxos de ²²⁴ Ra a partir dels sistemes d'incubació	63
8. Discussió dels resultats	65
8.1 Distribució espacial.....	65
8.1.1 Cobertura vegetal.....	66
8.1.2 Fauna	67
8.1.3 Granulometria	68
8.1.4 Activitat del ²²⁴ Ra en el sediment	68
8.1.5 Perfils de l'aigua intersticial	69
8.1.6 Incubacions	69
8.1.7 Profunditat.....	72
8.1.8 Aportacions dels canals	72
8.2 Estacionalitat	72
8.2.1 Bioturbació	73
8.2.2 Perfils d'aigua intersticial.....	73
8.2.3 Aportacions dels canals	74
8.2.4 Activitat antròpica	74
8.2.5 Altres factors	75

9. Conclusions	76
10. Propostes de millora	78
10.1 Fitxes d'accions proposades.....	80
11. Programació	87
12. Pressupost	88
13. Petjada de carboni	90
13.1 Emissions derivades del transport	90
13.2 Emissions derivades de la impressió del treball	91
14. Bibliografia	92
15. Webgrafia	100
Annexos	92

Índex de figures

FIGURA 1: APORTACIONS DE SALS AL MAR.....	14
FIGURA 2: CICLE DEL CARBONI.....	15
FIGURA 3: REPRESENTACIÓ DELS FLUXOS DE LES DESCÀRREGUES D'AIGUA SUBMARINA A L'OCEÀ COSTANER.....	19
FIGURA 4: REPRESENTACIÓ DE LA POREWATER	22
FIGURA 5: FUNCIONAMENT DE LA "BIORRIGACIÓ"	23
FIGURA 6: CADENES DE DESINTEGRACIÓ DEL ²³⁸ U, ²³⁵ U I ²³² TH.....	24
FIGURA 7: IMATGE SATÈL·LIT DEL SUD D'EUROPA, SEGUIT D'IMATGE SATÈL·LIT DE CATALUNYA AMB ELS ALFACS SENYALAT I AMPLIACIÓ DE LA ZONA. LA QUARTA IMATGE TÉ LA ZONA D'ESTUDI DELIMITADA.....	29
FIGURA 8: SITUACIÓ DELS TRES CANALS PRINCIPALS D'APORTACIÓ D'AIGUA DOLÇA.....	31
FIGURA 9: POLÍGONS DE VEGETACIÓ DELIMITATS DE LA BADIA DELS ALFACS.....	32
FIGURA 10: MAPA DE LA BADIA DELS ALFACS ON ES MOSTREN TOTS ELS MOSTREJOS REALITZATS EN L'ESTUDI DE L'ARTICLE DE RODELLAS ET AL., (2017), JUNTAMENT AMB LES CANALS D'IRRIGACIÓ I LES DESCÀRREGUES D'AIGÜES SUBTERRANIES AL MAR.....	36
FIGURA 11: GRÀFIC ON ES MOSTRA LA CONCENTRACIÓ DE ²²⁴ RA EN DIFERENTS ZONES DE LA BADIA I SEGONS L'ÈPOCA DE L'ANY.....	37
FIGURA 12: ESQUEMA DE LA METODOLOGIA.....	42
FIGURA 13: IMATGE SATÈL·LIT AMB LES ESTACIONS DE CADA MOSTREIG INDICADES	44
FIGURA 14: DISTRIBUCIÓ DE LES MOSTRES.....	45
FIGURA 15: IDENTIFICACIÓ DE LA FAUNA BENTÒNICA DELS DOS PUNTS DE MOSTREIG DE LA BADIA DELS ALFACS.....	46
FIGURA 16: TAMISOS AMB EL SEDIMENT AL LABORATORI.....	48
FIGURA 17: CALENDARI DATES FILTRATGE DELS SISTEMES D'INCUBACIÓ	49
FIGURA 18: MUNTATGE AL LABORATORI DEL MOMENT DE FILTRAT L'AIGUA DELS SISTEMES D'INCUBACIÓ ON S'OBSERVA LA BOMBA PERISTÀLTICA UNIDA A LA COLUMNA AMB LES FIBRES DE MN.....	50
FIGURA 19: DETECTOR EMPRAT PER A MESURAR EL ²²⁴ RA (RADECC)	52
FIGURA 20: PRADERIA DE CYMODOCEA NODOSA I CAULERPA PROLIFERA DE ST1 A L'ESQUERRA, I DE CAULERPA PROLIFERA DE ST2 A LA DRETA.....	54
FIGURA 21: IMATGES DE LORIPES ORBICULATUS, SPISULA SUBTRUNCATA, VENERUPIS GEOGRAPHICA I ABRA ALBA, RESPECTIVAMENT, DE ST1.....	55
FIGURA 22: IMATGES DE TRITIA RETICULATA I HEXAPLEX TRUNCULUS, RESPECTIVAMENT, DE ST2.....	56
FIGURA 23: IMATGE DE PARVICARDIUM EXIGUUM.....	56
FIGURA 24: REPRESENTACIÓ DELS PERCENTATGES CORRESPONENTS AL PES DE CADA MIDA DE GRA OBTINGUTS PER 100 G DE MOSTRA DE SEDIMENT DE CADA ESTACIÓ.....	59

INFLUÈNCIA DE L'ACTIVITAT DE LA MACROFAUNA EN EL FLUX DE ²²⁴RA DELS SEDIMENTS

FIGURA 25: PERFILS POREWATER PER A CADA ESTACIÓ, ON L'ESTACIÓ 1 ÉS ST1 I L'ESTACIÓ 2 ÉS ST2. EL GRÀFIC DE L'ESQUERRA MOSTRA ELS PERFILS DE ²²⁴ RA SEGONS LA PROFUNDITAT DE SEDIMENT, MENTRE QUE EL GRÀFIC DE LA DRETA MOSTRA EL PERFIL SEGONS LA CONDUCTIVITAT	61
FIGURA 26: COMPARACIÓ DELS PERFILS DE ²²⁴ RA EN TRES CAMPANYES CONSECUTIVES	62
FIGURA 27: COMPARATIVA DE L'ARRELAMENT ENTRE CYMODOCEA NODOSA A L'ESQUERRA I CAULERPA PROLIFERA A LA DRETA.....	67
FIGURA 28: LÍNIES ESTRATÈGIQUES	78

Índex de taules

TAULA 1: CLASSIFICACIÓ DE LES ESPÈCIES BENTÒNIQUES DE LES ESTACIONS DE MOSTREIG SEGONS GRUP, ABUNDÀNCIA D'INDIVIDUS TROBATS I TIPUS D'ALIMENTACIÓ.	57
TAULA 2: RADIOACTIVITAT EN EL SEDIMENT DE CADASCUNA DE LES ESTACIONS EXPRESSADA EN BQ/KG I REALITZADA SEGONS ESPECTROMETRIA GAMMA..	60
TAULES 3 I 4: FLUXOS ²²⁴ RA DE ST1 I DE ST2.	63
TAULA 5: MODEL DE FITXA D'ACCIÓ	79
TAULA 6: PROGRAMACIÓ DEL TFG.	87
TAULA 7: PRESSUPOST.	88
TAULA 8: CÀLCUL D'EMISSIONS DERIVADES DEL TRANSPORT.....	90
TAULA 9: CÀLCUL D'EMISSIONS DERIVADES DE LA IMPRESSIÓ DEL TREBALL. ELABORACIÓ PRÒPIA	91

1. Antecedents

1.1 Introducció als mars i oceans

La Terra està composta per tres quartes parts d'aigua que equivalen aproximadament a un 70% de la superfície total. Un 97,5% de la massa d'aigua es troba en mars i oceans i la resta, un 2,5%, és el que constitueix l'aigua dolça. Dins d'aquest petit percentatge, dues terceres parts es troben en casquets polars, icebergs i glaceres (Auge, 2007).

La major part l'aigua dolça disponible i en estat líquid, la trobem principalment en forma d'aigües subterrànies i en últim lloc com a rius i llacs.

L'oceà és el principal reservori d'aigua, i no solament és capaç de determinar els ecosistemes marins i els seus cicles biològics, sinó també interacciona, influeix i regula la resta de compartiments del planeta i és un component clau en el cicle de l'aigua. Tot i això, la societat encara està lluny de percebre la dinàmica i la importància dels mars i oceans (Boada i Maneja, 2013).

1.1.1 Importància dels nutrients

Els cicles químics de l'oceà són molt complexos, i no són coneguts en profunditat, però a poc a poc s'estan analitzant mostres recollides arreu del món durant expedicions oceanogràfiques per conèixer-los millor.

A partir de les fonts i els embornals de materials que hi ha des de i cap a l'oceà, es pot estudiar la química de l'aigua del mar. Aquestes fonts i embornals provenen de l'intercanvi de material entre la Terra i els oceans: un procés que pot dur-se a terme per vies diferents (Figura 1).

Amb la primera via, el material derivat dels continents es transporta, en forma de partícules o gasos, a través de l'atmosfera i es diposita sobre la superfície del mar. En segon lloc, l'escorça continental s'erosiona per processos químics i físics i es transporta, en forma dissolta o en partícules, als marges oceànics a través dels rius o de les aigües subterrànies. En tercer lloc, els sediments marins actuen com un reactor químic per alliberar i absorbir espècies químiques des de i cap a

l'aigua marina. I per últim, l'intercanvi amb l'escorça terrestre i el mantell es produeix principalment a través de les dorsals oceàniques.

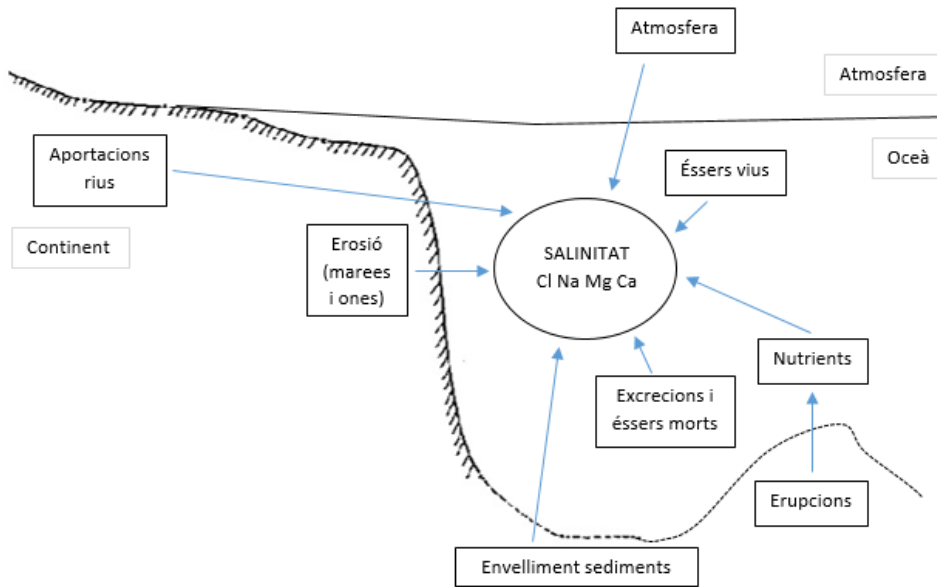


Figura 1: Aportacions de sals al mar

Font: Elaboració pròpia en base a Cifuentes et al. (1997)

Els nutrients tenen un paper fonamental en el procés de producció de matèria viva, és a dir, en la producció de biomassa. Els més importants són el carboni, el nitrogen, el fòsfor i la sílice. En el seu cicle intervien un seguit de processos químics i biològics, que determinen la seva concentració en les diferents capes de la columna d'aigua del mar.

Els nutrients es troben en estrats inferiors, a causa del consum de nutrients per part del fitoplàncton i el transport vertical és molt important per fer pujar als nutrients cap a la superfície. Cal destacar que a la zona superior es trobaran organismes autòtrofs, que realitzen la fotosíntesi i a la zona inferior organismes heteròtrofs, que són dependents de la matèria orgànica sintetitzada pels organismes autòtrofs.

Quan els organismes expulsen excrements o moren, la matèria orgànica s'enfonsa per gravetat fins a les profunditats on sedimenta i al cap d'un temps es descompon per acció dels bacteris i l'activitat química, alliberant d'aquesta manera els nutrients. Aquests nutrients poden ser reutilitzats per altres vegetals que elaboraran nova matèria orgànica mitjançant la fotosíntesi que podrà ser utilitzada pels animals (Gonzalez i Raisman, 2000).

La circulació de l'aigua intervé en la concentració dels nutrients a les diferents capes de l'oceà i es pot considerar que la majoria dels nutrients es troben en els primers 1000 metres de profunditat i la degradació de la matèria orgànica pot ocórrer en tota aquesta zona; mentre que la fotosíntesi – com s'ha dit abans – es realitza en els 100 primers metres de profunditat on la llum del Sol encara arriba (Cifuentes et al., 1997).

Els nutrients sorgeixen novament a la superfície per corrents d'aigua ascendents, que es produeixen al canviar la temperatura de les diferents masses d'aigua; són les zones de surgència o aflorament, on el fitoplàncton els utilitza, juntament amb l'energia solar i el diòxid de carboni, per elaborar matèria orgànica i donant lloc a zones de gran productivitat planctònica i pesquera.

Així doncs, les zones costaneres són llocs de ciclisme biogeoquímic actiu, ja que els cicles terrestres, atmosfèrics i marins interactuen en aquest àmbit. Un exemple és el cicle del carboni. Els processos importants que afecten els fluxos del cicle de carboni a l'oceà costaner s'inclouen en la Figura 2. La magnitud i la variabilitat de molts fluxos de carboni són molt més elevats en els oceans costaners que en els ambients oceànics (NOAA/PMEL, 2014).

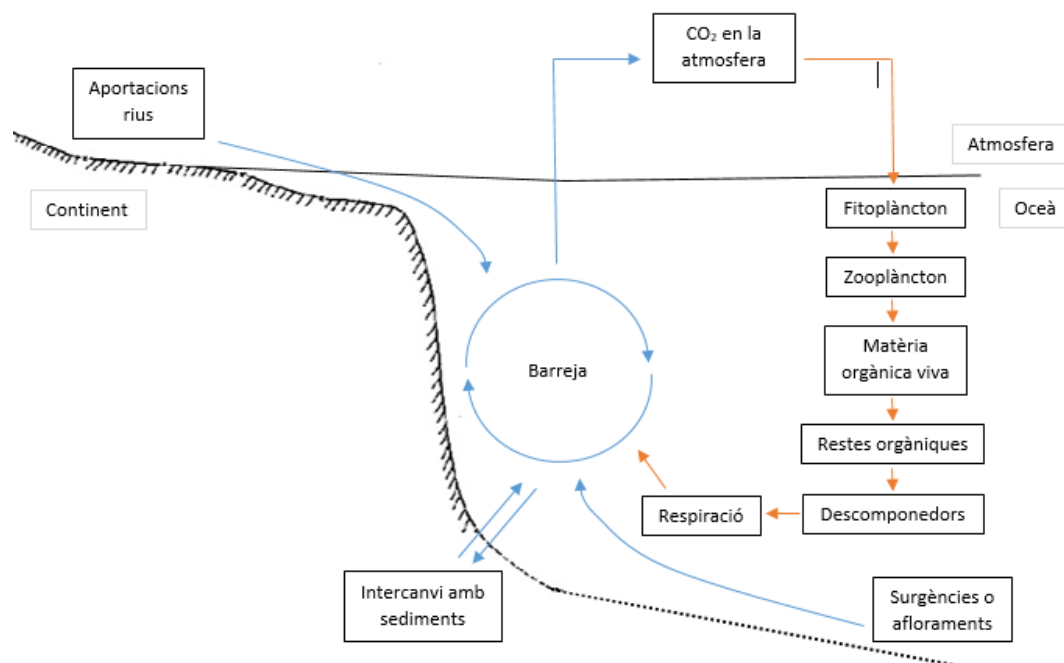


Figura 2: Cicle del Carboni. Les fletxes taronges indiquen els processos biològics i les fletxes blaves indiquen els processos físics.

Font: Elaboració pròpia en base a NOAA/PMEL (2014)

1.1.2 Principals entrades de nutrients a la costa

Les principals entrades de nutrients i compostos químics als mars i oceans provenen de la interacció amb l'atmosfera i del flux de les aigües tant superficials com subterrànies que finalitzen el seu cicle desembocant al mar.

Els rius i les aigües subterrànies són els dos processos que més influeixen en el litoral a causa de la seva aportació continua d'aigües carregades de materials, nutrients i compostos de propietats i morfologies variades (Loder i Reichard, 1981; Cifuentes et al., 1990; Lebo et al., 1994).

Per altra banda, també existeix l'entrada de partícules en suspensió i espècies químiques per la dissolució de gasos procedents de l'atmosfera. Aquests gasos majoritàriament són el nitrogen i l'oxigen perquè són els principals components de l'atmosfera terrestre amb un 78,1% i un 20,9% respectivament (Costa et al., 2009).

Tot i això l'aportació d'elements per l'aire és menor en comparació amb els dos processos anteriors, per aquest motiu, explicarem només l'entrada pels rius i pel límit entre el sediment i la columna d'aigua.

1.1.2.1 Rius

Els rius són fluxos superficials i continus d'aigua que desemboquen majoritàriament en llacs, altres rius, mars i oceans i que neixen per l'aflorament d'aigües presents en dipòsits naturals (Enciclopèdia Catalana).

L'entrada d'aigua als rius ve regulada per la contínua aportació d'aigües procedents de la precipitació, llacs, estanys, desgel de la neu o glaceres i de la sortida d'aigües subterrànies emmagatzemades en el subsòl mitjançant formacions geològiques. Per altra banda la sortida d'aigües es produeix per infiltració cap al subsòl, evaporació i per la recàrrega d'aqüífers (Costa et al., 2009).

La constància, continuïtat i estabilitat dels cabals dels rius està condicionada per dos components principals, l'escorrentia superficial directa i per l'escorrentia subterrània (Le Moine et al., 2008).

L'escorrentia superficial és fruit de les precipitacions produïdes sobretot de manera estacional, de manera que en estacions humides i plujoses té una gran rellevància en la dinàmica i flux dels rius.

En èpoques més seques, que normalment coincideixen amb l'estiu, el riu s'abasteix principalment de l'aigua emmagatzemada en aqüífers per la falta de precipitació i escorrentia superficial, tot i que aquesta també influeix al llarg de l'any de manera constant i estructurada (Le Moine et al., 2008).

L'aigua que circula pels rius acostuma a ser ràpida i amb una gran capacitat d'erosió i de transport, fent que les descàrregues fluvials constitueixin una font important de materials sòlids i substàncies dissoltes cap als mars i oceans. Tot i això, existeix una clara diferència en quant la composició química i el temps de residència de les aigües dels oceans i dels rius.

En els oceans trobem una composició força uniforme i estable de sals dissoltes, amb un contingut mitjà d'un 3,5% (35 g·L⁻¹) en pes, en comparació amb el 0,012% (0,12 g·L⁻¹) present en els rius (Smith et al., 2008).

L'element majoritari en rius és el carboni en forma de bicarbonat que representa el 0,0058% del percentatge de sals al riu, seguit del calci, sofre i silici on es troben en un 0,0039%. La resta, un 0,0023%, estan formats per ions de clor, sodi i magnesi que per contra són els majoritaris en els mars (Mook et al., 2002).

En els rius també hi podem trobar isòtops estables i radioactius dels elements. Els més significatius són els isòtops de l'aigua com el ²H (deuteri), ³H (triti) i el ¹⁸O, utilitzats per realitzar càlculs de balanços d'aigua, dinàmiques fluvials i per establir relacions entre les aigües superficials i subterrànies (Ward i Wurzel, 1968).

També podem trobar compostos dissolts com els isòtops de carboni ¹³C i ¹²C i els isòtops de l'estronci ⁸⁷Sr i ⁸⁶Sr que s'han anat utilitzant en estudis hidrològics, hidroquímics i ambientals (Mook et al., 2002).

1.1.2.2 Límit entre el sediment i la columna d'aigua

1.1.2.2.1 Descàrrega d'aigua subterrània al mar

La definició d'aigües subterrànies més utilitzada i citada al llarg del temps és "l'aigua que es troba dins de la zona saturada del material geològic" (Bates i Jackson, 1984; Fetter, 1988; Jackson et al., 2005). Encara que aquesta definició no parli de la composició d'aquesta aigua o el seu origen, són conceptes importants a l'hora d'examinar els processos que es produeixen a la zona costanera, on per exemple la composició de les aigües és variable.

L'afirmació anterior se centra només en la fracció d'aigües subterrànies d'origen terrestre (Kwon et al., 2014), que és l'aigua dolça que s'infiltra i va a parar al subsòl (fresh water), però també s'ha de tenir en compte la descàrrega d'aigua subterrània al mar (en anglès Submarine Groundwater Discharge, i anomenada SGD a partir d'ara). Per tant, la SGD pot provenir de l'aigua subterrània terrestre o de l'aigua de mar recirculada. En aquest últim cas, l'aigua contindria sals, així com altres components similars a l'aigua de mar (saline water) (Burnett et al., 2003).

Basant-se doncs, en la primera definició, Burnett et al. (2003) defineix la SGD com "qualsevol flux d'aigua en els marges continentals des del fons marí fins a l'oceà costaner, independentment de la composició o força motriu".

Per tant, utilitzarem el terme SGD per a representar totes les descàrregues directes de fluxos subterranis a través del contacte terrestre-oceànic (Figura 3), i el descriurem de la següent manera:

$$SGD = SFGD + RSGD,$$

on SFGD pertany a les descàrregues submarines d'aigua dolça i RSGD és la recirculació de l'aigua d'origen marí (Taniguchi et al., 2002).

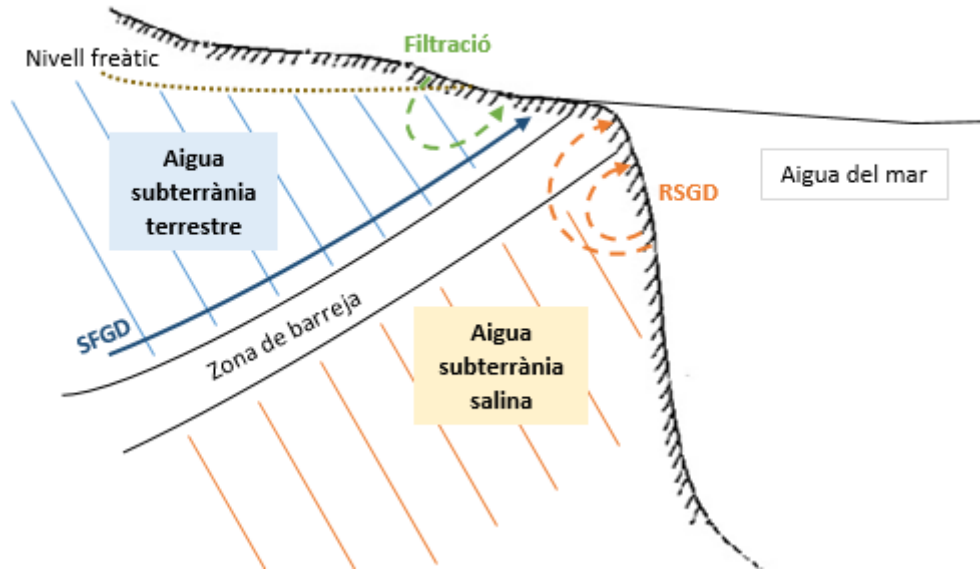


Figura 3: Representació dels fluxos de les descàrregues d'aigua submarina a l'oceà costaner. SFGD pertany a les descàrregues d'aigua subterrània terrestre i RSGD a la recirculació de l'aigua subterrània salina.

Font: Elaboració pròpia en base a P W Swarzenski et al. (2004)

La definició de SGD exclou processos com la circulació hidrotermal de les profunditats de l'oceà i l'abocament de fluids als marges convergents. Una definició àmplia de SGD hauria d'incloure també els fluxos a petita escala com ara el flux d'aigua entre porus, el flux de cisallament o la "bioirrigació".

Així doncs, finalment Moore (2010) completa la definició anterior excloent aquests fluxos a petita escala, quedant la SGD com "el flux d'aigua a través de marges continentals des del fons marí fins a l'oceà costaner, amb longituds d'escala de metres a quilòmetres, independentment de la composició o força motriu".

Importància de la SGD

La descàrrega d'aigües subterrànies al mar té una gran rellevància química i ambiental com a recurs hídric i com a font de nutrients i compostos als oceans. Aquests fluxos poden crear certs ecosistemes de microorganismes i fauna bentònica, però en grans concentracions poden afectar-los i provocar diversos efectes ecològics.

- Des del punt de vista hidrològic:

Les reserves d'aigua dolça de qualitat, no estan distribuïdes equitativament al llarg del planeta, fet que provoca una preocupació per abastir les necessitats primàries. Per aquest motiu la utilització de les aigües subterrànies costaneres pot ser una font rellevant d'aigua potable, en aquelles regions on l'accés als recursos d'aigua dolça és limitada o inexistent i on la dessalinització d'aquesta aigua sigui l'única possibilitat d'abastiment (Baken et al., 2011).

No obstant això la sobreexplotació de l'aigua pot generar problemes com la intrusió marina, esgotament de l'aigua dolça i subsidència dels terrenys. Per aquesta raó és necessària una gestió dels aquífers costaners i de les interaccions entre els entorns costaners i terrestres.

- Des del punt de vista biogeoquímic:

La descàrrega d'aigües subterrànies és un flux d'aigua dolça cap al mar capaç de transferir material des de la terra a l'oceà (Moore, 1996; 1999).

Aquestes descàrregues costaneres són una gran entrada de compostos dissolts (nutrients, metalls, contaminants...) i acostumen a estar més enriquides en soluts que no pas les aigües superficials, pel fet que romanen molt de temps en contacte amb l'aquífer.

Diversos estudis han demostrat que la SGD és una font important de nutrients a la costa, particularment en zones on no hi ha aportacions; com illes volcàniques (Hwang et al., 2005; Street et al., 2008) o àrees càrstiques (Garcia-Solsona et al., 2010; Young et al., 2008).

Aquests estudis de determinació dels nutrients de la SGD se centren en fraccions inorgàniques de nitrogen (nitrats, nitrits i amoni) fòsfor (fosfats) i silici (silicats), tot i que aquesta focalització pot subestimar altres aportacions de nutrients biodisponibles (Santos et al., 2009). La font principal de nitrats i fosfats és la descomposició de matèria orgànica, la dissolució de minerals i les aportacions antròpiques, en canvi els silicats provenen del mateix subsòl (Slomp i Van Cappellen, 2004).

Ara bé, aquests fluxos poden tenir implicacions ecològiques en els ecosistemes costaners com l'eutrofització de les aigües o les floracions algals nocives (Knee i Paytan, 2011).

També cal destacar enriquiment de metalls (Ag, Cd, Co, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb o Zn) de forma natural en àrees on es produeix una interacció prolongada amb l'aqüífer (Knee i Paytan, 2011) o a causa de lixiviats antròpics.

Aquests metalls són essencials i utilitzats pels organismes marins com a micronutrients (Torres et al., 2008), però en una concentració elevada superior als llindars, pot generar efectes perjudicials fins al punt d'afectar directament als humans a causa de la bioacumulació a nivells tròfics superiors (Laurier et al., 2007).

Trobem altres implicacions de la SGD com a transferència de carboni de la terra al mar en forma de carboni inorgànic i orgànic dissolts (Basterretxea et al., 2010; Santos et al., 2009). També pot ser font d'altres elements com el radi, estronci, urani i bari, entre d'altres, que s'utilitzen com a traçadors ambientals per determinar la SGD (Trezzi et al., 2016).

La determinació i observació de les descàrregues submarines a la costa pot ser un procés costós i difícil de mesurar, a causa del seu flux difús i heterogeni en l'espai i el temps, però malgrat tot, es poden utilitzar tres mètodes per detectar i quantificar aquests afloraments:

1. Models de flux hidrològic i d'aigua subterrània
2. Mesures directes a través de filtres (Lee, 1977; Bokuniewicz, 1980).
3. Traçadors químics com el ²²²Rn (Burnett i Dulaiova, 2003) o els isòtops de Ra (Moore, 1996).

Aquest treball però, es basa en el tercer mètode (concretament en l'ús del ²²⁴Ra com a traçador), explicat en més detall a l'apartat 2.3.

1.1.2.2 Intercanvi de porewater

En algunes definicions de SGD podem trobar el concepte de *porewater* (PW) com a sinònim, però *porewater* es considera l'aigua intersticial present entre els porus de les roques, el subsòl i el sediment marí (Figura 4); i que té la capacitat de fluir a través de substrats de permeabilitat elevada generant un intercanvi de partícules entre els sediments i la columna d'aigua (Santos et al., 2012).

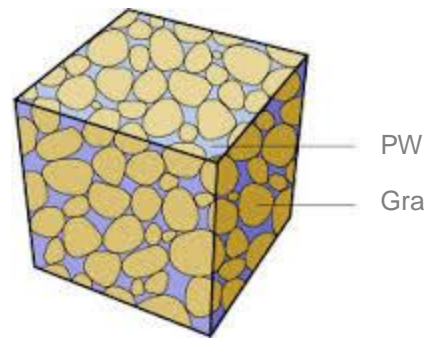


Figura 4: Representació de la porewater.

Font: Moss (2016)

Aquests elements intercanviats poden ser de tipologia molt diversa com partícules dissoltes, fines, productes de degradació, bacteris, virus i petits animals presents en el sediment (Huettel et al., 1996, 2007).

Els fluxos advectius o difusius de *porewater* (en anglès *Porewater Exchange* i anomenada PEX a partir d'ara) acostumen a produir-se a escales espacials petites, d'aproximadament cm, i són processos relativament ràpids que es duen a terme en qüestió de minuts però que poden arribar a afectar de manera directa a la biogeoquímica dels sistemes costaners.

Existeixen almenys 12 mecanismes que afavoreixen al flux de materials i compostos a través de la interfície d'aigua-sediment, tot i que són processos poc estudiats i difícils de quantificar. Per aquest motiu, la majoria d'estudis proporcionen informació sobre la taxa global de transport de la PEX sense tenir en compte aquests mecanismes de manera individual (Santos et al., 2012).

Alguns d'aquests mecanismes poden ser la influència de la "bioirrigació", vent, els corrents, el nivell del mar i l'onatge, les barreres impermeables i la convecció de l'aigua per la temperatura i les bombolles de gas. Tot i el gran nombre de processos que afecten la PEX, estudis recents donen rellevància a la "bioirrigació" com a factor difusiu d'elements presents en el sediment (Garcia-Orellana et al., 2014 i Rodellas et al., 2017).

La "bioirrigació" (Figura 5) és un procés en el qual la fauna bentònica és capaç de realitzar cavitats a l'interior del sediment provocant així una entrada d'aigua

de la capa més superficial i un intercanvi de substàncies entre la *porewater* i l'aigua circumdant (Aller, 1980). Mentre que la bioturbació inclou totes les pertorbacions físiques i els processos de transport realitzats per animals que afecten directament o indirectament les matrius de sediments. Aquests processos inclouen la reorganització i barreja de les partícules del sediment (Rhoads, 1963).

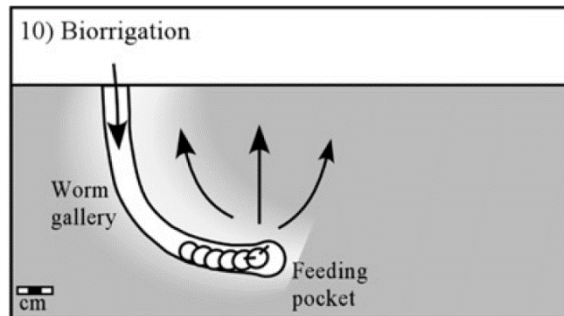


Figura 5: Funcionament de la "bioirrigació"

Font: Santos et al. (2012)

La gran importància de la "bioirrigació" és deguda al fet que afavoreixen la permeabilitat del sòl, l'oxigenació, la difusió d'elements i el cicle de nutrients, tot i que normalment només s'acostumen a produir en la capa més superficial del sediment, fins a 10 cm, i en alguns casos a fins a pocs metres de profunditat (Boudreau, 1998).

Els organismes capaços de realitzar aquests processos pertanyen a diversos fílums d'animals com serien mol·luscs, equinoderms i anèl·lids entre d'altres (Lohrer et al., 2004).

1.2 Isòtops de Ra com traçadors de SGD o PEX

En l'aigua subterrània trobem diversos elements conservatius i quantificables, que poden servir com a traçadors de processos ambientals i que ens permeten realitzar estudis sobre el moviment, la velocitat i la descàrrega d'aigües subterrànies al mar (Charette et al., 2008).

Troblem diversos tipus de traçadors, però els més utilitzats en hidrologia són els traçadors ambientals on destaquen els isòtops radioactius, que comprenen totes

les fonts de radioactivitat que no han estat originades per l'activitat humana (Ortega i Jorba, 1994).

Un dels traçadors de SGD i PEX més utilitzat és el Ra perquè presenta quatre isòtops amb períodes de semidesintegració molt diferents entre si que ens permeten estudiar processos de barreja d'aigües sempre que tinguin lloc en escales temporals diferents. El temps de semidesintegració ($T_{1/2}$) dels isòtops de Ra són els següents; ²²³Ra ($T_{1/2}$ = 11,43 dies), ²²⁴Ra ($T_{1/2}$ = 3,66 dies), ²²⁶Ra ($T_{1/2}$ = 1600 anys) i el ²²⁸Ra ($T_{1/2}$ = 5,75 anys). La presència d'aquests isòtops al subsòl dependrà de la geologia de la zona i del temps de residència de l'element dins de l'aqüífer (Moore, 2000; Moore, 2003; Moore et al., 2006).

Els isòtops de Ra es troben adherits a la matriu geologia del subsòl i es generen de manera contínua a partir de la desintegració radioactiva dels isòtops de tori (²³²Th, ²³⁰Th, ²²⁸Th, ²²⁷Th), que proven de la cadena de desintegració del ²³⁸U, ²³⁵U i ²³²Th (Rama i Moore, 1996) (Figura 6).

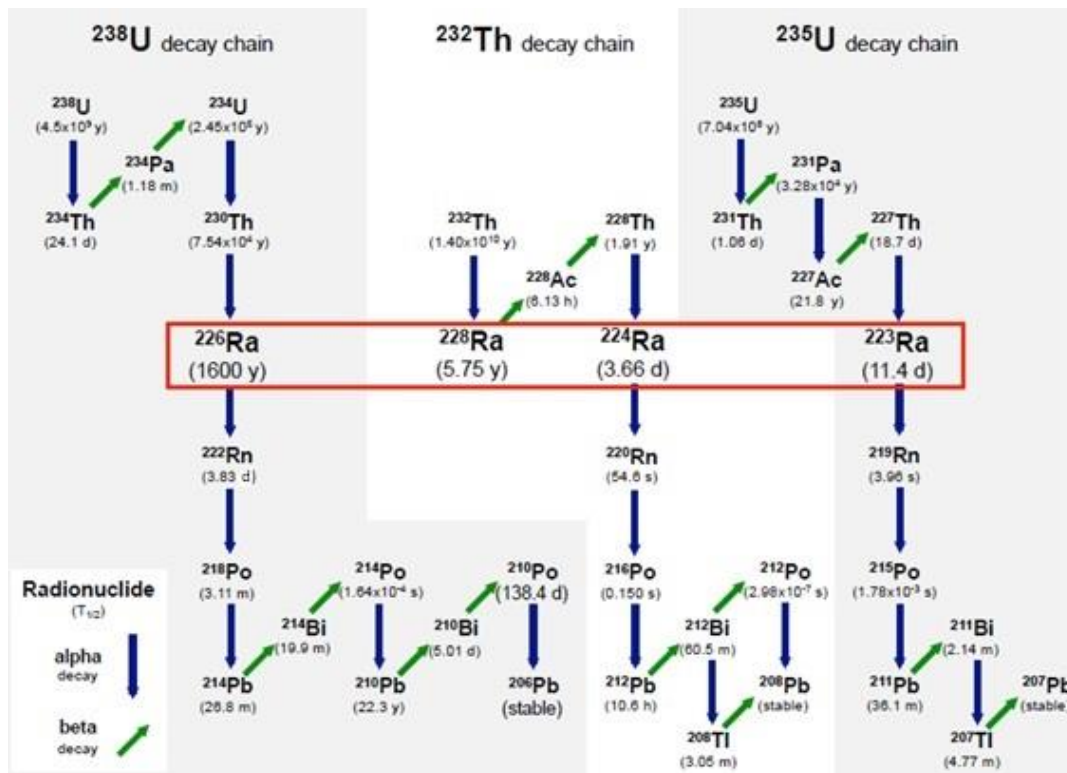


Figura 6: Cadenes de desintegració del ²³⁸U, ²³⁵U i ²³²Th. S'indica el tipus de desintegració (alfa o beta), el temps de desintegració en anys (y), dies (d), hores (h), minuts (m) o segons (s) i es marquen els isòtops de Ra en vermell.

Font: Rodellas (2014)

Tots ells tenen un comportament fisicoquímic similar caracteritzat per una baixa solubilitat en aigua dolça i per un augment de solubilitat en entrar en contacte amb l'aigua de mar (Moore, 2000). Aquesta diferència de solubilitat entre els dos medis és la que ens permet identificar un gradient de concentració que es pot utilitzar per quantificar les descàrregues subterrànies al mar.

Per aquest motiu, en les aigües del subsòl podem trobar el Ra adherit a la superfície de partícules en suspensió, sobretot en argiles i hidròxids de metalls (Krest et al, 1999; Porcelli i Swarzenski, 2003). En el mar el trobem dissolt gràcies a processos d'intercanvi catiònic com a competència entre els ions de Ra i de l'aigua de mar i la formació de complexos (Krest et al., 1999; Moore et al., 1995).

1.2.1 Avantatges i desavantatges

L'ús d'isòtops de Ra per a determinar processos oceanogràfics costaners té una sèrie d'avantatges i inconvenients, ja que aquest mètode és molt eficaç en alguns casos però no és aplicable en tots els contextos.

Un dels avantatges principals és que el Ra és útil per realitzar estudis regionals de SGD, perquè aquestes aigües estan molt enriquides en isòtops de Ra en comparació amb l'aigua de mar. D'aquesta manera les aigües subterrànies aporten Ra que s'integra en la columna d'aigua de manera natural creant un gradient de concentració que podem quantificar (Burnett et al., 2001).

A més a més els diferents temps de semidesintegració converteix al quartet d'isòtops de Ra com una potent eina per quantificar i diferenciar la SGD, processos de barreja i PEX a la costa quan es produeixin en diferents escales de temps. Aquest fet es degut a que els isòtops de vida llarga (²²⁸Ra i ²²⁶Ra) són ideals per quantificar processos de gran escala com seria la SGD i els de vida curta (²²⁴Ra i ²²³Ra) els processos ràpids, curts i de petita escala com la PEX (Rodellas et al., 2017). Tot i això, el fet que es necessiti que els processos es produeixin en escales de temps diferents pot provocar inconvenients a l'hora de mesurar i quantificar les entrades d'aigua al mar.

Un altre problema dels isòtops de Ra és que encara existeixen moltes incerteses sobre les seves principals fonts i pèrdues i la importància que tenen cadascuna.

Per aquest motiu molts estudis de SGD que utilitzen el Ra com a traçador es basen en supòsits que ometen un o més termes de l'origen o pèrdua del Ra o depenen d'un càlcul del temps de residència del Ra a les aigües (Moore, 1996; Charette et al., 2001; Hwang et al., 2005).

Les activitats dels isòtops de Ra a les aigües subterrànies costaneres estan controlades per diferents processos. S'inclouen reaccions d'intercanvi iònic, el cicle redox de manganès i ferro, la meteorització dels minerals de Ra i l'augment de la seva activitat degut a la desintegració dels seus predecessors. També varia segons les característiques de l'aqüífer, com ara el contingut de tori i urani que conté el substrat i el temps de trànsit de les aigües subterrànies (Charette et al., 2008). Per tant, podem dir que no poden ser aplicats en tots els contextos hidrològics i geològics.

Així mateix, també cal destacar que la desorció del Ra de la roca de la qual prové depèn de la mida del gra i de la porositat de la roca o del mateix sediment (Webster et al., 1995). També pot influir la temperatura (Rama i Moore, 1996), el pH de l'aigua (Sánchez i Rodríguez-Álvarez, 1999), el potencial redox i la presència d'òxids de ferro i manganès (Shaw et al., 1998; Moore, 1999; Charette i Sholkovitz, 2006). Per aquest motiu el Ra es pot mesurar a tot arreu, però les seves activitats poden variar molt.

Una altra limitació important és que els isòtops de Ra no solen estar enriquits en aigües completament dolces, és a dir, amb una baixa concentració de ions, ja que en aquest cas el Ra és absorbit per les partícules en suspensió en lloc de ser absorbit per l'aigua de mar mitjançant l'intercanvi catiònic.

De totes maneres, l'ús d'isòtops de Ra segueix sent un dels mètodes més utilitzats, però tot i els inconvenients que té, i a diferència d'altres mètodes, genera més fiabilitat i eficàcia per la quantificació integrada de la SGD.

Tots aquests inconvenients ens condueixen a avaluar les condicions i situacions en les quals ens trobem, i a pensar que hi poden haver altres factors que poden influir en els fluxos de Ra entre el sediment i la columna d'aigua i que fins ara no s'han tingut en compte. Un d'aquests factors és l'activitat de la fauna bentònica.

1.3 Fauna bentònica

El bentos és el conjunt d'organismes vegetals i animals que viuen al fons del mar: enterrats, semienterrats, fixes o que poden moure's sense allunyar-se del fons. Els organismes vegetals, siguin macroalgues o plantes marines, es fixen directament en el fons, mentre que els animals es poden ancorar, enterrar o reptar sobre ell. El seu hàbitat sol ser la superfície i pocs centímetres per sobre del material de fons oceànic format per sorra, roques o fang (Cifuentes et al., 1997).

Els invertebrats aquàtics tenen un paper de vital importància a la zona costanera, a causa de la seva influència en els cicles de nutrients i el flux d'energia del sistema (Lindegaard, 1994).

La distribució de la fauna bentònica està condicionada per diversos factors, entre els quals cal destacar les característiques fisicoquímiques de l'aigua, la diversitat de l'hàbitat (determinada principalment per la presència de macròfits i els canvis de substrat), les interaccions biòtiques de competència i depredació i les pertorbacions antròpiques (Martin, 2000).

Un altre factor que condiciona la composició, estructura i dinàmica de les comunitats bentòniques és la baixa concentració d'oxigen que sovint s'observa al sediment (Rabalais, 2013). Sota aquestes condicions d'estrès en el sediment, les zones litorals solen presentar comunitats millor estructurades i amb major nombre de taxons pel fet que les condicions reductores del sediment són menys intenses que en els estrats més profunds i normalment presenten major diversitat d'hàbitat, ja que s'hi troben macròfits submergits (Keddy, 2000).

A més a més, també són importants les condicions del medi: llum, temperatura, pressió i salinitat, així com el tipus de materials sedimentaris del fons, que varien de forma gradual segons la profunditat i la distància de la costa, generant una variable distribució dels organismes del bentos (Carrasco, 2009).

1.3.1 *La vida bentònica en fons sorrencs i fangosos*

Les característiques fisicoquímiques de la sorra canvien constantment, a diferència de les del fang, que són més estables. Els organismes són capaços de construir galeries permanents en els fangs, però la sorra pot variar amb cada moviment de l'aigua.

Els animals que viuen a la sorra han de ser capaços d'ensorrar-se immediatament en el cas de quedar exposats a qualsevol perill i restablir el contacte amb l'aigua superior tan aviat com sigui possible per poder dur a terme la respiració. En els llocs on la sorra es torna més fangosa poden existir organismes menys actius; però el fang, al mateix temps, conté menys oxigen dissolt. Per això, els factors que determinen la facilitat de penetració de l'aigua en el substrat (capacitat de drenatge), el contingut de l'aigua i la disponibilitat d'oxigen i matèria orgànica són limitants per a la presència d'espècies (Cifuentes et al., 1997).

Per tant, en ambdós tipus de substrat hi haurà moviment vertical d'organismes entre el sediment i els centímetres de la columna d'aigua més propers al substrat, perquè aquests puguin desenvolupar les seves funcions. Aquest moviment de la fauna bentònica provocarà la resuspensió de sediments, influint de manera directa en el PEX, que al mateix temps, pot afavorir l'intercanvi i incorporació d'alguns soluts cap a l'oceà.

Anteriorment s'han realitzat estudis que han demostrat, gràcies a l'ús del Ra com a traçador, que la SGD i el PEX tenen una gran importància pel que fa a les aportacions d'aigua i altres components al mar. S'ha demostrat l'existència de diversos processos i factors capaços d'incorporar Ra a la columna d'aigua.

2. Cas d'estudi: descripció de la Badia dels Alfacs

2.1 Localització

La Badia dels Alfacs o Els Alfacs, amb una superfície de més de 4.000 hectàrees, està al sud-est de la comarca del Montsià, que pertany a la província de Tarragona. Més concretament, es troba a la part meridional del delta de l'Ebre, compresa entre Sant Carles de la Ràpita i la Península de la Banya originada per la desembocadura de l'Ebre (Figura 7).



Figura 7: Imatge satèl·lit del sud d'Europa, seguit d'imatge satèl·lit de Catalunya amb els Alfacs senyalat i ampliació de la zona. La quarta imatge té la zona d'estudi delimitada.

Font: Elaboració pròpia en base a Google Earth

És la badia natural més gran d'Europa i forma una platja salvatge, anomenada platja del Trabucador i set platges urbanes. La badia està formada per la Punta de la Banya, una petita península formada a l'extrem meridional del delta de l'Ebre, unida al delta per la barra del Trabucador (una barrera de sorra de 4 quilòmetres, i entre 100 i 200 metres d'amplada).

2.2 Hidrogeologia

Des del punt de vista hidrogeològic, la zona d'estudi forma part del Delta de l'Ebre. El delta és una àrea que està formada per sediments al·luvials transportats aigües avall pel riu Ebre, que formen un delta triangular de fins a 20 km mar en dins originant la Badia dels Alfacs al sud de la desembocadura (Jordana et al., 2015).

Els sediments a la part més oriental i meridional es componen principalment de sorres, mentre que a la conca central i a la zona nord són sediment de gra fi dipositat a causa de les entrades al·lòctones (Maldonado, 1972).

Per altra banda, la Badia dels Alfacs és un cos d'aigua semitancat i parcialment aïllat del mar Mediterrani, on l'únic punt de connexió i d'intercanvi d'aigües es produeix degut a una obertura d'uns 2,5 km a la part meridional de la badia.

La profunditat de la badia és variable, on a les zones costaneres és d'entre 0 i 1,5 m i a les parts més centrals entre 4 i 6,5 m de profunditat (Rodellas et al., 2017).

La principal aportació d'aigua prové dels canals de reg (Figura 8) dels arrossars que cobreixen el 72% de la zona del Delta de l'Ebre (Ochoa et al., 2013), ja que la precipitació mitjana anual varia entre els 550 mm i 900 mm. Els màxims de precipitació es donen a la tardor mentre que els mínims a l'estiu (Servei Meteorològic de Catalunya).

El 70% de les entrades d'aigua dolça que rep la Badia dels Alfacs arriben a través de tres canals principals: el canal de la Séquia de l'Ala, el canal de l'Encanyissada i el canal General (Bagès, 2017).

La badia té una dinàmica molt diferenciada pel cultiu estacional de l'arròs on la major part d'entrades d'aigua es produeixen a l'estiu.

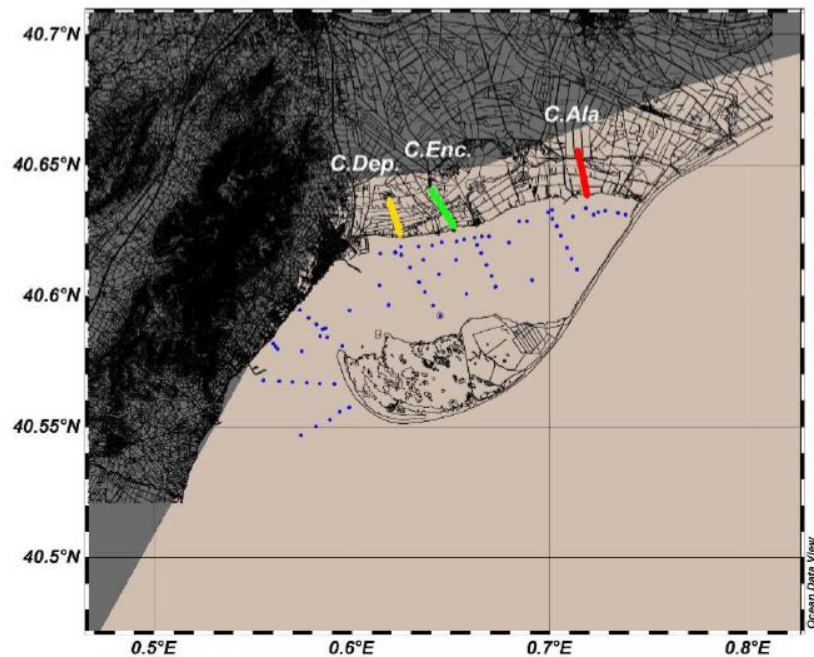


Figura 8: Situació dels tres canals principals d'aportació d'aigua dolça. C.Dep., C.Enc. i C.Ala es refereixen al canal General, el canal de l'Encanyissada i el canal de la Sèquia de l'Ala respectivament.

Font: Laura Bagès Yánez (2017)

Els canals es troben oberts entre els mesos d'abril i gener, de manera que de gener a abril els canals es tanquen i quasi no aporten aigua dolça a la badia i la principal aportació són les precipitacions i la SGD. Aquest fet provoca forts gradients de salinitat que afecten de manera significativa a la hidrodinàmica de la badia.

Durant els mesos que els canals estan tancats les distribucions són força homogènies, en canvi quan els canals estan oberts es produeix una estratificació de la columna d'aigua, on l'aigua superficial presenta una salinitat inferior a causa d'aquesta aportació d'aigua dolça dels canals.

El sector sud es troba menys influenciat per l'abocament d'aigua dolça provinent dels canals de desguàs dels arrossars que el sector nord. En aquesta part, l'entrada de l'aigua marina es fa per la zona connectada amb el mar obert i presenta una estratificació bastant definida (les zones més profundes són les de major salinitat).

2.3 Flora marina

Quant a la flora marina de la Badia dels Alfacs trobem diverses espècies de fanerògames marines i algues com *Caulerpa prolifera* i *Cymodocea nodosa*, les quals formen un ecosistema únic i la seva conservació és de vital importància tant per a la reproducció de les espècies marines com pel manteniment de la qualitat de les aigües (Viu l'Ebre, 2018).

Les comunitats vegetals submergides conformen un dels elements més significatius de la Badia dels Alfacs. Tant la seva ubicació com la seva abundància estan directament relacionades amb les característiques físiques, químiques i biològiques dels ecosistemes, per tant el seu coneixement permet establir les condicions actuals en les quals es troben els ecosistemes on viuen.

Segons un estudi finançat pel Parc Natural del Delta de l'Ebre, les úniques zones on es poden trobar macròfits marins es troben a la vorera de la badia, ja que la cubeta central és massa profunda i l'aigua és massa tèrbola perquè hi puguin viure. Es poden trobar associacions vegetals formades únicament per la fanerògama marina *Cymodocea nodosa*, o d'altres vegades acompanyada per l'alga verda *Caulerpa prolifera* (Figura 9).



Figura 9: Polígons de vegetació delimitats de la Badia dels Alfacs. En total trobem vegetació en una àrea de 1746,6 hectàrees. El polígon A té una àrea de 129 ha, el B de 182,7 ha, el C de 286,5 ha, el D de 38,1 ha, l'E de 661,2 ha i l'F de 449,1 ha. Tots els polígons pertanyen a *Cymodocea nodosa*, excepte els polígons A i F que pertanyen a *Cymodocea nodosa* i alga verda *Caulerpa prolifera*.

Font: Llagostera i Mascaró (2006)

Cymodocea nodosa presenta la biomassa d'arrels més elevada a la plataforma nord, seguida per la foliar i finalment la de rizomes. En canvi, a la plataforma sud presenta una biomassa d'arrels major a la de rizomes i per últim la foliar.

Segons les dades de cobertura i biomassa extretes de Llagostera i Mascaró (2006), *Cymodocea nodosa* és la fanerògama marina més estesa de la Badia dels Alfacs, amb una biomassa total d'unes 3117 tones de pes sec. D'aquestes, un 37% són en forma de biomassa foliar i el 63% de biomassa subterrània. Aquesta fracció no és homogènia, ja que a la plataforma nord el percentatge de biomassa aèria és superior a la subterrània, mentre que a la sud és a l'inrevés.

Si ens fixem en la cobertura vegetal, existeixen diferències notables entre les dues plataformes nord i sud de la badia. A la plataforma nord, es presenten praderies força contínues, de manera que presenten cobertures força elevades (entre el 70 i el 80%). Els de la plataforma sud en canvi, tenen valors de cobertura molt menors (40-60%), ja que les taques que presenten estan molt més disperses (Pérez i Camp, 1986).

Segurament per aquests motius, es poden diferenciar clarament dues zones dins la Badia dels Alfacs, diferenciació que respon a la influència de l'aigua dolça provinent de les activitats agrícoles que es duen a terme al Delta de l'Ebre, aportacions que es concentren a la zona de la plataforma nord (Llagostera i Mascaró, 2006) (Figura 8).

Aquestes diferències de biomassa de les arrels entre ambdues plataformes podrien ser l'explicació del perquè hi ha diferències entre els fluxos de Ra que hi ha a la plataforma nord i sud de la badia. Això, és degut al fet que en les zones on hi ha més biomassa d'arrels hi ha menys espai disponible pel moviment de la fauna bentònica, impedit d'aquesta manera el PEX.

2.4 Fauna marina

Al delta de l'Ebre trobem un gran nombre d'espècies de diferents taxons, gràcies a la diversitat d'hàbitats i al clima humit i temperat, ideal sobretot per a moltes espècies d'aus, ja que es produeixen condicions idònies per a la cria d'ocells limícoles, anàtids i fins i tot per espècies migratòries.

Als Alfacs també hi ha altres comunitats marines com peixos associats als macròfits marins on destaquen diferents espècies com l'agulleta de riu (*Syngnanthus abaster*) i el gobi de fang (*Gobius paganellus*). Aquesta zona humida també allotja una important població de fartet (*Aphanius iberus*). Recentment s'ha localitzat una població de peix mòmia (*Fundulus heteroclitus*), espècie introduïda altament invasora i de la qual es porta seguiment i control (Viu l'Ebre, 2018).

Tot i que la fauna més aparent la trobem en la superfície del delta, també hi ha nombroses espècies bentòniques que viuen lligades al substrat marí i tenen una gran importància pel funcionament global de l'ecosistema.

Al llarg de la Badia dels Alfacs, inclosa la zona de la Punta de la Banya i Sant Carles de la Ràpita solem trobar-hi nombrosos gasteròpodes com *Tritia neritea*, *Ocenebra erinacea*, *Scala clathrus*, *Haminoea hydatis*, *Cerithium vulgatum*, *Tritia reticulata*, *Gibbula* i diverses espècies de bivalves com *Peronaea planata*, *Gari fervensis*, *Polititapes aureus*, *Ruditapes decussatus*, *Mactra* i *Loripes orbiculatus*. Tot i això hi ha espècies menys abundants de gasteròpodes com *Oxynoe olivacea* i de bivalves com *Scrobicularia plana* i fins i tot espècies protegides com la nacra, *Pinna nobilis*.

D'aquestes espècies bentòniques, la gran majoria (90%) corresponen a mol·luscs, i molts exemplars són bivalves (Palacín et al., 1991).

La caracterització de la flora i fauna bentònica és necessària i de gran importància per tal d'establir els hàbitats de les espècies i per determinar les diferències de diversitat i nombre d'espècies al llarg de la badia.

3. Estudi previ

Un estudi de gran rellevància realitzat a la Badia dels Alfacs és l'article de Rodellas et al. (2017), en el qual es mostra clarament l'ús dels isòtops de Ra per diferenciar SGD i PEX sempre que els dos processos es produeixin a diferents escales temporals.

Més concretament, l'estudi mostra com els isòtops de Ra de vida curta, com seria el ^{224}Ra , permeten quantificar els processos curts, ràpids i de petita escala com la PEX, en canvi, per altra banda els isòtops de vida llarga permeten traçar processos de llarga escala com la SGD.

A més a més, en aquest estudi es van realitzar tres mostrejos en diferents estacions de l'any on es va poder observar una variació en la concentració dels isòtops de Ra al llarg de tota la badia i una forta estacionalitat en els isòtops de Ra de vida curta, on a l'estiu les concentracions arriben a ser fins a 5 vegades més elevades que a l'hivern.

Si ens centrem més específicament diversos punts situats al llarg de la badia com podrien ser ST4, ST5 i ST6 i analitzem els resultats obtinguts referents a la concentració de ^{224}Ra , podem observar les diferències anteriorment descrites (Figura 10).

Tots els punts escollits es troben situats a l'est de la badia però es diferencien per la distància respecte la costa. Pel que fa a ST4 està situada a una zona poc profunda i propera a la costa, ST5 es troba en una zona més profunda i central de la badia i per últim ST6 se situa a la Punta de la Banya.

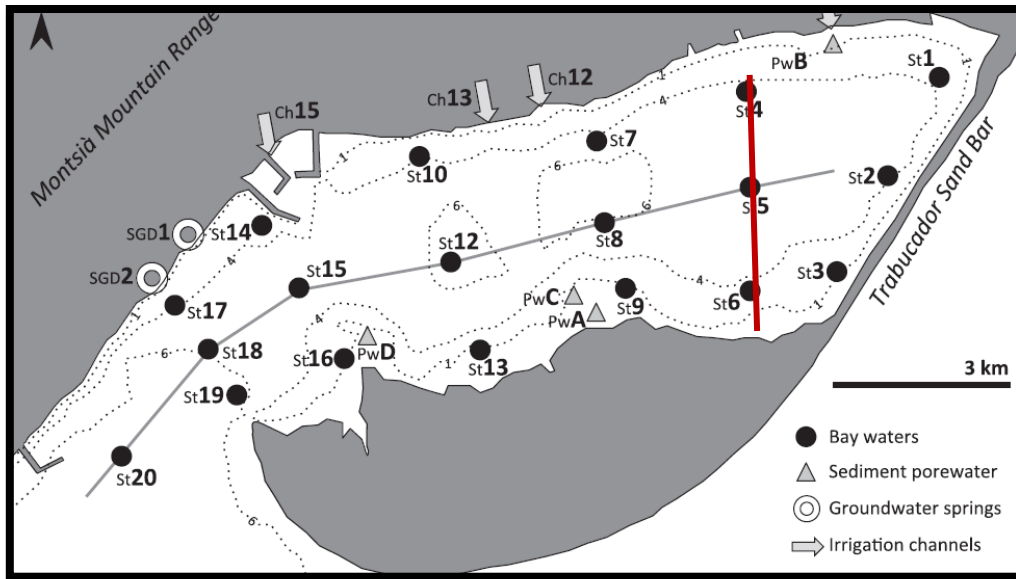


Figura 10: Mapa de la Badia dels Alfacs on es mostren tots els mostrejos realitzats en l'estudi de l'article de Rodellas et al., (2017), juntament amb les canals d'irrigació i les descàrregues d'aigües subterrànies al mar. La línia vermella mostra els tres punts analitzats en aquest apartat.

Font: Rodellas et al. (2017)

En aquestes tres estacions observem clarament una diferència espacial i una dinàmica estacional que es produeix de manera homogènia al llarg de la badia (Figura 11). En tots els mostrejos realitzats al llarg de l'any s'observa com l'estació situada més a prop de la costa, ST4, és la que té menors concentracions de ^{224}Ra i en canvi ST6, l'estació més situada més lluny de la línia de costa, la que en té més.

D'altra banda, també s'observen clares diferències entre els mesos de febrer i juny, és a dir, s'observen variacions pel que fa a les concentracions de ^{224}Ra entre l'estiu i l'hivern.

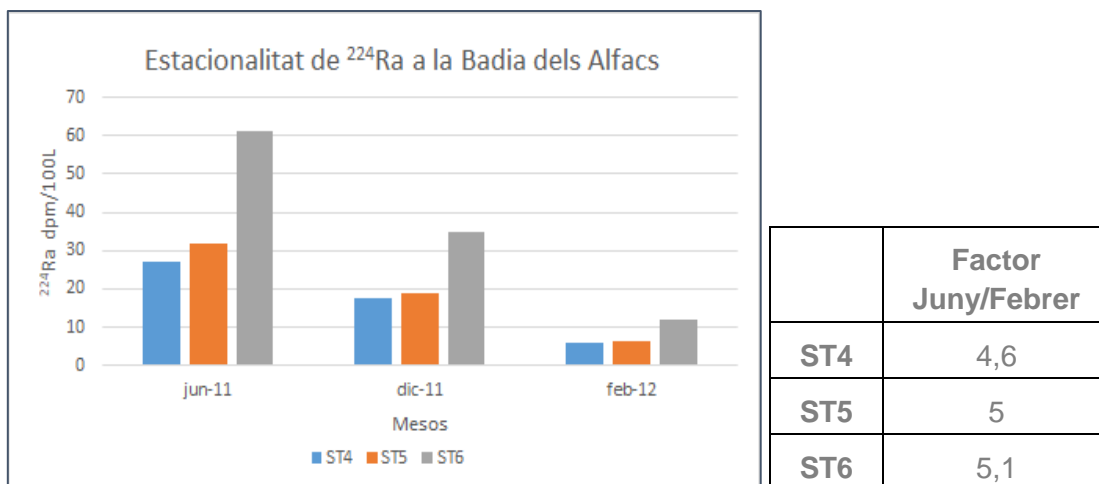


Figura 11: Gràfic on es mostra la concentració de ²²⁴Ra en diferents zones de la badia i segons l'època de l'any. A la taula es mostren les diferències entre els mesos de juny i febrer de les diverses estacions de mostreig.

Font: Elaboració pròpia en base Rodellas et al. (2017)

Els càlculs de les diferències entre juny i febrer mostren com hi ha entre 4 i 5 cops més concentració de ²²⁴Ra a l'estiu que a l'hivern en els punts analitzats i que la zona més llunyana és en la que s'aprecia més aquesta diferència.

Per tant, gràcies a aquest estudi podem dir que a la zona més propera de la costa trobem menys concentració de ²²⁴Ra respecte a les zones més llunyanes i properes a la Punta de la Banya.

Aquestes fluctuacions anuals i generalitzades en la concentració ²²⁴Ra són les que fan pensar en la possibilitat que hi hagi certs factors capaços de generar aquestes variacions en la badia, fet que genera i dona lloc al nostre estudi actual basat en la "bioirrigació" per part de la fauna bentònica com a factor causant d'aquestes diferències en la badia i en l'estudi de dues zones diferents.

4. Justificació del projecte

El cicle hidrològic està descrit pel continu moviment de l'aigua per la hidrosfera en els tres estats de la matèria, líquid, sòlid i gas, i encara que cadascun dels elements que el formen és igual d'essencial i necessari, durant molts anys, aquest cicle s'ha enfocat des d'un punt de vista terrestre deixant de banda els mars, oceans i reservoris d'aigües subterrànies pel fet que el seu estudi és molt laboriós i de gran cost econòmic.

Tradicionalment s'ha pensat que la deposició atmosfèrica i l'escorrentia fluvial representaven les principals fonts externes de nutrients al mar, mentre que la descàrrega d'aigües subterrànies al mar ha estat pràcticament ignorada.

Rodellas et al. (2015), demostraren la importància de la descàrrega d'aigües subterrànies al mar com a font de nutrients als ecosistemes marins mediterranis, i tot i que altres estudis han estimat la descàrrega d'aigua subterrània terrestre, mai han avaluat el flux total de l'SGD i les aportacions de compostos dissolts i nutrients que aporta aquesta al mar Mediterrani.

Un dels àmbits de recerca per conèixer els processos oceanogràfics i costaners, es basa en l'ús d'isòtops de Ra com a traçadors (Charette, 2001). Per quantificar les aportacions subterrànies d'aigua al mar, centenars d'estudis utilitzen el Ra com a traçador perquè les aigües subterrànies estan força enriquides en aquest element.

Tot i que l'isòtop ^{228}Ra és el traçador més útil per quantificar la descàrrega d'aigua subterrània al mar a escala de tot el mar Mediterrani, a escala local el més emprat sol ser el ^{224}Ra . Tanmateix estudis recents han demostrat que el ^{224}Ra també és un traçador de PEX i permet estudiar, entre d'altres, la influència que té la fauna bentònica en l'intercanvi de partícules i compostos entre la *porewater* i la columna d'aigua, ja que aquests processos es duen a terme en una escala temporal més petita, similar al període de semidesintegració del ^{224}Ra (3,63 dies).

Estudis recents realitzats a la Badia dels Alfacs han permès observar una variació de la concentració dels isòtops de Ra al llarg de tota la badia i una forta estacionalitat en els isòtops de curta durada, on a l'estiu les concentracions són

fins a 5 vegades més elevades que a l'hivern (Rodellas et al., 2017). També s'ha vist que els fluxos de PEX són relativament més alts que no pas les aportacions fetes per la descàrrega d'aigües subterrànies, fet que podria estar vinculat als cicles estacionals de la bioturbació i "bioirrigació" de la fauna bentònica present en el sediment.

Per aquest motiu, sorgeix la idea que poden estar intervenint diversos mecanismes, afavorint així al flux de materials i compostos a través de la interfície d'aigua-sediment generant així diferències espacials i estacionals. Aquests mecanismes són la influència de la "bioirrigació", vent, els corrents, el nivell del mar i l'onatge, les barreres impermeables i la convecció de l'aigua per la temperatura i les bombolles de gas (Santos et al, 2012).

Partint d'aquí, sorgeixen les dues hipòtesis del nostre projecte, la primera, centrada en l'article de Rodellas et al., (2017), es basa en què a la zona més llunyana a la costa (ST2 en el nostre estudi i localitzada a la Punta de la Banya) trobem més ²²⁴Ra a la columna d'aigua que a la zona més propera (ST1 en el nostre estudi i localitzada a prop de la Torre de Sant Joan). Com a conseqüència d'aquesta primera hipòtesi, sorgeix la hipòtesi principal de que la fauna bentònica és un factor clau capaç d'afavorir l'entrada de ²²⁴Ra des del sediment a la columna d'aigua i generar les diferències estacionals observades entre estiu i hivern.

D'aquesta manera, gràcies a l'ús del ²²⁴Ra com a traçador, es pot extrapolar i quantificar altres entrades d'aigua a través del sediment, ja que amb la incorporació d'aquesta aigua a la columna d'aigua poden incorporar-se altres compostos químics com ara nutrients. Aquest fet és de gran importància, ja que la incorporació de nutrients a la columna d'aigua pot permetre proliferacions de fitoplàncton.

Un increment abrupte del fitoplàncton pot provocar floracions algals nocives (anomenades FAN), les quals segreguen toxines que són alliberades a l'entorn marí. Aquestes toxines són nocives pels peixos i els mol·luscs, i poden arribar a ser mortals per l'ésser humà si aquest consumeix aliments marins contaminats. Per tant, les FAN poden ocasionar greus problemes econòmics al sector pesquer i al turisme.

Fa uns anys, es va realitzar un projecte anomenat Aqualight que va tractar el problema sobre les FAN investigant a la Badia dels Alfacs (CORDIS, 2015). En aquest projecte es van tenir en compte els possibles processos que poden influir en l'aparició d'aquestes floracions als Alfacs. A més a més, també van descriure les condicions ambientals favorables pel seu desenvolupament i de quina espècie de fitoplàncton es tractava.

Així doncs, es van estudiar processos a petita escala com la barreja de la columna d'aigua (a causa de turbulències) i la disponibilitat de la llum. També es van descriure diferents escenaris amb diferents condicions meteorològiques i es va demostrar que el vent dèbil disminueix la probabilitat de FAN, i en canvi els vents forts alteren la circulació normal de la badia i poden provocar un augment en el temps de permanència del fitoplàncton als Alfacs i per tant augmenta la probabilitat de FAN, ja que a la badia hi ha més nutrients que al mar i augmenta la quantitat de fitoplàncton.

Malgrat tot, en aquest projecte només van tenir en compte les condicions meteorològiques, la radiació solar i la barreja de les aigües, i no es va tenir en compte ni l'SGD ni el PEX. Com s'ha demostrat la importància d'aquests dos fenòmens com a font de nutrients al mar, i per tal d'evitar que es produeixin FAN, també s'haurà de contemplar aquesta entrada de nutrients. A més a més, la SGD i el PEX poden suposar l'entrada d'altres compostos perjudicials per al sector pesquer i el turisme com contaminants.

En definitiva, determinant els fluxos de ²²⁴Ra tant de la PEX com de la SGD que s'incorporen a la columna d'aigua es podria equiparar a estudiar l'entrada d'altres compostos dissolts i la influència que poden tenir aquestes a la zona dels Alfacs. També es podrà determinar si l'activitat de la fauna bentònica juga un paper important en aquestes aportacions, ja que molts estudis realitzats no han tingut en compte cap d'aquests factors com a font de nutrients o altres partícules.

5. Objectius

Objectius generals

- Avaluar si la fauna bentònica afavoreix l'intercanvi de ^{224}Ra entre el sediment i la columna d'aigua basant-se en l'estudi de la Badia dels Alfacs.
- Analitzar els factors que poden generar diferències espacials i estacionals a la Badia dels Alfacs.

Objectius específics

- Identificar les espècies de fauna bentònica i flora que trobem en cada punt de mostreig.
- Determinar la mida de les partícules del sediment juntament amb l'activitat total del Ra del sediment intercanviable amb la columna d'aigua en els dos punts de mostreig.
- Determinar els perfils de ^{224}Ra en el sediment analitzat en les diferents zones de mostreig.
- Determinar els diferents fluxos de ^{224}Ra en funció de la presència d'algues, fauna bentònica o sediment marí en cadascun dels punts mostrejats.
- Analitzar les diferències en els fluxos de ^{224}Ra entre els dos punts i comparar-los amb dades extretes d'altres estudis previs i de les fonts d'informació.

6. Metodologia

6.1 Esquema de la metodologia

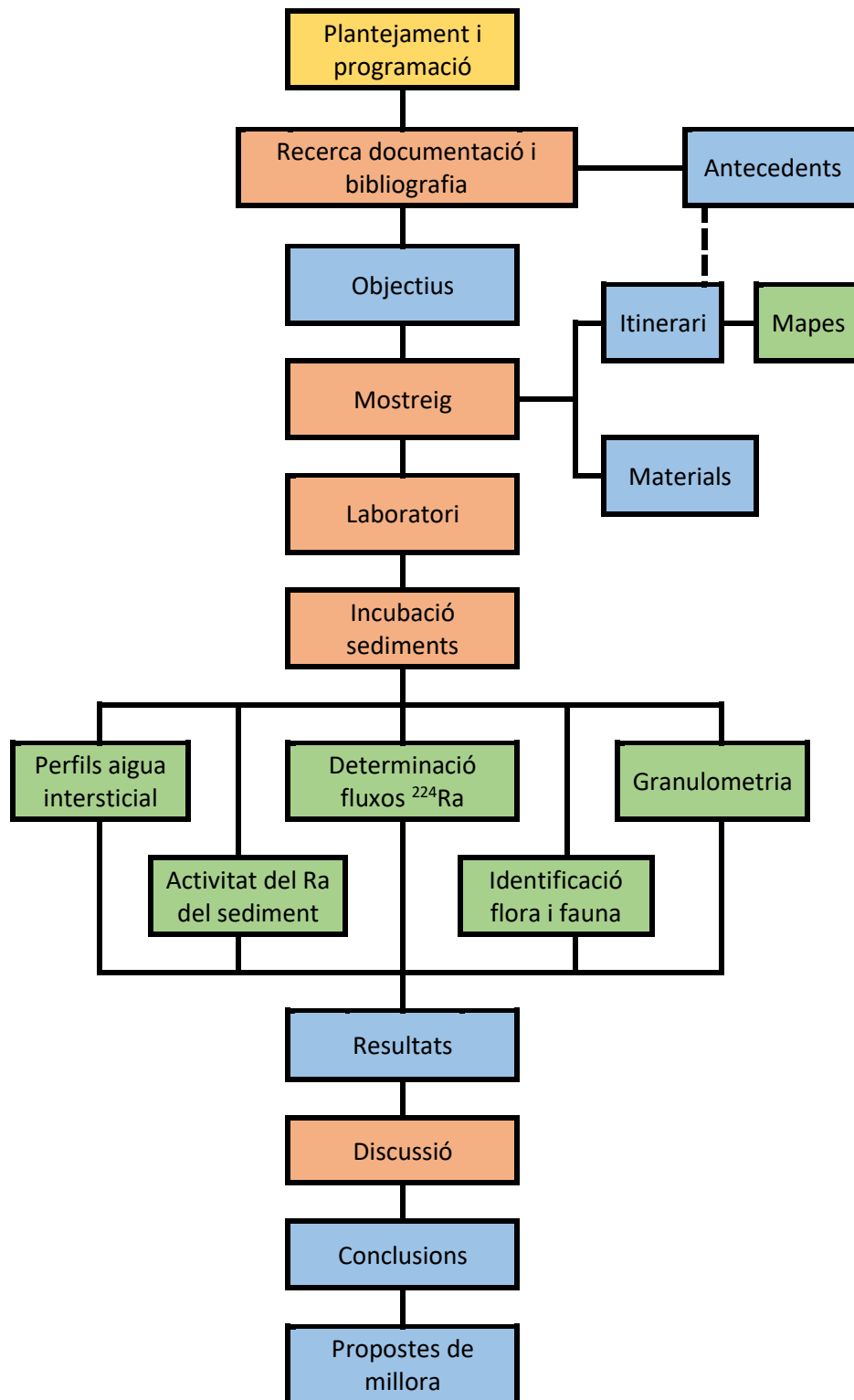


Figura 12: Esquema de la metodologia

Font: Elaboració pròpia

La metodologia seguida en la realització d'aquest projecte es troba estructurada en la Figura 12.

Per tal d'aconseguir un bon resultat en la metodologia, primerament és necessari tenir una informació prèvia sobre el tema a tractar, i per tant, la recerca de documentació i bibliografia és un dels punts clau del treball.

A continuació, per poder realitzar la part experimental al laboratori, s'han fet mostrejos a la Badia dels Alfacs per mostrejar els sediments, l'aigua i la flora i fauna característica de la zona.

Un cop al laboratori i amb les mostres obtingudes s'ha definit quin és l'objectiu general, del qual n'han derivat uns d'específics.

Quan s'ha enllestit la feina al laboratori, ha arribat el moment de començar a redactar els resultats del treball i la seva discussió.

6.2 Treball de camp

A part de la recerca bibliogràfica, l'estudi s'ha basat en un treball experimental mitjançant una sortida al camp i una part experimental al laboratori (explicada a l'apartat 6.3).

El mostreig es va realitzar el dia 26 d'octubre del 2017, i la part del laboratori des del 27 d'octubre del 2017 fins al 28 de febrer del 2018.

6.2.1 Itinerari

Per una banda, s'ha realitzat un conjunt de mapes localitzant i establint els límits de la zona d'estudi dins la Badia dels Alfacs (Figura 7) amb el Google Earth i s'han localitzat les dues estacions on s'han dut a terme els mostrejos (Figura 13).

En primer lloc es va fer un mostreig al sector nord de la badia, a prop de la Torre de Sant Joan, que ha sigut anomenat estació 1 (a partir d'aquest moment ens referirem com a ST1). El segon mostreig, es va realitzar a prop de la banya, al sector sud de la badia, i ha sigut anomenat anomenada també estació 2 (a partir d'aquest moment ens referirem com a ST2).

A cadascuna de les estacions es van agafar mostres de sediments, aigua i fauna i flora viva. També es van realitzar els perfils de ^{224}Ra de la *porewater*.

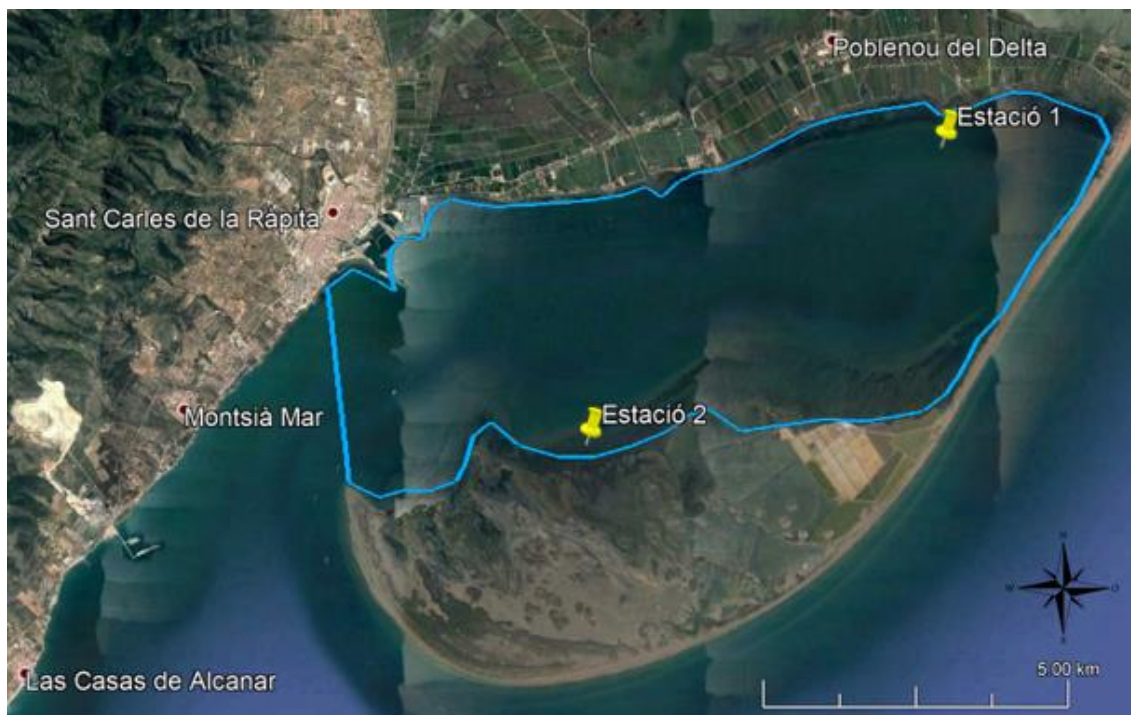


Figura 13: Imatge satèl·lit amb les estacions de cada mostreig indicades

Font: Elaboració pròpia en base a Google Earth

6.2.2 Materials utilitzats per a la recollida de mostres

Per arribar als punts d'interès, vam disposar d'una barca on prèviament havíem posat els materials necessaris per fer el mostreig. Les mostres van ser recollides amb pala i lleteres. D'allà vam dipositar-les a diferents recipients, que acabarien sent els nostres sistemes d'incubació.

De ST1 vam recollir tres tipus de mostres: a la primera es va filtrar amb una xarxa el sediment per fer el control (una peixera que només tingués sediment i aigua); la segona tenia sediments, fauna i aigua; i la tercera amb sediments, fauna, flora i aigua (Figura 14).

A més a més, vam realitzar el perfil de l'aigua intersticial i anotar les dades de localització del GPS i l'hora d'extracció de les mostres.

De ST2 vam recollir cinc mostres: tres amb les mateixes característiques que les de ST1 i dues amb sediment, fauna i aigua, on a més, en una vam afegir 50

caragolines de l'espècie *Tritia reticulata*, i a l'altra vam afegir 10 caragols d'una mida més gran de l'espècie *Hexaplex trunculus*. D'aquesta manera podríem comparar la incubació de sediments amb fauna amb els dos sistemes d'incubació on havíem augmentat el nombre d'individus, per tal de veure si l'activitat bentònica d'aquestes espècies era significant o no i s'observava una diferència significativa en el flux de ²²⁴Ra.

En aquesta estació també es va realitzar el perfil de l'aigua intersticial, anotar la localització i l'hora d'extracció de les mostres.

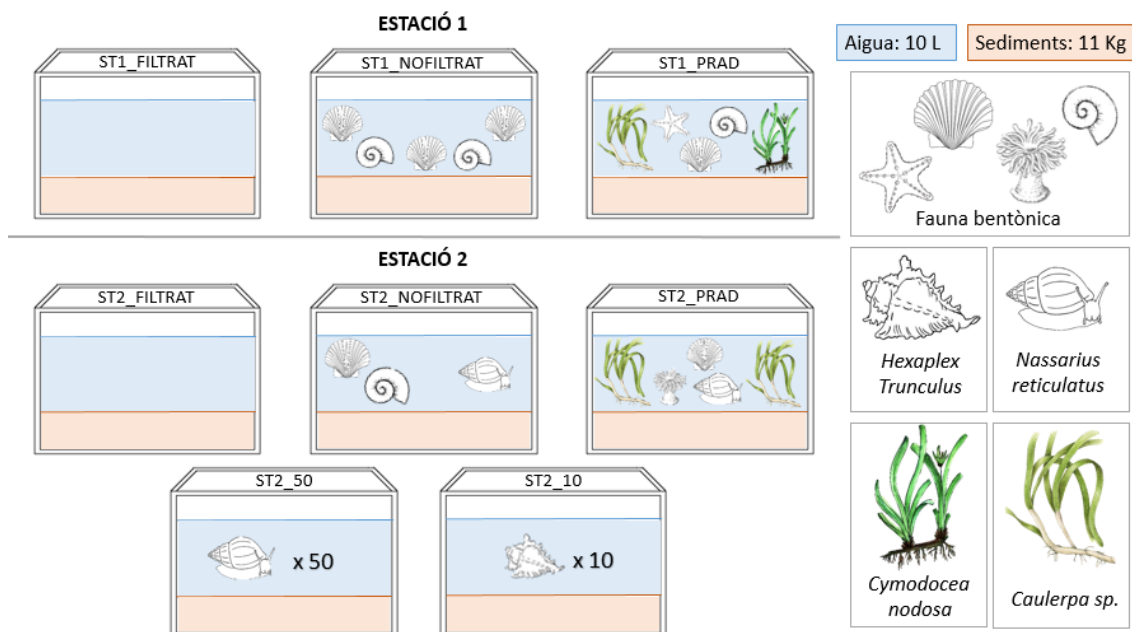


Figura 14: Distribució de les mostres. L'estació 1 s'anomena ST1, i l'estació 2 s'anomena ST2. A sobre de cada peixera es pot veure el codi que es va utilitzar per identificar-les.

Font: Elaboració pròpia

A més a més, un cop filtrats els sediments amb les malles, vam aprofitar per agafar mostres de la flora i fauna bentònica presents en les dues estacions per tal d'identificar-les i establir comparatives entre els dos punts de mostreig. També vam recollir aigua de les dues estacions, mitjançant bidons, per tal d'omplir els sistemes d'incubació un cop al laboratori.

6.3 Treball al laboratori

6.3.1 Identificació de la flora i fauna

La flora i la fauna recollida durant la sortida de camp va ser analitzada i classificada a escala de gènere i espècie en la majoria dels casos.

Per facilitar el procés vam tornar a filtrar totes les mostres recollides i vam seleccionar la fauna amb les pinces, separant-les segons el gènere i l'espècie (Figura 15).

Pel que fa a determinació i descripció de la fauna bentònica vam utilitzar diversos llibres com a guia i diversos articles realitzats a la Badia dels Alfacs (com per exemple el llibre Fauna i flora de la mar Mediterrània). A més a més, vam comptabilitzar el nombre d'individus presents de cada espècie per tal de determinar posteriorment l'abundància i la importància de cada espècie en la badia i estudiar la relació d'aquests amb la difusió del ^{224}Ra cap a la columna d'aigua.



Figura 15: Identificació de la fauna bentònica dels dos punts de mostreig de la Badia dels Alfacs.

Font: Elaboració pròpia

Aquest procediment el vam realitzar per les mostres obtingudes en les dues estacions i també vam identificar les espècies de flora presents en els dos punts.

A més a més, per facilitar la interpretació dels resultats vam determinar l'hàbitat i l'alimentació de cada espècie, ja que aquests poden ser uns factors importants que poden influir en la "bioirrigació" i bioturbació del sediment i generar així un flux de ^{224}Ra i altres elements cap a la columna d'aigua.

Per aquest motiu conèixer quin és el seu hàbitat i quins mecanismes utilitzen per a l'obtenció d'aliment ens permetrà realitzar una valoració de les espècies que influeixen més en la resuspensió del sediment i obtenir unes conclusions més precises de la importància d'aquests organismes en els fluxos oceànics.

Per realitzar aquesta classificació ens hem basat en la informació extreta de WoRMS (World Register of Marine Species) de les espècies abundants en el punt de mostreig, centrant-nos sobretot en l'estudi de les espècies amb un nombre major a 5 individus en cada punt, considerant-les així com a característiques de la zona i amb major influència en els processos de difusió.

La classificació realitzada ha estat basada en l'hàbitat i l'alimentació i ha estat la següent:

- Filtradors o suspensívors: Organismes que s'alimenten de les partícules en suspensió de l'aigua.
- Sedimentívors superficials: Organismes que s'alimenten de restes de matèria presents en la capa superficial del sediment i el seu hàbitat està lligat a la superfície del sediment.
- Sedimentívors enterrats: Organismes que s'alimenten de substàncies presents en el sediment. Aquests tenen la capacitat d'excavar i enterrar-se per buscar refugi o aliment.
- Depredadors: Organismes que s'alimenten d'altres organismes vius.
- Carronyaires: Organismes que s'alimenten d'organismes un cop moren.
- Herbívors: Organismes que s'alimenten de restes d'algues o fanerògames marines.

6.3.2 Granulometria

Per realitzar una anàlisi de la granulometria del sediment dels dos punts de mostreig vam utilitzar 4 tamisos diferents per tal d'aconseguir separar les partícules segons la seva mida.

Primer de tot vam assecar les mostres a 65 °C i vam pesar 100 g de sediment de cadascuna de les mostres.

A continuació vam apilar en una columna, els tamisos en funció del seu diàmetre, de manera que en la part de dalt teníem els de major diàmetre, a la part inferior els de menys diàmetre, i al final un recipient per recollir les partícules que passessin a través de l'últim tamís. En el nostre cas vam utilitzar tamisos de 0,5, 0,25, 0,125 i 0,063 mm col·locats en aquest ordre.

Un cop apilats i ordenats vam afegir la mostra a la part superior i ho vam col·locar en una tamisadora circular amb vibració durant 10 minuts, per tal que les partícules es barregessin correctament i anessin passant pel tamís (Figura 16).



Figura 16: Tamisos amb el sediment al laboratori

Font: Elaboració pròpia

Un cop acabat el temps, vam separar els tamisos i vam pesar la quantitat de sediment present en cada tamís, per tal de poder calcular els percentatges de les diferents mides de sediment i fer les gràfiques necessàries.

El procés el vam repetir pels dos punts de mostreig, per veure si existeix una relació entre la mida de les partícules i el flux de Ra dels nostres resultats i poder fer una comparativa entre el sediment dels dos punts de la badia.

6.3.3 Quantificació i determinació de les concentracions de ²²⁴Ra

Els sistemes d'incubació es va adequar per minimitzar els efectes negatius de les condicions de laboratori. En cada sistema es van instal·lar diversos airejadors per tal de simular l'entorn natural, afavorint així la circulació de l'aigua i la seva oxigenació, i vam cobrir cada sistema d'incubació amb paper film per evitar l'evaporació en excés.

Per la quantificació i determinació de les concentracions de ²²⁴Ra, vam acabar de classificar el sediment obtingut segons l'estació on havia estat recollit, de manera que cada peixera tingués 11 kg de sediment i 10 L d'aigua procedent de la badia, però prèviament filtrada per extreure tot el Ra que tingués. Així doncs, vam obtenir tres sistemes d'incubació per ST1 i cinc per ST2 amb la mateixa

quantitat de sediments i d'aigua però cadascuna amb unes característiques de sediment, fauna i flora determinades (Figura 12).

La setmana següent, vam posar els sistemes d'incubació a comptador zero (aconseguir un estat inicial, consisteix en extreure tot el ²²⁴Ra i tots els possibles elements residuals que es trobin a l'aigua i que puguin alterar els resultats filtrant l'aigua de cada incubació amb fibres de manganès), per tal d'iniciar així les primeres mesures de ²²⁴Ra.

En total, es van realitzar 6 mesures del flux de ²²⁴Ra del sediment en cadascun dels sistemes d'incubació. Una vegada vam filtrar l'aigua per extreure tot el ²²⁴Ra i obtenir unes incubacions sense ²²⁴Ra, es van prendre mesures al cap d'un dia, al cap de 3 dies des de la primera mesura, i així successivament cada 6, 9, 12 i 21 dies (Figura 17).

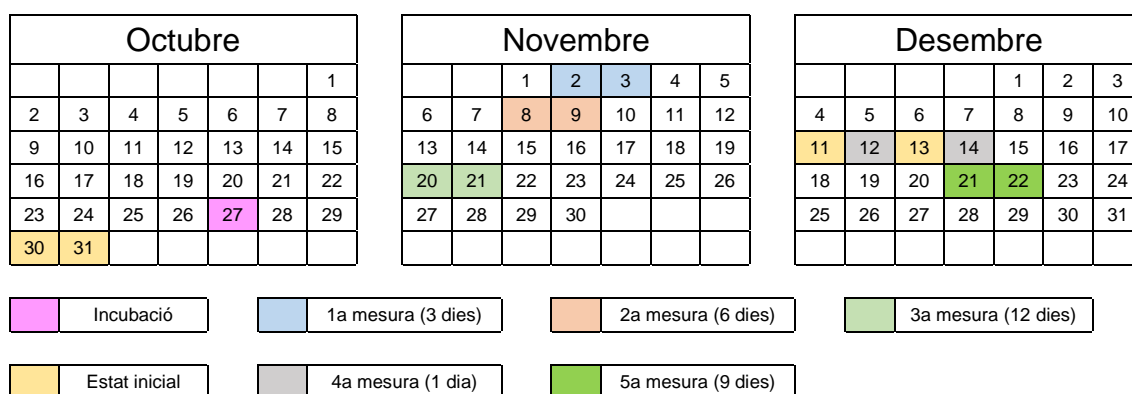


Figura 17: Calendari dates filtratge dels sistemes d'incubació

Font: Elaboració pròpia

Per obtenir el ²²⁴Ra present en la columna d'aigua i també per posar els sistemes d'incubació a zero d'activitat de Ra, és a dir, eliminar tot el ²²⁴Ra present en l'aigua, vam seguir el següent procediment:

Primer de tot, per bombar l'aigua vam utilitzar bombes peristàltiques unides a columnes cilíndriques de PVC amb fibra impregnada amb manganès (anomenada fibra de Mn) a l'interior, per tal de filtrar l'aigua i tornar-la ràpidament a la peixera sense alterar el sistema ni buidar-les completament.

Situàvem un tub en un extrem de la peixera tocant a l'aigua, per tal que la bombegés fins a la fibra i aquesta pogués absorbir el ^{224}Ra present en l'aigua. L'altre tub el col·locàvem a l'altre extrem per deixar una certa distància entre el tub que absorbia l'aigua amb Ra i el que l'expulsava sense Ra (Figura 18).

El temps necessari per filtrar tota l'aigua de la peixera el calculàvem en funció del cabal de cada bomba, que en el nostre cas, cadascuna era diferent. Tot i això, realitzàvem els càlculs com si en lloc de 10 L filtréssim 30 L, per tal d'assegurar-nos d'haver filtrat tot el volum d'aigua. Com que el temps que requeria filtrar 30 L de cada peixera era elevat i només disposàvem de quatre bombes, acostumàvem a filtrar-ne en un dia quatre i l'endemà les quatre restants.

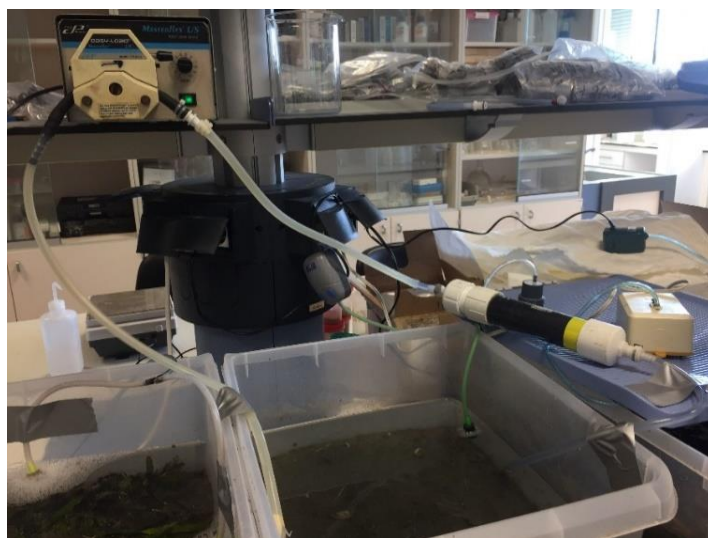


Figura 18: Muntatge al laboratori del moment de filtrat l'aigua dels sistemes d'incubació on s'observa la bomba peristàltica unida a la columna amb les fibres de Mn.

Font: Elaboració pròpia

Les columnes amb fibra acrílica impregnada amb MnO_2 (fibra Mn) van ser utilitzades per absorbir quantitativament el ^{224}Ra dissolt, tot i que també es poden utilitzar per absorbir altres metalls.

El pes necessari de les fibres és 25 g de pes sec per a cada columna, que s'introdueix amb cura a l'interior de les columnes, juntament amb fibra (blanca) a l'extrem superior per tal d'evitar l'entrada de partícules de mida elevada (com sòlids en suspensió) en contacte amb la fibra de Mn.

A continuació, vam connectar les fibres a la bomba peristàtica i ho vam filtrar deixant fluir l'aigua de manera lenta a l'interior de la columna per tal de maximitzar la superfície activa per l'absorció del Ra i distribuir molt millor l'aigua pel conjunt de la columna evitant la creació de canals prioritaris de pas de l'aigua.

Un cop filtrada tot el volum d'aigua 3 cops (30 L), trèiem les fibres de la columna i les esbandíem amb aigua destil·lada 3 cops, per rentar qualsevol partícula i sal marina que pogués interferir durant les mesures, i les assecàvem amb paper absorbent de manera que pesessin aproximadament 50 g en pes humit.

Després col·locàvem les fibres en bosses de plàstic adequadament etiquetades per no confondre-les i les posàvem a mesurar mitjançant el sistema RaDeCC.

Les fibres es van mesurar amb el sistema RaDeCC (*Radium Delayed Coincidence Counter*) (Figura 19), el qual està format per una cèl·lula de centelleig connectada a un fotomultiplicador per detectar la desintegració radioactiva; una bomba que bombeja contínuament heli a través de les fibres de Mn i connectada posteriorment a la cambra de centelleig; i un sistema electrònic que registra els recomptes i divideix els esdeveniments registrats en tres canals diferents ("Total", " ^{219}Rn " i " ^{220}Rn "), depenent del temps transcorregut entre dues posteriors desintegracions (Rodellas, 2014).

En aquest equip es mesuren les partícules alfa produïdes per la desintegració del Rn en Po a la cèl·lula de centelleig, utilitzant la diferència entre les constants de desintegració d'isòtops de Po procedents de la desintegració de ^{219}Rn i ^{220}Rn amb les activitats dels seus isòtops pares, el ^{223}Ra i ^{224}Ra respectivament. Així doncs en el canal "Total" es mesuren totes les desintegracions produïdes, el canal " ^{219}Rn " es mesura ^{223}Ra a través del ^{219}Rn en desintegrar-se a ^{215}Po i en el canal " ^{220}Rn " es mesura el ^{224}Ra a través de ^{220}Rn en desintegrar-se en ^{216}Po (Moore i Arnold, 1996).

Abans d'introduir les mostres als RaDeCC es realitzaven mesures de fons per tal de corregir els resultats. A continuació connectàvem tot el sistema i ho deixàvem comptabilitzar durant una mica més d'una hora. Finalment deixàvem

purgar el sistema durant més de 30 minuts després de cada mesura mitjançant una bomba d'aire per mantenir fons baixos.

A més a més, les mostres s'introdueixen al detector el mateix dia de ser filtrats els sistemes d'incubació o l'endemà següent, per tal d'intentar minimitzar la desintegració del ^{224}Ra , que té un temps de semidesintegració de 3,66 dies.



Figura 19: Detector emprat per a mesurar el ^{224}Ra (RaDeCC)

Font: Elaboració pròpia

A continuació, gràcies a un programa anomenat RaDeCC2 (creat pel nostre tutor Marc Diego), introduint les dades que el detector ens dóna i l'hora de recollida de la mostra, vam poder fer la conversió de comptes per minut (cpm) a desintegracions per minut en 100 L d'aigua ($\text{dpm}\cdot 100\text{L}^{-1}$) molt ràpidament i evitant fer tots els càlculs necessaris. Després aquest resultat el vam dividir entre el producte de l'àrea dels sistemes d'incubació i el vam multiplicar pel nombre de litres que teníem a cadascun dels sistemes d'incubació per transformar els $\text{dpm}\cdot 100\text{L}^{-1}$ en $\text{dpm}\cdot \text{m}^{-2}$.

A partir dels resultats obtinguts en $\text{dpm}\cdot\text{m}^{-2}$ i les incerteses de cada mesura, vam realitzar una corba de saturació amb el programa Kaleida, utilitzant la següent equació:

$$y = (K/\lambda) (1 - e^{(\lambda * t)})$$

on y és la nostra mesura en $\text{dpm}\cdot\text{m}^{-2}$, t és el temps en dies, K és el flux que busquem i λ és la constant de desintegració del ²²⁴Ra (0,189 d^{-1}).

Finalment vam obtenir els gràfics de $\text{dpm}\cdot\text{m}^{-2}$ en funció dels dies i els fluxos en cadascuna dels sistemes d'incubació.

Tot i calcular el flux de ²²⁴Ra de cada incubació mitjançant la corba de saturació, també vam realitzar una mitjana dels fluxos de cada incubació tenint en compte el temps d'incubació de cada sistema per tal de poder avaluar els resultats segons les dues metodologies, ja que la corba de saturació té en compte que els fluxos són constants en el temps, sense cap mena alteració.

7. Resultats

7.1 Anàlisi de la flora

Les mostres de fanerògames marines obtingudes en els dos punts de mostreig de la Badia dels Alfacs, mostren la presència d'associacions vegetals formades per la fanerògama marina *Cymodocea nodosa* acompanyada per l'alga verda *Caulerpa prolifera* a ST1 (Figura 20). Al laboratori, s'ha mesurat el pes sec de vegetació per a ST1 i s'han obtingut aproximadament 208 g de *Cymodocea nodosa* i 49 g de *Caulerpa prolifera* aproximadament.

Per altra banda a la zona propera de la Punta de la Banya, que seria ST2, trobem presència de praderies disperses de *Caulerpa prolifera* tal com es veuen a la Figura 20.



Figura 20: Praderia de *Cymodocea nodosa* i *Caulerpa prolifera* de ST1 a l'esquerra, i de *Caulerpa prolifera* de ST2 a la dreta.

Font: Elaboració pròpia

7.2 Anàlisi de la fauna bentònica

En la Taula 1 es mostra el llistat detallat de les espècies de fauna bentònica obtingudes gràcies a les mostres de sediment marí en els dos punts de mostreig de la Badia dels Alfacs.

El principal filum d'espècies trobades va ser el de mol·luscs, on ens vam centrar sobretot en l'anàlisi de bivalves i de gasteròpodes. Tot i això, també vam trobar algun equinoderm i anèl·lid.

En alguns casos ens ha resultat difícil identificar les espècies a les quals pertanyien els diferents organismes a causa de la semblança entre ells i al gran

nombre d'individus d'un mateix gènere i per aquest motiu no hem pogut precisar a escala d'espècie en el cas de *Gibbula*, *Rissoa* i *Tricolia*.

Si ens centrem en l'anàlisi de les bivalves, podem observar com a ST1 té major nombre d'individus respecte ST2, tot i tenir un nombre similar d'espècies bentòniques presents.

A ST1 trobem espècies abundants com *Loripes orbiculatus*, *Spisula subtruncata*, *Venerupis geographica* i *Abra alba* (Figura 21). Tot això, cal destacar que l'única d'aquestes espècies que no està present a ST2 és *Abra alba* i que *Loripes orbiculatus* és fins a 5 vegades més abundant a ST1 que a ST2.

Per altra banda, *Parvicardium exiguum* és una espècie representativa de ST2 que no es troba present a ST1.



Figura 21: Imatges de *Loripes orbiculatus*, *Spisula subtruncata*, *Venerupis geographica* i *Abra alba*, respectivament, de ST1.

Font: Elaboració pròpia

En el cas dels gasteròpodes també trobem més individus a ST1 que a ST2, tot i que trobem més diversitat d'espècies en el segon punt de mostreig.

La família dels *Cerithiidae* és força abundant en els dos punts de mostreig però trobem una abundància diferent d'espècies entre les dues zones d'estudi. *Bittium reticulatum* és una espècie rellevant a ST1 i en canvi poc desenvolupada a ST2, on en aquesta segona estació es troba en grans quantitats *Cerithium vulgatum*.

Un punt clau a destacar és la presència d'*Hexaplex trunculus* i nombrosos exemplars de *Tritia reticulata* només presents a ST2 (Figura 22). A més a més, cal remarcar la gran presència de *Gibbula* en el primer punt de mostreig i *Tricolia* en la segona zona.



Figura 22: Imatges de *Tritia reticulata* i *Hexaplex trunculus*, respectivament, de ST2.

Font: Elaboració pròpia



Figura 23: Imatge de *Parvicardium exiguum*

Font: Elaboració pròpia

En el cas de les bivalves, la major part d'espècies que hem pogut identificar s'alimenten gràcies a la filtració de l'aigua per tal d'obtenir nutrients, com és el cas de *Parvicardium exiguum* (Figura 23). Tot i això, hi ha altres individus que tenen la capacitat d'adquirir aliment de la superfície del sediment com *Abra alba*, perquè estan enterrats o semienterrats en certes ocasions.

A ST1 trobem més influència d'espècies catalogades com a sedimentívores superficials i enterrades que no pas a ST2, on les espècies més destacades en aquesta estació són *Loripes orbiculatus* i *Venerupis geographica*.

En els gasteròpodes trobem moltes més tipologies d'alimentació i hàbitat, ja que poden ser herbívors, depredadors, carronyaires, sedimentívors superficials i sedimentívors enterrats ocasionalment.

Tot i que són nombrosos els organismes carronyaires i depredadors, els quals es mouen per la superfície del sediment, a ST2 trobem nombrosos individus de *Tritia reticulata*, una espècie sedimentívora amb gran capacitat de moviment entre l'interior del sediment i la superfície d'aquest.

Per altra banda, a ST1 la majoria d'espècies no tenen gran capacitat de moviment ja que estan més lligades i limitades per culpa de la cobertura vegetal.

Taula 1: Classificació de les espècies bentòniques de les estacions de mostreig segons grup, abundància d'individus trobats i tipus d'alimentació segons els estàndards fixats per WoRMS.

Espècie	Localitat		Organisme segons l'alimentació
	ST1	ST2	
ASTEROIDEA			
ASTERINIDAE			
<i>Asterina gibbosa</i> (Banderin, 1777)	1		Sedimentívor superficial
BIVALVIA			
CARDIIDAE			
<i>Cerastoderma edule</i> (Linnaeus, 1758)	1		Filtrador
<i>Parvicardium exiguum</i> (Gmelin, 1971)	1	37	Filtrador
<i>Parvicardium pinnulatum</i> (Conrad, 1831)	1		Filtrador
LUCINIDAE			
<i>Loripes orbiculatus</i> (Poli, 1791)	214	45	Sedimentívor superficial
MACTRIDAE			
<i>Spisula subtruncata</i> (da Costa, 1778)	24	4	Sedimentívor enterrat
SEMELIDAE			
<i>Abra alba</i> (W. Wood, 1802)	17		Sedimentívor
TELLINIDAE			
<i>Peronaea planata</i> (Linnaeus, 1758)		4	Sedimentívor
THRACIIDAE			
<i>Thracia phaseolina</i> (Lamarck, 1818)		3	Sedimentívor
VENERIDAE			
<i>Dosinia lupinus</i> (Linnaeus, 1758)		3	Sedimentívor enterrat
<i>Politapes aureus</i> (Gmelin, 1791)	4		Sedimentívor enterrat
<i>Venerupis geographica</i> (Gmelin, 1791)	26	15	Sedimentívor enterrat

GASTROPODA			
CALLIOSTOMATIDAE			
<i>Calliostoma zizyphinum</i> (Linnaeus, 1758)		1	Depredador
CERITHIIDAE			
<i>Bittium reticulatum</i> (da Costa, 1778)	153	3	Herbívor i sedimentívor superficial
<i>Cerithium vulgatum</i> (Bruguère, 1792)	12	57	Herbívor i sedimentívor superficial
CONIDAE			
<i>Conus ventricosus</i> (Gmelin, 1791)		1	Depredador
MURICIDAE			
<i>Hexaplex trunculus</i> (Linnaeus, 1758)		10	Depredador i suspensívor superficial
NASSARIIDAE			
<i>Tritia incrassata</i> (Strøm, 1768)	3		Carronyaire
<i>Tritia cuvierii</i> (Payraudeau, 1826)	2	7	Carronyaire
<i>Tritia corniculum</i> (Olivi, 1792)	1		Carronyaire
<i>Tritia reticulata</i> (Linnaeus, 1758)	8	56	Carronyaire i sedimentívor enterrat
<i>Tritia neritea</i> (Linnaeus, 1758)		3	Carronyaire
NERITIDAE			
<i>Smaragdia viridis</i> (Linnaeus, 1758)		1	Herbívor
RISSOIDAE			
<i>Alvania</i> (Risso, 1826)	1	3	Sedimentívor i herbívor
TRICOLIIDAE			
<i>Tricolia</i> (Risso, 1826)	3	19	Herbívor
TROCHIDAE			
<i>Gibbula</i> (Risso, 1826)	184	27	Sedimentívor i herbívor

7.3 Granulometria

A continuació es presenten els resultats de la granulometria en forma de percentatges on es mostren les diferents mides de gra del sediment present en cadascuna de les estacions mostrejades (Figura 24).

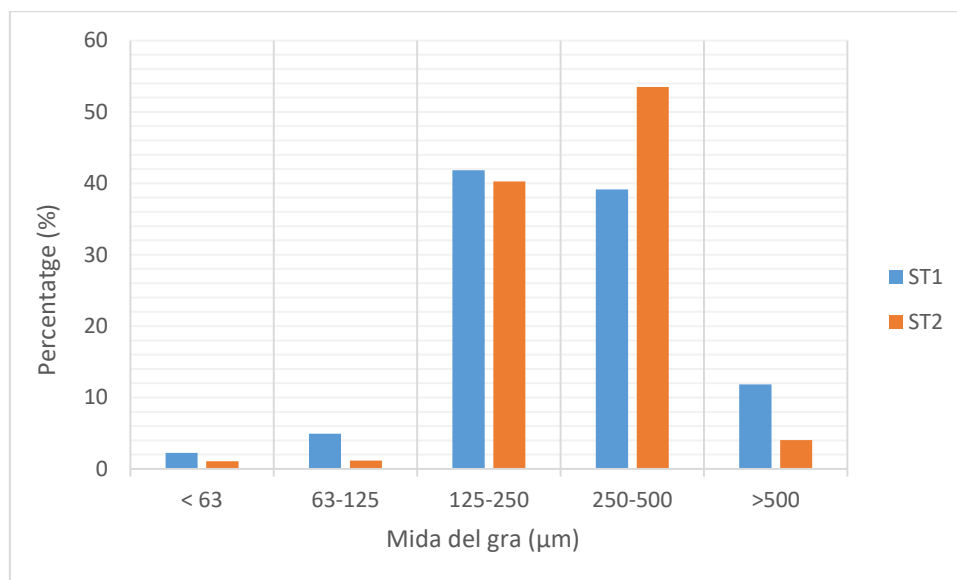


Figura 24: Representació dels percentatges corresponents al pes de cada mida de gra obtinguts per 100 g de mostra de sediment de cada estació.

Si analitzem cada estació per separat, veiem que la mida de gra que predomina a ST1 es troba entre el rang de 125 i 250 μm (42%), però amb molt poca diferència respecte a 250-500 μm (39%), en canvi a ST2 la mida que predomina és clarament la que es troba entre 250 i 500 μm (53%).

Així doncs, podem veure que a ambdues estacions la mida de gra que predomina es troba entre 125 i 500 μm. De totes maneres, a ST1 trobem més quantitat de partícules de major mida (>500 μm) respecte a ST2. Per altra banda, a ST1 també hi ha més partícules més fines, de mida entre 63 i 125 μm. Per tant, podem dir que a ST1 tenim sediments més fins que no pas a ST2.

7.4 Activitat de ²²⁴Ra en el sediment

En la següent taula (Taula 2) es pot observar l'activitat dels isòtops de ²²⁴Ra, ²²⁶Ra i ²²⁸Ra presents en el sediment segons les zones de mostreig.

Taula 2: Radioactivitat en el sediment de cadascuna de les estacions expressada en Bq/kg i realitzada segons espectrometria gamma. La primera columna mostra l'activitat de cada isòtop i la segona mostra la seva incertesa.

	²¹² Pb (²²⁴ Ra) (295 keV) (Bq/kg)	²²⁸ Ac (²²⁸ Ra) (911 keV) (Bq/kg)	²¹⁴ Pb (²²⁶ Ra) (295 keV) (Bq/kg)	²¹⁴ Pb (²²⁶ Ra) (351 keV) (Bq/kg)
ST1	24,0±1,6	18,3±1,4	17,0±3,5	16,6±1,2
ST2	15,6±0,7	14,9±3,7	13,3±2,0	12,7±1,1

La columna del ²¹²Pb ens mostra l'activitat del ²²⁴Ra i la del ²²⁸Ac ens dona informació sobre el ²²⁸Ra, els quals provenen del ²³²Th. Per altra banda, les dues últimes columnes del ²¹⁴Pb ens donen informació sobre el ²²⁶Ra, que prové de la cadena de desintegració del ²³⁸U (Figura 6).

D'aquesta manera podem saber l'activitat dels diferents isòtops presents en el sediment de cadascuna de les estacions i tenir una idea de la importància del ²³²Th i ²³⁸U en el sediment.

Podem observar com en qualsevol dels casos, l'activitat dels isòtops de Ra en el sediment és lleugerament superior a ST1. Tanmateix, si ens centrem en el ²²⁴Ra, trobem una activitat de 24,0±1,6 Bq/kg a ST1 i 15,6±0,7 Bq/kg a ST2, cosa que tot i tenir una activitat major en el sediment de ST1 no observem una diferència molt significativa entre les dues.

Per aquest motiu podem considerar que trobem una activitat de ²²⁴Ra i de la resta d'isòtops de Ra similar i més o menys equivalent en els dos sediments analitzats.

7.5 Perfils de ²²⁴Ra de l'aigua intersticial

Al següent gràfic (Figura 25) es mostren els perfils de ²²⁴Ra segons les mostres obtingudes de l'aigua intersticial de ST1 i de ST2.

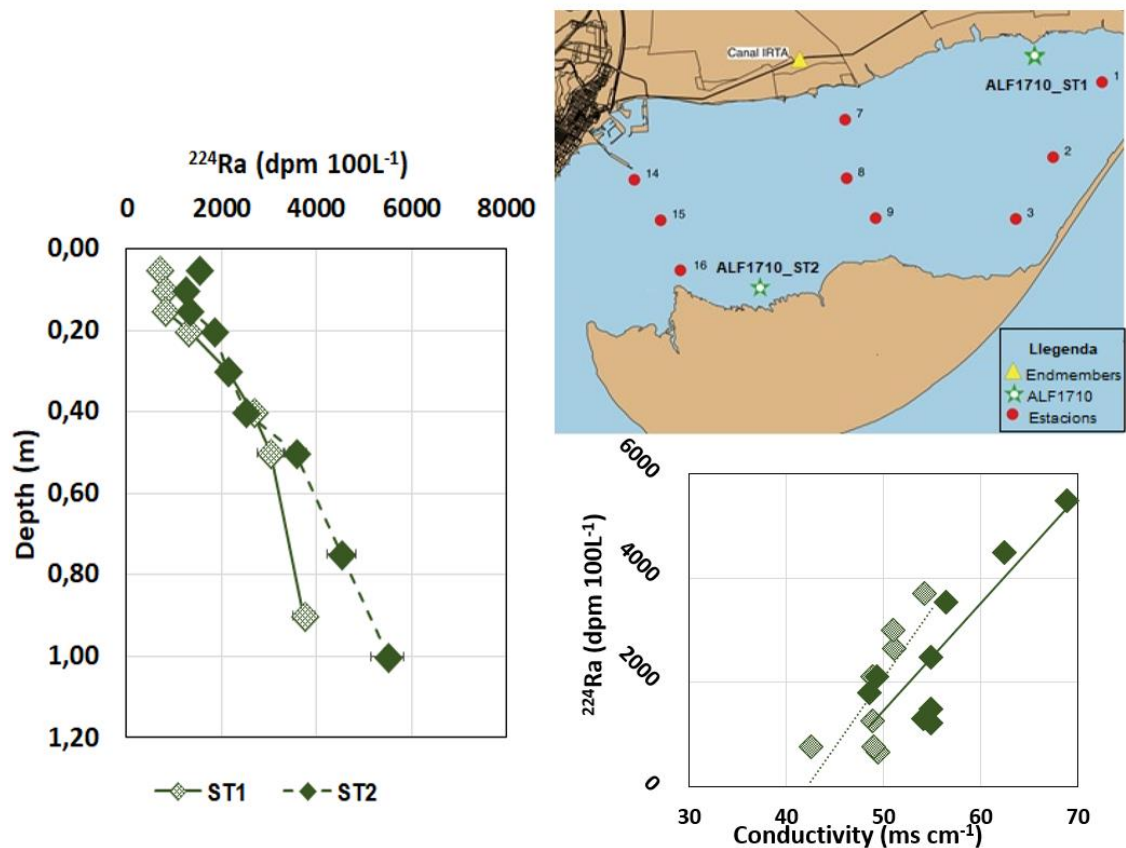


Figura 25: Perfils porewater per a cada estació, on l'estació 1 és ST1 i l'estació 2 és ST2. El gràfic de l'esquerra mostra els perfils de ^{224}Ra segons la profunditat de sediment, mentre que el gràfic de la dreta mostra el perfil segons la conductivitat. Al mapa de dalt a la dreta podem veure dues estrelles que mostren els dos punts de mostreig d'aquest estudi (octubre del 2017)

Aquests perfils ens permeten conèixer el grau de difusió de ^{224}Ra del sediment cap a la columna d'aigua, ja que un dèficit de ^{224}Ra en superfície respecte als valors més profunds indicaria un flux del sediment a la columna d'aigua.

En el nostre cas, els perfils de les dues estacions mostren de manera clara com en la part superior del sediment un dèficit clar de ^{224}Ra que indicaria un flux d'aquest radionúclid cap a la columna d'aigua i que aquesta difusió disminueix notablement en profunditat.

Pel que fa a les diferències entre les dues estacions es pot observar com hem obtingut un perfil similar en les dues zones analitzades, cosa que ens indica que en els dos casos tenim una difusió de ^{224}Ra semblant, tot i que sembla que a ST1 té més difusió en els primers cm de sediment que no pas ST2, però no es una diferència gaire notable.

Per altra banda, aquests perfils els hem comparat amb les dades obtingudes en altres campanyes realitzades l'agost del 2017 i el gener del 2018, per tal de comprovar si s'observa alguna diferència de caràcter estacional (Figura 26).

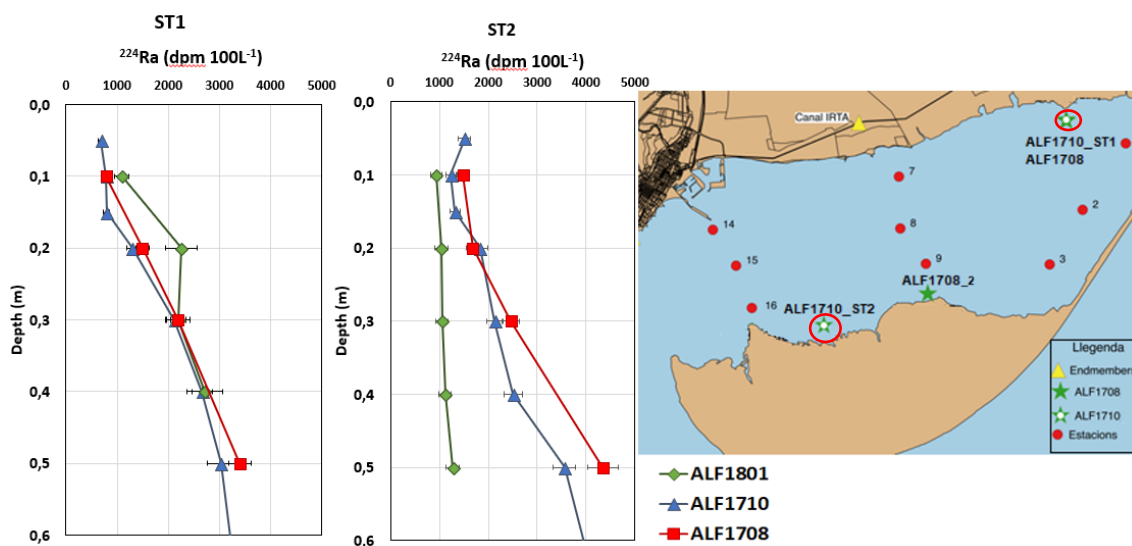


Figura 26: Comparació dels perfils de ^{224}Ra en tres campanyes consecutives, on els punts de mostreig del nostre estudi es mostren encerclats en vermell. La campanya de l'agost del 2017 (anomenada ALF1708) es representa amb color vermell, la de l'octubre del 2017 (anomenada ALF1710) amb color blau i la del gener del 2018 (anomenada ALF1801) amb color verd.

Per la realització d'aquesta comparativa entre les diferents estacions de l'any s'han realitzat diversos perfils de ^{224}Ra mitjançant les mostres de les campanyes ALF1708, ALF1710 i ALF1801.

Tal com s'observa al mapa, les altres campanyes també van realitzar el mostreig a ST1, però no a ST2 sinó que a una zona propera anomenada ALF1708_2.

En aquest cas es pot observar com majoritàriament en totes les èpoques de l'any es segueix la tendència de difusió descrita anteriorment, on en els primers cm de sediment és on hi ha més difusió de ^{224}Ra .

Si ens centrem en la variació estacional de ST1, podem veure com els perfils realitzats en diferents èpoques de l'any són similars, tot i que el realitzat durant el gener mostra una menor difusió en respecte als perfils de l'agost i octubre.

Per altra banda, a ST2 també observem que els perfils són similars però destaca el realitzat durant l'hivern que mostra molt poca difusió en respecte als altres

mostrejos, ja que el perfil és pràcticament lineal i la difusió pràcticament no varia amb la profunditat.

Tot i tenir uns perfils similars sí que es mostren petites diferències de difusió entre l'estiu i l'hivern.

7.6 Fluxos de ²²⁴Ra a partir dels sistemes d'incubació

Els fluxos obtinguts mitjançant les incubacions realitzades al laboratori des de l'octubre del 2017 fins al febrer del 2018 es mostren a les Taules 3 i 4:

Taules 3 i 4: Fluxos ²²⁴Ra de ST1 i de ST2. Els fluxos de ST1 es representen en blau i els de ST2 en groc. En la taula es mostren tres columnes, la primera mostra els fluxos calculats a partir de la corba de saturació, en la segona trobem el flux de Ra màxim de cadascuna de les incubacions i en l'última trobem un càlcul de fluxos realitzat a partir de la mitjana de tots els valors. Els fluxos marcats amb un asterisc corresponen a resultats amb un valor de confiança baix.

	Flux ²²⁴ Ra (dpm/m ² ·d)	²²⁴ Ra màx (dpm/m ²)	Mitjana fluxos (dpm/m ² ·d)
ALF1710_ST1_PRAD	105±3 *	556	53±4
ALF1710_ST1_FILTRAT	37±1	196	22±2
ALF1710_ST1_NOFILTRAT	101±3 *	534	67±6

	Flux ²²⁴ Ra (dpm/m ² ·d)	²²⁴ Ra màx (dpm/m ²)	Mitjana fluxos (dpm/m ² ·d)
ALF1710_ST2_PRAD	62±2	328	30±3
ALF1710_ST2_FILTRAT	43±1	228	23±2
ALF1710_ST2_NOFILTRAT	52±1	275	26±2
ALF1710_ST2_10	26±1 *	138	15±2
ALF1710_ST2_50	49±1	259	30±3

Pel que fa a la primera columna hem realitzat els càlculs dels fluxos a partir d'una corba de saturació, suposant un flux constant en el temps, és a dir, tenint en compte que hi havia la mateixa difusió de ²²⁴Ra cada dia des del sediment a la columna.

Si observem els resultats obtinguts, veiem com hi ha grans diferències entre les incubacions i també entre les dues estacions, on s'observen fluxos majors a ST1.

Tot i això, no és del tot fiable suposar una tendència difusiva constant en totes les incubacions. En les úniques que podem afirmar amb certesa que tenen aquesta tendència serien les incubacions que han estat filtrades, ja que no intervé cap mena de factor extern capaç d'incorporar ²²⁴Ra de manera puntual i esporàdica. A més a més, els fluxos de ST1_PRAD, ST1_NOFILTRAT són massa elevats i els de ST2_10 massa baixos per considerar-los del tot fiables i per aquest motiu, vam realitzar càlculs a partir de la mitjana dels fluxos obtinguts de les mesures de 3,6 i 9 dies, suposant que no hi ha una difusió constant de ²²⁴Ra.

Els càlculs realitzats a partir de la mitjana, mostren més semblances entre les incubacions tot i que destaquen de nou els fluxos de ST1 per tenir un flux major que ST2, excepte per ST1_FILTRAT.

Si ens centrem en la tercera columna, realitzada a partir de les mitjanes dels fluxos, poden veure que a ST1 el sistema d'incubació amb un flux més elevat és ST1_NOFILTRAT i el que té un flux menor és ST1_FILTRAT. Per altra banda, a ST2 observem que les incubacions amb major flux són la ST2_PRAD i ST2_50, és a dir, la incubació que contenia *Caulerpa prolifera* i la que contenia 50 exemplars de *Tritia reticulata*. En canvi, la incubació amb el flux més baix és ST2_10, que contenia 10 exemplars d'*Hexaplex trunculus* seguida de ST2_FILTRAT.

Malgrat tot, es pot observar com els fluxos són similars entre les dues estacions i no es mostren grans diferències entre els sistemes d'incubació amb el sediment filtrat i els sistemes d'incubació que contenien fauna bentònica.

8. Discussió dels resultats

A continuació es presenta una anàlisi i discussió dels resultats, per tal de determinar si les dades obtingudes són significatives per concloure si la fauna bentònica mostrejada a les estacions ST1 i ST2 té realment influència en els fluxos de ²²⁴Ra en la Badia dels Alfacs.

Per tal d'arribar a aquesta conclusió, es tenen en compte diversos factors que podrien afavorir a demostrar les diferències entre les dues estacions mostrejades. A més a més, també es tenen en compte altres resultats observats en la recerca bibliogràfica per tal de facilitar la discussió dels resultats i la posterior conclusió d'aquests.

Primer de tot, per poder fer una correcta valoració dels resultats obtinguts i determinar si són rellevants, ens hem centrat en les diferències segons la distribució espacial i les diferències segons l'estacionalitat, és a dir, canvis temporals a la badia.

L'anàlisi dels nostres resultats suggereix que hi ha diversos factors que poden influir en els fluxos de ²²⁴Ra. Aquests factors podrien exercir un paper important i significatiu en l'intercanvi del PEX. D'aquesta manera s'aniran descartant aquells que s'ha demostrat que no són rellevants per demostrar la nostra hipòtesi i aquells que són inversament proporcionals als estudis previs realitzats a la badia.

8.1 Distribució espacial

En primer lloc hem de buscar resposta a perquè podem tenir diferències en la concentració de ²²⁴Ra de la columna d'aigua segons l'estació a la qual ens trobem, tal com es mostra de manera clara en l'article de Rodellas et al., (2017).

A continuació s'exposaran els aspectes que poden influenciar aquestes diferències espacials.

8.1.1 Cobertura vegetal

Per saber si la cobertura vegetal té un paper important en la influència dels fluxos de ²²⁴Ra i pot ser un dels factors capaços de generar aquestes diferències, hem analitzat entre els organismes trobats a cada estació.

Els estudis previs, comentats a l'apartat de la zona d'estudi, demostren que a la zona corresponent a la nostra primera estació es pot trobar una praderia de *Cymodocea nodosa* bastant espessa, i en canvi a la zona corresponent a la nostra segona estació es poden trobar petites praderies sobtades de *Cymodocea nodosa* amb *Caulerpa prolifera*. No obstant això, amb els nostres mostrejos podem demostrar que a ST1 trobem praderia espessa de *Cymodocea nodosa*, però conviu juntament amb *Caulerpa prolifera*, i en canvi a ST2, hi ha alguna mostra aïllada de *Caulerpa prolifera*.

La cobertura vegetal va relacionada amb la compactació del sediment, ja que quantes més arrels hi hagi al sòl, la fracció inorgànica serà menor i per tant el procés de PEX es podria veure desafavorit.

En el cas de ST1, la fanerògama *Cymodocea nodosa* s'estabilitza al substrat amb un sistema d'arrels i rizomes. Aquests rizomes es disposen de manera paral·lela al substrat i podrien actuar com a barreres i impedir o dificultar el flux de ²²⁴Ra del sediment cap a la columna d'aigua. A més, l'arrelament d'aquesta espècie ocupa més volum que el de l'alga *Caulerpa prolifera* (Figura 27), per tant a ST1 hi haurà menys espai disponible per al ²²⁴Ra, ja que gran part de l'espai que hi ha entre el sediment es veurà ocupat per les arrels i els rizomes.

En canvi a ST2, com trobem organismes aïllats de *Caulerpa prolifera*, és a dir, no trobem una cobertura tan densa, el substrat es troba més lliure d'arrels i per tant hi ha més espai disponible per la difusió de ²²⁴Ra.



Figura 27: Comparativa de l'arrelament entre *Cymodocea nodosa* a l'esquerra i *Caulerpa prolifera* a la dreta.

Font: Flora Catalana (2013)

Així doncs, la vegetació és un factor important a tenir en compte per parlar de les diferències entre les dues zones de mostreig, i que ens pot ajudar a confirmar la hipòtesi basada en l'estudi de Rodellas et al. (2017) que mostra que a la columna d'aigua de ST2 hi ha més concentració de ^{224}Ra que a ST1.

8.1.2 Fauna

Per altra banda, la flora també influeix de manera directa en la fauna de cada zona.

Mentre que les zones amb més vegetació tenen més diversitat i quantitat d'individus, les zones més desèrtiques en tenen menys. En l'anàlisi dels resultats ens hem basat en la mida d'aquests individus, ja que els individus de major mida tenen més capacitat de moure el sediment i per tant afavoreixen el PEX.

Pel que fa a ST1 hem trobat més exemplars i diversitat d'espècies que a ST2, però tot i això els individus d'aquesta estació són de menor mida, pel fet que la praderia és molt espessa i que aquests es troben associats i influenciats de manera directa per aquesta cobertura.

A ST2 en canvi, trobem menys diversitat d'espècies, però els individus que hem trobat són molt més grans que a ST1 a causa del fet que disposen de més espai per moure's, ja que la *Caulerpa prolifera* es troba de forma aïllada.

Per tant, les diferències en la fauna d'ambdues estacions serà un factor a tenir en compte a l'hora de quantificar els fluxos de ^{224}Ra de cada estació, ja que com els exemplars de ST2 són d'una mida més gran, el PEX es veurà més afavorit en aquesta estació.

En definitiva, la fauna és un factor que juga un paper important a l'hora d'explicar perquè les concentracions de ^{224}Ra a la columna d'aigua a la zona de ST2 són més altes que a l'estació ST1.

Pel que fa a la nostra hipòtesi principal, només estudiant aquest factor no es pot acabar de confirmar amb certesa. Tot i això, la mida i la capacitat de moviment de certs individus mostren com la fauna bentònica té certa influència i rellevància algunes zones de la badia com seria en el cas de ST2.

8.1.3 Granulometria

Els resultats de la granulometria entre ambdues estacions indiquen que les dues zones d'estudi no són molt diferents entre elles i que, per tant, podem dir que no és un factor capaç de provocar grans diferències en els fluxos de ^{224}Ra entre ST1 i ST2. De tota manera, a ST1 hi ha sediments de menor mida, i per tant, més superfície específica, fet que indica que hi ha més superfície disponible perquè hi hagi un intercanvi del ^{224}Ra disponible en el sediment i a l'aigua intersticial.

Els resultats de la granulometria juguen en contra a l'hora de confirmar el fet que a ST2 hi hagi més ^{224}Ra que a ST1.

8.1.4 Activitat del ^{224}Ra en el sediment

Pel que fa al contingut de ^{232}Th en el sediment, tot i que en ambdues estacions veiem concentracions de ^{224}Ra similars, a ST1 la concentració és una mica més elevada.

Per aquest motiu, l'activitat del ^{224}Ra en el sediment també juga en contra a l'hora de confirmar que a ST2 hi ha més concentració de ^{224}Ra que a ST1.

8.1.5 Perfils de l'aigua intersticial

La difusió del ²²⁴Ra del sediment a la columna d'aigua és similar a ambdues estacions, on s'observa com en els primers centímetres de sediment es produeix una gran difusió de ²²⁴Ra. Aquest fet coincideix amb que la zona més superficial és també on trobem la quantitat més gran fauna, fet que podria fer que aquesta ajudi a la difusió de ²²⁴Ra.

Tot i les similituds entre els dos perfils observem que la difusió és lleugerament major a ST1. Aquests resultats ens indicarien que a la columna d'aigua de ST1 hauria d'haver-hi més ²²⁴Ra, ja que aquest s'ha desplaçat del sediment cap a la columna d'aigua.

El que hem vist clar en els resultats és que a major profunditat, hi ha una menor difusió de ²²⁴Ra, i que per tant a la superfície, que és on viu la fauna bentònica, hi ha més difusió.

Aquest factor no ens ajuda a demostrar el perquè a la columna d'aigua de ST2 hi ha més ²²⁴Ra que no pas a ST1, però si ajuda a mostrar com la fauna bentònica pot tenir un paper rellevant en la difusió en la superfície de sediment.

8.1.6 Incubacions

Gràcies a la mesura dels fluxos de ²²⁴Ra de cadascuna de les incubacions que hem tingut durant mesos al laboratori, veiem que en els sistemes d'incubació amb fauna i flora són les que generalment han obtingut fluxos de ²²⁴Ra més elevades. Aquest fet ens demostra que tant la fauna com la flora poden influir significativament en els fluxos de ²²⁴Ra.

De les dues incubacions control (ST1_FILTRAT i ST2_FILTRAT), s'ha obtingut un major flux de ²²⁴Ra a ST2 (43 ± 1 dpm·m⁻²·d⁻¹) que a ST1 (37 ± 1 dpm·m⁻²·d⁻¹). Aquest fet sí que demostraria, tal com s'exposa a l'estudi de Rodellas et al., (2017), que a ST2 hi hagi més ²²⁴Ra que no pas a ST1.

Primer de tot, si fem la mitjana dels inventaris de saturació obtinguts en les incubacions control d'ambdues estacions on teníem el sediment filtrat, obtenim un flux màxim de 212 ± 5 dpm·m⁻².

A partir de Rodellas et al., (2017), podem saber quina és la concentració mitjana de tota la badia a l'estiu i a l'hivern. Les dades de l'estudi ens diuen que la mitjana a l'aigua d'estiu és de $31,8 \pm 1,5$ dpm·100L⁻¹ i la d'hivern és de $7,7 \pm 0,5$ dpm·100L⁻¹. D'acord amb aquest mateix estudi, sabem que l'àrea dels Alfacs és de 49 km² i el volum d'aigua de 150 milions de m³, i així podem obtenir l'inventari de ²²⁴Ra a tota la badia.

Així l'inventari a l'estiu, quan els canals d'irrigació estan oberts, és de 980 ± 45 dpm·m⁻²:

$$31.8 \pm 1.5 \frac{\text{dpm}}{100 \text{ L}} \rightarrow 318 \frac{\text{dpm}}{\text{m}^3} \cdot \frac{150 \times 10^6 \text{ m}^3}{49 \times 10^6 \text{ m}^2} = 973 \pm 45 \frac{\text{dpm}}{\text{m}^2}$$

Amb el mateix càlcul podem saber l'inventari a l'hivern, quan els canals es troben tancats, és de 235 ± 15 dpm·m⁻²:

$$7.7 \pm 0.5 \frac{\text{dpm}}{100 \text{ L}} \rightarrow 77 \frac{\text{dpm}}{\text{m}^3} \cdot \frac{150 \times 10^6 \text{ m}^3}{49 \times 10^6 \text{ m}^2} = 235 \pm 15 \frac{\text{dpm}}{\text{m}^2}$$

Observem que els inventaris obtinguts de les incubacions de sediment filtrat són similars als inventaris estimats a partir de les concentracions mesurades a l'hivern.

Com la diferència entre hivern i estiu és molt gran (tenint en compte que la concentració d'estiu es veu diluïda pels canals), farem l'anàlisi de la incubació amb fauna i flora de la segona estació (ST2_PRAD). Mirant el flux diari, a ST2_FILTRAT tenim 43 dpm·m⁻²·d⁻¹, i a ST2_PRAD en canvi 62 dpm·m⁻²·d⁻¹. Per tant, ST2_PRAD és la incubació amb la qual hi ha més diferències, sent la incubació amb el flux més elevat.

Així arrodonint a l'alça, tenim uns $20 \text{ dpm}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ més a ST2_PRAD respecte ST2_FILTRAT, que és un increment considerable. Passant aquesta mesura a les unitats que ens interessin, veiem que el flux de la incubació amb fauna i flora és de $106 \text{ dpm}\cdot\text{m}^{-2}$:

$$20\pm 2 \frac{\text{dpm}}{\text{m}^2\cdot\text{d}} \rightarrow 20 \frac{\frac{\text{dpm}}{\text{m}^2\cdot\text{d}}}{\lambda} = 106 \frac{\text{dpm}}{\text{m}^2}$$

$$\text{On } \lambda \text{ } ^{224}\text{Ra} = 0.189 \text{ d}^{-1}$$

Si sumem els fluxos del sediment i la fauna i flora amb el flux de l'hivern, com a molt tindrem $325 \text{ dpm}\cdot\text{m}^{-2}$, i encara queda molt marge fins a $980 \text{ dpm}\cdot\text{m}^{-2}$, que és l'inventari de ²²⁴Ra a l'aigua durant l'època estival.

La mesura de la incubació dels nostres sediments només ens aporta una fracció del flux total d'estiu. El fet de tenir fauna i flora no ens serveix per acabar de completar el flux total. Amb els nostres resultats, podem veure que la fauna i flora només ens aporta una tercera part de l'inventari de ²²⁴Ra que hi ha a l'estiu i que és mínim, ja que tenim l'efecte dels canals que produeix una dilució significativa de les concentracions.

Podem afirmar doncs, que la fauna analitzada i la flora en aquest estudi contribueix en els fluxos de ²²⁴Ra però no podem afirmar que és el factor més important.

Tenint en compte que els $973 \text{ dpm}\cdot\text{m}^{-2}$ és l'inventari de la columna d'aigua en època estival i que, a més, aquest és un inventari inferior del qual hauria de ser degut al fet que existeix una dilució per les aportacions dels canals, a part de la fauna i la flora hauria d'haver-hi altres processos físics que provoquin l'augment de les entrades de ²²⁴Ra a la columna d'aigua a l'estiu. En aquest punt entren en joc altres factors que podrien influenciar en l'augment dels fluxos de ²²⁴Ra segons l'estacionalitat i que seran comentats a continuació (apartat 8.2).

8.1.7 Profunditat

Pel que fa a la profunditat, a ST1 trobem una profunditat al voltant d'1 metre i en canvi a ST2 al voltant de 0,5 metres (de Pedro Puente, 2017). Per tant el fet que ST1 sigui més profund que ST2, ens indica que en aquesta trobem més volum d'aigua fent així que la concentració del ²²⁴Ra a la columna d'aigua de ST1 es vegi més diluïda que a ST2.

Aquest fet també marca diferències entre estacions i juga a favor de confirmar la nostra hipòtesi i de poder explicar perquè a ST2 hi ha més concentració de ²²⁴Ra que a ST1.

8.1.8 Aportacions dels canals

A la banda nord de la badia l'obertura dels canals durant l'estiu podria jugar un paper important en la dilució del Ra present a la columna d'aigua, sobretot en el punt més proper a la desembocadura d'aquests.

Així, com s'ha estudiat a Rodellas et al., (2017), explicat breument a l'apartat 3, els canals sí que podrien jugar un paper important a l'hora de diferenciar entre ST1 i ST2, ja que ST1 es troba més propera a la desembocadura d'aquests canals.

Tot i això, és un factor que no hem tingut en compte en el nostre estudi i per tant no podem obtenir una conclusió clara, però tot indica que la influència dels canals també ens ajuda a confirmar la nostra hipòtesi que a ST2 hi ha més concentració de ²²⁴Ra que a ST1 a causa de la dilució produïda per aquests.

8.2 Estacionalitat

En segon lloc, com ja hem demostrat en la discussió de les incubacions, a part dels factors analitzats com ara la cobertura vegetal i la fauna, hi ha altres factors que es poden tenir en compte quan es volen observar les diferències temporals o estacionals de la badia, és a dir, les diferències entre estiu i hivern.

A continuació s'exposaran els aspectes que poden influenciar aquestes diferències estacionals.

8.2.1 Bioturbació

L'activitat biològica del bentos i de la flora és major a finals de primavera i durant l'estiu (Borja, 2013).

Aquest fet ens podria ajudar a determinar que la fauna bentònica és un factor que influeix de manera directa en l'intercanvi de la PEX cap a la columna d'aigua, i a confirmar l'estudi de Rodellas et al., (2017) on s'observa que a l'estiu les concentracions de ^{224}Ra són majors que a l'hivern degut a la presència de la fauna bentònica i al seu augment d'activitat en aquesta època de l'any.

8.2.2 Perfils d'aigua intersticial

Per mirar l'estacionalitat respecte els perfils de la difusió del ^{224}Ra cap a la columna d'aigua, hem comparat els nostres resultats amb les dades obtingudes en altres campanyes de perfils de ^{224}Ra d'aigua intersticial realitzades l'agost del 2017 i el gener del 2018.

Pel que fa a la variació estacional de ST1, podem veure com els perfils realitzats en diferents èpoques de l'any són similars, tot i que el realitzat durant el gener mostra una menor difusió en respecte als perfils de l'agost i octubre.

Per altra banda, a ST2 també observem que els perfils són similars però destaca el perfil de l'hivern que mostra molt poca difusió respecte els altres mostrejos. En aquest cas, el perfil és pràcticament lineal i la difusió pràcticament no varia amb la profunditat.

En definitiva, tot i tenir uns perfils similars sí que es mostren petites diferències de difusió entre l'estiu i l'hivern.

8.2.3 Aportacions dels canals

Com s'ha esmentat a l'apartat 8.1.8, els canals es troben oberts a l'estiu, semi-oberts a la tardor i tancats a l'hivern. Aquest fet podria ser responsable de diferències estacionals dels fluxos de ²²⁴Ra al llarg de tota la badia, ja que les aportacions d'aigua dolça poden diluir el senyal sobretot en els mesos d'estiu, fet que la concentració en zones properes com ST1 sigui menor a l'esperada.

Tot i això, en l'estudi de Rodellas et al., (2017), les variacions entre les zones properes a la costa i les més llunyanes es produeixen al llarg de tot l'any, no només a l'estiu. Dit això, els canals no podrien ajudar a explicar la diferència produïda en els mesos d'hivern.

8.2.4 Activitat antròpica

L'activitat antròpica podria ser un factor capaç d'augmentar la concentració de ²²⁴Ra sobretot en els mesos d'estiu. Per aquest motiu ens hem centrat sobretot en la influència de l'activitat de marisqueig, la qual podria ser responsable del moviment de grans quantitats de sediment, i consegüentment d'un increment en l'intercanvi del PEX. Tot i que és molt difícil quantificar totes les accions de marisqueig, els pesquers de la zona ens han facilitat les estadístiques de captures de cada espècie per mesos en els últims anys, i veiem que les majors extraccions es duen a terme entre els mesos de febrer i juny, ja que la reproducció d'aquestes espècies es produeix durant tot l'any però tenen el màxim d'activitat a començaments de la primavera (Annex 3).

Aquest fet provoca que les accions de marisqueig realitzades a la badia puguin afavorir a l'intercanvi de PEX sobretot durant els mesos de febrer i juny però no en mesos d'estiu que són on trobem les concentracions màximes de ²²⁴Ra. Per aquest motiu podem dir que el marisqueig no es un factor rellevant i capaç d'explicar la diferència estacional que es produeix a la badia, ja que podem dir que és inversament proporcional al flux de ²²⁴Ra.

Tot i això, el fet de no realitzar marisqueig durant els mesos d'estiu podria permetre que durant aquests mesos, es trobin més individus bentònics capaços

de realitzar un moviment del sediment que donaria a fluxos de PEX cap a la columna d'aigua.

8.2.5 Altres factors

Altres factors com el vent, la hidrodinàmica de les aigües de la badia, el nivell del mar i l'onatge, les barreres impermeables i la convecció de l'aigua per la temperatura o les bombolles de gas (Santos et al., 2012) són altres factors que no hem arribat a estudiar, ja que en un principi hem pensat que no eren factors importants a tenir en compte.

En futurs estudis i treballs seria indispensable analitzar l'estacionalitat del vent i el nivell del mar, ja que podrien ser factors importants capaços de generar diferències estacionals en la badia.

9. Conclusions

En aquest apartat s'exposen les conclusions obtingudes arran del nostre treball amb l'objectiu de determinar si la fauna bentònica influeix en els fluxos de ^{224}Ra del sediment cap a la columna d'aigua, a través de l'anàlisi dels resultats i de la discussió d'aquests.

Pel que fa a la cobertura vegetal de la Badia dels Alfacs, sí que hi ha diferències entre ST1 i ST2. A més a més, la distribució ha variat respecte a l'últim estudi realitzat l'any 2006. A ST1 hi ha praderies més espesses de *Cymodocea nodosa* i amb organismes amb arrelament més gruixut i per tant hi ha menys espai disponible pel ^{224}Ra , en canvi a ST2 trobem l'alga *Caulerpa prolifera* de forma aïllada i amb arrelament més petit.

La fauna bentònica present a les dues estacions és diferent quant a diversitat, mida de les espècies i nombre d'individus. En el primer punt mostrejat podem dir que les espècies són més petites i estan associades a les fanerògames marines presents, en canvi a ST2 les espècies tenen més capacitat de remoure el sediment a causa dels seus cicles biològics.

Gràcies a la granulometria, l'activitat de ^{224}Ra en el sediment i els perfils de l'aigua intersticial de les diferents estacions són bastant similars a les dues estacions analitzades, i per tant podem confirmar que aparentment no hi ha diferències significatives en la concentració de ^{224}Ra en el sediment entre ST1 i ST2. Tot i això mostren com hi ha més quantitat de ^{224}Ra en el sediment de ST1 que no pas a ST2.

Els resultats de flora i fauna poden ajudar a confirmar la nostra hipòtesi de que a ST2 hi ha més concentració de ^{224}Ra en la columna d'aigua que a ST1, però en canvi els resultats de la granulometria, l'activitat de ^{224}Ra en el sediment i els perfils de l'aigua intersticial no.

D'altra banda, amb els resultats de les incubacions realitzades demostrem com la utilització de l'isòtop de Ra, concretament el ²²⁴Ra, permet traçar les entrades de PEX a la columna d'aigua.

Amb les incubacions, tampoc s'han observat diferències significatives entre els fluxos de les dues estacions mostrejades amb els factors i condicions analitzades. Tot i la semblança dels resultats, podem concloure que les incubacions que contenien flora i fauna són les que, en general, han obtingut de fluxos de ²²⁴Ra majors respecte les que només contenien sediment. Per tant, podem confirmar la nostra hipòtesi de que la fauna bentònica influeix en els fluxos de ²²⁴Ra del sediment, encara que les diferències no siguin del tot notables, fet que ens porta a pensar que les diferències entre estiu i hivern no només són degudes a la fauna, sinó que hi ha d'altres factors que també influeixen.

En segon lloc, gràcies a la comparativa dels nostres resultats amb l'article de Rodellas et al. (2017) hem pogut observar que la concentració de ²²⁴Ra varia significativament al llarg de l'any de manera homogènia a tota la Badia dels Alfacs.

Finalment concloure que la dinàmica estacional podria estar influïda per l'obertura dels canals a l'estiu, ja que podria jugar un paper important en la dilució del Ra en la columna d'aigua a ST1 fent així que les concentracions no siguin tan elevades com les esperades. Les accions de marisqueig poden afavorir al PEX entre el febrer i el juny però no durant l'estiu i per tant són un factor a descartar. A més a més, podem dir que probablement hi ha altres factors estacionals com el vent i el nivell del mar, que influeixen en la difusió del ²²⁴Ra present en el sediment cap a l'aigua de mar i que s'haurien d'incloure i tenir en compte en altres estudis.

10. Propostes de millora

Per finalitzar, s'han realitzat un seguit de propostes de millora que es creuen convenientes un cop estudiada la influència de diferents factors en els fluxos de ²²⁴Ra del sediment, ja que el projecte ha de ser l'inici d'un estudi molt més ampli. Aquesta aportació és la resposta als diferents problemes i debilitats, tot i que també a certs aspectes que s'han visualitzat a mesura que s'ha anat realitzant aquest projecte i podrien donar a lloc a estudis posteriors.

Les propostes de millora es presenten a continuació (Figura 28), s'estructuren en diverses línies estratègiques, programes i accions mitjançant les quals es duran a terme. Per a cada acció plantejada, la informació es presentarà en una fitxa d'accions, on s'acompanyarà de més informació com el termini d'implantació, el període d'execució i altra informació rellevant.

Línia estratègica	Programa	Acció	
1. Recerca	1.1 Millora del mapa de cobertura vegetal	1.1.1 Realització de censos de flora al llarg de la Badia dels Alfacs	
		1.2.1 Augment del nombre de mostres en diferents zones de la Badia dels Alfacs	
		1.2.2 Realització de mostres en diverses èpoques de l'any	
	1.2 Ampliació de l'estudi	1.2.3 Realització d'estudis de l'activitat bentònica principal de la Badia dels Alfacs	
		1.3 Anàlisi d'altres factors	1.3.1 Incorporació d'estudis anuals del vent i nivell del mar
2. Experimental	2.1 Millora de les incubacions	2.1.1 Realització d'incubacions més equitatives per a cada estació	
3. Ambiental	3.1 Trobar possibles afectacions en marisqueig i contaminació de les aigües	3.1.1 A partir dels fluxos de ²²⁴ Ra, estimar els fluxos de nutrients des del sediment a la columna d'aigua	

Figura 28: Línies Estratègiques que es segueixen per dur a terme les propostes de millora. A partir de les línies estratègiques sorgeixen uns programes que s'executen amb unes accions.

Font: Elaboració pròpia

Seguidament, es mostren les diferents fitxes d'accions de les línies estratègiques marcades i un exemple de fitxa (Taula 5) amb l'explicació dels paràmetres establerts en les fitxes.

Taula 5: Model de fitxa d'acció

Font: Material assignatura GPRT de 3r curs del grau CCAA

>> Fitxa		xxx
>> Línia estratègica	>> Número i enunciat de la línia estratègica	
>> Programa	>> Número i nom del programa	
>> Acció	>> Número i nom de l'acció	
>> Objectiu	Informa de les conseqüències desitjades que es deriven de la consecució de l'acció. Es redacta de forma molt sintètica i normalment amb una única forma verbal en infinitiu.	
>> Descripció	Informa, amb la major precisió possible, atenent a la informació disponible, en què consisteix l'acció tractada i com caldria desenvolupar-la. També s'especifiquen prèviament els antecedents que justifiquen l'acció.	
>> Prioritat	>> Termini d'implantació	>> Període d'execució
Grau d'urgència atorgada a la consecució de l'acció. La prioritat pot ser baixa, mitjana o alta. Quan la prioritat alta va acompanyada d'un asterisc indica que l'acció és especialment preferent.	Temps previ necessari que ha de transcórrer per a poder-se iniciar l'execució de l'acció. Ve condicionat per la complexitat de l'acció, per les accions prèvies i indispensables a aquella, o pel nombre d'entitats o administracions involucrades. Es categoritza en termini d'implantació curt (0 a 2 anys), mitjà (3 a 5 anys) i llarg (6 anys i en endavant).	Temps aproximat necessari per executar l'acció un cop superada l'etapa preparatòria d'implantació. Quan l'acció s'executa durant un temps indefinit s'indica que el període d'execució és continuat.
>>Agents implicats	Llista d'administracions, ens, agents socials i/o particulars implicats directament o indirectament amb l'acció, amb independència de que n'assumeixin o no el finançament. Òbviament, a totes les accions s'inclou l'Ajuntament com una de les parts implicades. Aquest s'anota en primer lloc, mentre que els restants s'ordenen alfabèticament.	
>> Cost econòmic	>> Fonts de finançament	
Avaluació econòmica aproximada de l'acció. Quan l'acció és continuada, s'indica el cost per unitat de temps (ex: per any).	Llista d'administracions, ens, agents socials i/o particulars que poden sufragar una part o la totalitat del cost previst per realitzar l'acció. Quan hi apareix l'Ajuntament s'anota en primer lloc, mentre que els restants agents s'ordenen alfabèticament.	
>> Indicadors de seguiment	Paràmetre que cal consultar per conèixer el grau de realització de l'acció. Les accions poden admetre únicament una resposta binària (realitzada/no realitzada) o poden tenir una resposta gradual quan l'acció també ho és. Quan es dona la primera situació s'ha d'anotar "Sense indicador de seguiment", ja que l'únic seguiment possible és aquell que consigni la pròpia realització de l'acció.	

10.1 Fitxes d'accions proposades

A continuació es presenten les fitxes de les propostes de millora per diferents línies estratègiques d'actuació: Recerca, Experimental i Ambiental.

>> Fitxa 1		
>> Línia estratègica	>> 1. Recerca	
>> Programa	>> 1.1. Millora del mapa de cobertura vegetal	
>> Acció	>> 1.1.1. Realització de censos de flora al llarg de la Badia dels Alfacs	
>> Objectiu	Avaluar la distribució de cada espècie vegetal, tant de fanerògames com d'algues i fer un mapa de cobertura de la zona actualitzat.	
>> Descripció	Aquests nous mapes actualitzats podrien servir per informar a la població de les espècies de flora marina existents. A més a més, podrien servir per altres estudis realitzats a la zona o fins i tot per a tenir controlades les praderies de la badia i realitzar mesures de protecció en els casos que fos necessari.	
>> Prioritat	>> Termini d'implantació	>> Període d'execució
Alta	Curt	1 any
>>Agents implicats	Ajuntament de Sant Carles de la Ràpita, Parc Natural del Delta de l'Ebre, Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA – Sant Carles de la Ràpita), Reserva Natural de la Biosfera de les Terres de l'Ebre, Universitats de Catalunya	
>> Cost econòmic	>> Fonts de finançament	
A definir segons els materials emprats.	Ajuntament de Sant Carles de la Ràpita juntament amb el Parc Natural del Delta de l'Ebre o associacions pesqueres de la zona.	
>> Indicadors de seguiment	Sense indicador de seguiment.	

>> Fitxa 2		
>> Línia estratègica	>> 1. Recerca	
>> Programa	>> 1.2. Ampliació de l'estudi	
>> Acció	>> 1.2.1. Augment del nombre de mostrejos en diferents zones de la Badia dels Alfacs	
>> Objectiu	Obtenir resultats més representatius de la badia.	
>> Descripció	La realització de nous mostrejos distribuïts al llarg de tota la badia podrien afavorir a obtenir uns resultats més precisos ja que s'analitzaria la badia de forma homogènia.	
>> Prioritat Mitjana	>> Termini d'implantació Curta	>> Període d'execució 1-3 anys
>> Agents implicats	Ajuntament de Sant Carles de la Ràpita, Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA – Sant Carles de la Ràpita), Reserva Natural de la Biosfera de les Terres de l'Ebre, Universitats de Catalunya	
>> Cost econòmic A definir segons el número de mostrejos	>> Fonts de finançament Ajuntament de Sant Carles de la Ràpita	
>> Indicadors de seguiment	Nombre de mostrejos realitzats, punts escollits per realitzar cada mostreig, anàlisi de resultats.	

>> Fitxa 3		
>> Línia estratègica	>> 1. Recerca	
>> Programa	>> 1.2. Ampliació de l'estudi	
>> Acció	>> 1.2.2. Realització de mostrejos en diverses èpoques de l'any	
>> Objectiu	Comparar els resultats segons l'estacionalitat.	
>> Descripció	A través d'estudis realitzats en diferents estacions de l'any, es podria establir una comparació entre aquestes així com tenir en compte la influència estacional dels diferents factors.	
>> Prioritat Mitjana	>> Termini d'implantació Curt	>> Període d'execució 1-2 anys
>> Agents implicats	Ajuntament de Sant Carles de la Ràpita, Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA – Sant Carles de la Ràpita), Reserva Natural de la Biosfera de les Terres de l'Ebre, Universitats de Catalunya	
>> Cost econòmic A definir segons el número de mostrejos.	>> Fonts de finançament Ajuntament de Sant Carles de la Ràpita	
>> Indicadors de seguiment	Fer campanyes mensuals en diversos punts al llarg de la badia i analitzar els fluxos de ²²⁴ Ra des del sediment a la columna d'aigua en cada cas.	

>> Fitxa 4		
>> Línia estratègica	>> 1. Recerca	
>> Programa	>> 1.2. Ampliació de l'estudi	
>> Acció	>> 1.2.3. Realització d'estudis de l'activitat de la fauna bentònica principal de la Badia dels Alfacs	
>> Objectiu	Determinar quines espècies no estudiades prèviament poden influir més en els fluxos de ²²⁴ Ra del sediment.	
>> Descripció	Els estudis sobre activitat biològica de les espècies més abundants del bentos ajudarien a determinar si trobem una relació entre aquests i els fluxos de ²²⁴ Ra. D'aquesta manera, en cas de que l'activitat de la fauna fos major durant els mesos d'estiu es podria concloure de manera més precisa que la fauna bentònica és un factor important capaç d'influir i augmentar els fluxos de ²²⁴ Ra del sediment.	
>> Prioritat Mitjana	>> Termini d'implantació Curt	>> Període d'execució 1-3 anys
>> Agents implicats	Ajuntament de Sant Carles de la Ràpita, Parc Natural del Delta de l'Ebre, Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentària (IRTA – Sant Carles de la Ràpita), Reserva Natural de la Biosfera de les Terres de l'Ebre, Universitats de Catalunya	
>> Cost econòmic A definir en funció del número d'espècies estudiades.	>> Fonts de finançament Ajuntament de Sant Carles de la Ràpita, Parc Natural del Delta de l'Ebre	
>> Indicadors de seguiment	Escollir espècies a estudiar, recol·lectar individus de cada espècie, fer un seguiment de la seva activitat biològica i analitzar els resultats.	

>> Fitxa 5		
>> Línia estratègica	>> 1. Recerca	
>> Programa	>> 1.3. Anàlisi d'altres factors	
>> Acció	>> 1.3.1. Incorporació d'estudis anuals del vent i nivell del mar	
>> Objectiu	Determinar si el vent i el nivell del mar són factors rellevants en la influència de flux de ²²⁴ Ra del sediment.	
>> Descripció	L'avaluació i incorporació d'estudis sobre el nivell del mar i el vent podrien ajudar a determinar si aquests són rellevants i afavoreixen a l'augment dels fluxos de ²²⁴ Ra del sediment de manera estacional.	
>> Prioritat	>> Termini d'implantació	>> Període d'execució
Alta	Curta	1-3 anys
>>Agents implicats	Ajuntament de Sant Carles de la Ràpita, Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentària (IRTA – Sant Carles de la Ràpita), Reserva Natural de la Biosfera de les Terres de l'Ebre, Universitats de Catalunya	
>> Cost econòmic	>> Fonts de finançament	
A definir segons la quantitat d'estudis que es vulguin tenir en compte.	Ajuntament de Sant Carles de la Ràpita	
>> Indicadors de seguiment	Sense indicador de seguiment.	

>> Fitxa 6		
>> Línia estratègica	>> 2. Millora de la part experimental	
>> Programa	>> 2.1. Millora de les incubacions	
>> Acció	>> 2.1.1 Realització d'incubacions més equitatives	
>> Objectiu	Tenir el mateix número d'incubacions per a cada estació mostrejada.	
>> Descripció	En aquest estudi es podrien haver realitzat més incubacions a ST1 referents a la fauna per tal de que els resultats siguin 100% equiparables a ST2.	
>> Prioritat Mitjana	>> Termini d'implantació Curt	>> Període d'execució 1-3 anys
>>Agents implicats	Ajuntament de Sant Carles de la Ràpita, Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA – Sant Carles de la Ràpita), Reserva Natural de la Biosfera de les Terres de l'Ebre, Universitats de Catalunya	
>> Cost econòmic A definir segons el número d'incubacions realitzades.	>> Fonts de finançament Universitat Autònoma de Barcelona	
>> Indicadors de seguiment	Realitzar incubacions amb les mateixes característiques per cada estació mostrejada.	

>> Fitxa 8		
>> Línia estratègica	>> 1. Ambiental	
>> Programa	>> 1.2. Trobar possibles afectacions en marisqueig i contaminació de les aigües	
>> Acció	>> 1.2.1. A partir dels fluxos de ²²⁴ Ra, estimar els fluxos de nutrients des del sediment a la columna d'aigua	
>> Objectiu	Extrapolar els fluxos de ²²⁴ Ra des dels sediments a la comuna d'aigua a fluxos de nutrients.	
>> Descripció	Determinar els fluxos de nutrients per evitar blooms d'algues i organismes tòxics que puguin contaminar les aigües o afectar a les activitats econòmiques de la zona.	
>> Prioritat	>> Termini d'implantació	>> Període d'execució
Alta	Curt	3-5 anys
>> Agents implicats	Ajuntament de Sant Carles de la Ràpita, Confraria de Pescadors de Sant Carles de la Ràpita, Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentària (IRTA – Sant Carles de la Ràpita), Reserva Natural de la Biosfera de les Terres de l'Ebre, Universitats de Catalunya	
>> Cost econòmic	>> Fonts de finançament	
100.000 €	Ajuntament de Sant Carles de la Ràpita	
>> Indicadors de seguiment	Sense indicador de seguiment.	

11. Programació

L'estudi ha estat realitzat des del mes d'octubre de l'any 2017 fins al juny del 2018:

Taula 6: Programació del TFG.

	OCT			NOV			DES			GEN			FEB	
Recerca bibliogràfica														
Lectura i anàlisi de conceptes														
Recollida mostres al camp														
Muntatge laboratori														
Mesurem el Rapresent als sistemes d'incubació														
Diagrama Gantt														
Determinem la granulometria														
Descripció fauna i flora														
Mesura activitat gamma														
Realització gràfics														
Interpretació dels resultats														
	FEB		MAR			ABR			MAI			JUN		
Recerca bibliogràfica														
Redacció índex, introducció i objectius														
Redacció antecedents i justificació														
Redacció metodologia														
Primera entrega														
Anàlisi i interpretació dels resultats														
Redacció resultats i discussió														
Redacció conclusions														
Redacció propostes de millora														
Redacció annexos i bibliografia														
Segona entrega														
Revisió document final														
Entrega TFG														
Defensa TFG														
Treball de camp														
Treball de laboratori														
Treball de recerca														
Treball de redacció														
Treball d'anàlisi														
Defensa														

12. Pressupost

Taula 7: Pressupost.

Font: Elaboració pròpia

Concepte	Descripció	Preu (€)
Costos directes		
Personal ¹		
Laia i Sonia	Treball de camp 10h/dia x 22 dies x 25€/h Redacció 2h/dia x 130 dies x 30€/h Total x 2 persones	26.600
Dr. Garcia-Orellana	Coordinació i treball de camp 50€/h x 40h	2.000
Dra. Soler	Coordinació i treball de camp 50€/h x 30h	1.500
Marc Diego	Treball de camp 30€/h x 15h	450
Drs. Almudena i Muntsa	Seguiment 13 sessions x 35€/pers x 2 persones	910
Tècnics de laboratori	Treball de camp 1h/dia x 22 dies x 10€/h	220
Despeses de realització		
Desplaçaments campanya	Campanya ² : 3 cotxes → consum de cada cotxe i preu benzina. Anada 28,52€/cotxe x 3 cotxes Tornada 28,53€/cotxe x 3 cotxes (Els viatges inclouen benzina i peatge)	171,15
	Barca ³ : 256€/dia	256
Desplaçament a la UAB (sessions, reunions i laboratori)	Sonia: 142€ bitllet T-Jove x 3 unitats	426
	Laia: 105€ bitllet T-Jove x 3 unitats	315

¹ Sous establerts pel COAMB.

² El preu del desplaçament s'ha calculat amb www.viamichelin.es/web/Itinerarios

³ Preu de referencia de la web <https://www.nautal.es/alquiler-barcos-sant-carles-la-rapita>

Campanya	Materials ⁴ : - 8 Recipients x 12,5 €/u - 4 Pales x 6€/u - 8 Lliteres x 10€/u - 1 Piezòmetre 800€/u - 1 GPS x 40€/u - Altres	1.100 aprox.
	Dietes: 15€ esmorzar i dinar x 6 persones	90
Laboratori	Materials ⁴ : - Mesura amb RaDeCC x 8 mostres x 21 dies x 100€/mesura - 22 Airejadors x 25€ - 3 Bombes peristàltiques x 30€/u - 10 m de tub 1,8€/m - 2 rotllos cinta americana x 1,5€/u - 1 rotllo paper film x 13€/u - Bosses plàstic 5€ - Altres	18.000 aprox.
	Anàlisis externs ⁵ : - Espectrometria gamma x 2 mostres	300
	Dietes ⁶ : dinar 6€/dia x 21 dies x 2 persones	252
Llicències programes ordinador	- Origin 165\$ = 141€ - Kaleida 139,95\$ = 120€ Conversió 1\$ = 0,85€	261
Despeses de la memòria	Impressió color ⁷ : 117 pàg x 0,35€/pàg x 2 còpies Enquadernar: 8€ x 2 còpies	97,9
Total		52.949,05
Costos indirectes (20% dels costos directes)		
Total		10.589,8
IVA (21% del pressupost)		
Total Impostos		13.343,16
VALOR FINAL DEL PRESSUPOST		76.882,01€

⁴ Preus de referència de la web <https://www.amazon.es>

⁵ Preus segons Centro de Instrumentación Científica.

⁶ Preu obtingut del menú del bar de la Facultat de Ciències de la UAB.

⁷ Preu obtingut de la copisteria de la Plaça Cívica de la UAB.

13. Petjada de carboni

En aquest apartat s'ha calculat l'impacte en unitats de CO₂ equivalent que ha generat l'elaboració del treball.

El diòxid de carboni equivalent és una mesura universal que s'utilitza per a indicar el possible augment de l'escalfament global que comporten tots els gasos d'efecte hivernacle (The World Bank, 2017).

Per calcular la petjada de carboni pròpia ens hem basat en el transport dels desplaçaments terrestres realitzats a la universitat tant per a les sessions destinades a l'elaboració d'aquest treball, com a la zona d'estudi a la Badia dels Alfacs. També s'ha destinat un apartat que fa referència al cost d'emissions produït per a la impressió d'aquest treball. Per calcular-la hem utilitzat una calculadora de petjada de carboni (CeroCO₂, 2011). En aquesta calculadora hem hagut d'introduir el transport utilitzat, els quilòmetres transcorreguts i el nombre de viatges realitzats.

13.1 Emissions derivades del transport

En aquest apartat (Taula 8) s'ha tingut en compte el trajecte de la sortida de camp de 3 cotxes des de la UAB fins a Sant Carles de la Ràpita, així com els viatges que hem necessitat per anar a la universitat per les sessions tutoritzades i per les sessions de laboratori.

Taula 8: Càlcul d'emissions derivades del transport.

Font: Elaboració pròpia

Concepte	Mitjà de transport	Distància recorreguda ⁸ (km)	Viatges realitzats	Emissions generades ⁹ (kg CO ₂ eq)
<i>Desplaçament a la UAB (Laia)</i>	Autobús	5	70	20,3
<i>Desplaçament a la UAB (Sonia)</i>	Tren	20	70	41,65
<i>Campanya¹⁰</i>	3 cotxes anada UAB-Alfacs	188	2	428,64
			TOTAL	490,59

⁸ Distància calculada amb www.viamichelin.es/web/ltinerarios

⁹ Càlcul realitzat a <http://www.ceroco2.org/calculadoras/calculo-terrestre>

¹⁰ No hem tingut en compte les emissions de la barca ja que no hem trobat cap font.

13.2 Emissions derivades de la impressió del treball

En aquest apartat s'ha tingut en compte que el treball consta de 100 pàgines i que se n'han fet 2 còpies amb paper no reciclat de qualitat estàndard. En la Taula 9 es mostren els càlculs realitzats:

Taula 9: Càlcul d'emissions derivades de la impressió del treball. Elaboració pròpia

Concepte	Número de fulls	Factor d'emissió ¹¹ (g CO ₂ /full)	Emissions generades (g CO ₂ eq)
<i>Fulls impresos (total del treball)</i>	117 x 2 còpies	3	702

Per tant, després de realitzar els càlculs podem concloure que les emissions de CO₂ corresponents a aquest treball relatiu al transport terrestre i a la seva impressió són de:

$$\text{TOTAL} = 490,59 \text{ kg CO}_2 + 702 = \mathbf{1192,59 \text{ kg CO}_2}$$

¹¹ Factor d'emissió extret de <https://www.camarazaragoza.com>

14. Bibliografia

Aller, R.C. (1980). Quantifying solute distributions in the bioturbated zone of marine sediments by defining an average microenvironment. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 44, 1955-1965.

Bagès Yánez, L. (2017). Anàlisi experimental de la dinàmica estuariana de la Badia dels Alfacs. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports, 3-20.

Baken, T.H., Ruden, F., Mangest, L.E. (2011). Submarine Groundwater: A new concept for the supply of drinking water. *Water Resources Management* 26, 1015-1026.

Ballesteros, E. i Llobert, T. (2015). Fauna i flora de la mar Mediterrània. Brau edicions.

Basterretxea, G., Tovar-Sanches, A., Beck, A.J., Masqué, P., Bokuniewicz, H.J., Coffey, R., Duarte, C.M., Garcia-Orellana, J., Garcia-Solsona, E., Martínez-Rives, L., Vaquer-Sunyer, R. (2010). Submarine groundwater discharge to the coastal environment of a Mediterranean island (Mallorca, Spain): Ecosystem and Biogeochemical significance. *Ecosystems* 13, 629-643.

Bates, R. i Jackson, J. (1984). Dictionary of geological terms. American Geological Institute, New York.

Boada i Juncá, M. i Maneja, R. (2013). El agua y la vida. Editorial Planeta, 38-86.

Bokuniewicz, H. (1980). Groundwater Seepage into Great South Bay, New-York. *Estuarine and Coastal Marine Science* 10, 437-444.

Borja, A., Chust G., del Campo, A., González, M., Hernández, C. (2013). Setting the maximum ecological potential of benthic communities, to assess ecological status, in heavily morphologically-modified estuarine water bodies. *Marine Pollution Bulletin* 71, 199-208.

Boudreau B.P. (1998). Mean mixed depth of sediments: the wherefore and the why. *Limnology and Oceanography* 43, 524-526.

Burnett W.C., Taniguchi, M., Oberdorfer, J. (2001). Measurement and significance of the direct discharge of groundwater into the coastal zone. *Journal of Sea Research* 46, 109–116.

Burnett, W.C. i Dulaiova, H. (2003). Estimating the dynamics of groundwater input into the coastal zone via continuous radon-222 measurements. *Journal of Environmental Radioactivity* 69, 21-35.

Campbell, A.C. (1984). *Guía de la flora y fauna del mar Mediterráneo* (Edició en castellà). Ediciones Omega, S.A. Barcelona.

Charette, M.A., Buesseler, K.O., Andrews, J.E. (2001). Utility of radium isotopes for evaluating the input and transport of groundwater-derived nitrogen to a Cape Cod estuary. *Limnology and Oceanography* 46, 465–470.

Charette, M.A. i Sholkovitz, E.R. (2006). Trace element cycling in a subterranean estuary: Part 2. Geochemistry of the pore water. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 70, 811–826.

Charette, M.A., Moore, W.S., Burnett, W.C. (2008). Uranium- and Thorium-Series Nuclides as Tracers of Submarine Groundwater Discharge (in U-Th Series Nuclides in Aquatic Systems). *Radioactivity in the Environment* 13, 155-191.

Cifuentes, L., Schemel, L. y Sharp, J. (1990). Qualitative and numerical analyses of the effects of river inflow variations on mixing diagrams in estuaries. *Estuarine and Coastal Marine Science* 30, 411-427.

Confraria de Pescadors de Sant Carles de la Ràpita. (2018). Estadístiques sobre la pesca realitzada a la Badia dels Alfacs entre el gener de 2015 i el maig de 2018.

Costa M., Ferrer M., Bonafeu, M. D., Estrada, M., Roger E. (2009). *Ciències de la terra i del Medi Ambient 2*. Castellnou Edicions.

Fetter, C. (1988). *Applied hydrogeology*. McMillan Publishing Co, New York.

Garcia-Orellana, J., Cochran, J.K., Bokuniewicz, H., Daniel, J.W.R., Rodellas, V., Heilbrun, C. (2014). Evaluation of ²²⁴Ra as a tracer for submarine groundwater discharge in Long Island Sound (NY). *Geochimica et Cosmochimica Acta* 141, 314-330.

- Garcia-Solsona, E., Garcia-Orellana, J., Masqué, P., Garcés, E., Radakovitch, O., Mayer, A., Estradé, S., Basterretxea, G. (2010). An assessment of karstic submarine groundwater and associated nutrient discharge to a Mediterranean coastal area (Balearic Islands, Spain) using radium isotopes. *Biochemistry* 97, 211-229.
- Hayward, P., Nelson-Smith, T., Shields, C. (1996). Flora y fauna de las costas de España y de Europa (Edició en castellà del 1998). Ediciones Omega S.A., Barcelona.
- Huettel, M., Ziebis, W., Forster, S. (1996). Flow-induced uptake of particulate matter in permeable sediments. *Limnology and Oceanography* 41, 309-322.
- Huettel, M., Cook, P., Janssen, F., Lavik, G., Middelburg, J.J. (2007). Transport and degradation of a dinoflagellate bloom in permeable sublittoral sediment. *Marine Ecology-Progress Series* 340, 139-153.
- Hwang, D.W., Kim, G., Lee, Y-W., Yang, H.-S. (2005). Estimating submarine inputs of groundwater and nutrients to a coastal bay using radium isotopes. *Marine Chemistry* 96, 61-71.
- Jackson, J., Mehl, J., Neuendorf, K. (2005). Glossary of geology. American Geological Institute, Alexandria, VA.
- Jordana E., Pinedo S. and Ballesteros E. (2015) Macrobenthic assemblages, sediment characteristics and heavy metal concentrations in soft-bottom Ebre Delta bays (NW Mediterranean). *Environmental Monitoring Assessment* 187, 71.
- Keddy, Paul A. (2000). *Wetland ecology: Principles and conservation*. Cambridge University Press, Cambridge. 614.
- Knee, K.L. i Paytan, A. (2011). Submarine groundwater discharge: A source of nutrients, metals and pollutants to the coastal ocean. *Estuarine and Coastal Science* 4, 205-233.
- Krest, J.M., Moore, W.S., Rama. (1999). ^{226}Ra and ^{228}Ra in the mixing zones of the Mississippi and Atchafalaya Rivers: indicators of groundwater input. *Marine Chemistry* 64, 129-152.

Kwon, E.Y., Kim, G., Primeau, F., Moore, W., Cho, H-M. DeVries, T., Sarmiento J., Charette, M., Cho, Y. (2014). Global estimate of submarine groundwater discharge based on an observationally constrained radium isotope model. *Geophysical Research Letters*. Volume 41, Issue 23.

Laurier F.J.G., Cossa D., Beucher C., Brévière E. (2007). The impact of groundwater discharges on mercury partitioning, speciation and bioavailability to Mussels in a coastal zone. *Marine Chemistry* 104, 143-145.

Le Moine N., Andreásson V., Mathevet T. (2008). Confronting surface-and groundwater balances on the La Rochefoucauld-Touvre karstic System. *Water Resources Research* 44.

Lebo M., Sharp J., Cifuentes L. (1994). Contribution of river phosphate variations to apparent reactivity estimated from phosphate-salinity diagrams. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 39, 583-594.

Lee D.R. (1977). A device for measuring seepage flux in lakes and estuaries. *Limnology and Oceanography* 22, 140-147.

Lindgaard C. (1994). The role of zoobenthos in energy flow in two shallow lakes. *Hydrobiologia* 275, 313-322.

Lindner G. (2000). *Moluscos y caracoles de los mares del mundo*. Ediciones Omega, S.A. Barcelona.

Lohrer A.M., Thrush S.F., Gibbs M.M. (2004). Bioturbators enhance ecosystem function through complex biogeochemical interactions. *Nature* 431, 1092-1095.

Maldonado A. (1972) *El Delta del Ebro: Estudio sedimentológico y estratigráfico*. Edicions Universitat de Barcelona.

Martin D., Pinedo S., Sará R. (2000). Distribution patterns and trophic structure of soft-bottom polychaete assemblages in a north-western Mediterranean shallow-water bay. *Ophelia* 53, 1-17.

Metz B., Davidson O., De Coninck H., Loos M., Meyer, L. (2008). Informe especial del IPCC sobre captura y almacenamiento de dióxido de carbono. Cambridge University Press. 303-305.

- Mook W. i Vries J. (2002). Isótopos ambientales en el ciclo hidrológico. Ediciones Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. 325-330.
- Moore W.S., Astwood H., Lindstrom C. (1995). Radium isotopes in coastal waters on the Amazon shelf. *Geochimica et Cosmochimica* 59, 4285-4298.
- Moore W.S. (1996). Large groundwater inputs to coastal waters revealed by ^{226}Ra enrichments. *Nature* 380, 612-614.
- Moore W.S. (1999). The subterranean estuary: a reaction zone of ground water and sea water. *Marine Chemistry*. 65, 111-125.
- Moore W.S. (2000). Determining coastal mixing rates using radium isotopes. *Continental Shelf Research* 20, 1993-2007.
- Moore W.S. (2003). Sources and fluxes of submarine groundwater discharge delineated by radium isotopes. *Biogeochemistry* 66, 75–93.
- Moore W.S., Blanton J.O., Joye S.B. (2006). Estimates of flushing times, submarine groundwater discharge, and nutrient fluxes to Okatee Estuary, South Carolina. *Journal of Geophysical Research* 111.
- Moore W.S. (2010). The Effect of Submarine Groundwater Discharge on the Ocean. *Annual Review of Marine Science* 2, 59–88.
- Moore W.S. i Arnold J. (1996) Measurement of ^{223}Ra and ^{224}Ra in coastal waters using a delayed coincidence counter. *Journal of Geophysical Research* 101, 1321-1329.
- Loder, T. i Reichard, R. (1981). The Dynamics of Conservative Mixing in Estuaries. *Estuaries* 4, 1-64.
- Ortega X. i Jorba J. (1994) Radiaciones ionizantes: Utilización y riesgos. Segona edició. Edicions UPC.
- Palacín C., Martín D., Gili JM. (1991) Features of spatial Distribution of benthic infauna in a Mediterranean shallow-water bay. *Mar Biol* 110, 315-321.
- Pérez M. i Camp J. (1986). Distribución espacial y biomasa de las fanerógamas marinas de las bahías del Delta del Ebro. *Investigación Pesquera*, 519-530.

Pérez M., Llagostera I., Mascaró O. (2006). Mapa de la vegetació submergida de la Badia dels Alfacs (Delta de l'Ebre). Parc Natural del Delta de l'Ebre.

Piñol J. i Martínez-Vilalta J. (2006) Ecología con números. Problemas y ejercicios de simulación. Lynx Edicions. Bellaterra, Barcelona.

Porcelli D. i Swarzenski P.W. (2003) The behaviour of U- and Th series nuclides in groundwater and the tracing of groundwater. *Reviews in Mineral Geochemistry* 52, 317-61.

Rabalais N.N, Harper D.E, Turner R.E (2013). Responses of Nekton and Demersal and Benthic Fauna to Decreasing Oxygen Concentrations. *Coastal and Estuarine Studies*. Chapter 7.

Railsback L.B. (2006) Some Fundamentals of Mineralogy and Geochemistry. University of Georgia, Athens, U.S.A

Rama P.S. i Moore W.S. (1996). Using the radium quartet for evaluating groundwater input and water exchange in salt marshes. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 60, 4645-4652.

Rhoads D.C. (1963). Rates of sediment reworking by *Yoldia limatula* in Buzzards bay, Massachusetts and long island Sound. *Journal of Sedimentary Petrology* 33, 723-727.

Rield R. (1986). Fauna y flora del mar Mediterráneo. Una guía sistemática para biólogos y naturalistas. Ediciones Omega, S.A. Barcelona.

Rodellas V. (2014). Evaluating Submarine Groundwater Discharge to the Mediterranean Sea by using radium isotopes. *Universitat Autònoma de Barcelona*, 53-76.

Rodellas V., Garcia-Orellana J., Masqué P., Feldman M., Weinstein Y. (2015) Submarine groundwater discharge as a major source of nutrients to the Mediterranean Sea. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 112, 3926–3930.

Rodellas V., Garcia-Orellana J., Trezzi G., Masqué P., Stieglitz, T.C., Bokuniewicz H., Kirk Cochran J., Berdalet E. (2017). Using the radium quartet to

quantify submarine groundwater discharge and porewater exchange. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 196, 58-73.

Sanchez F. i Rodriguez-Alvarez M.J. (1999). Effect of pH, temperature, conductivity and sediment size on thorium and radium activities along Jucar River (Spain). *Journal of Radioanalytical Nuclear Chemistry* 242, 671–681.

Santos I.R., Burnet W.C., Dittmar T., Suryaputra I.G.N.A., Chanton J. (2009). Tidal pumping drives nutrient and dissolved organic matter dynamics in a Gulf of Mexico subterranean estuary: The influence of tidal pumping. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 73, 1325-1339.

Santos I.R., Eyre B.D., Huettel M. (2012). The driving forces of porewater and groundwater flow in permeable coastal sediments: A review. *Estuarine and Coastal Marine Science* 98, 1–15.

Shaw T.J., Moore W.S., Kloepfer J., Sochaski M.A. (1998). The flux of barium to the coastal waters of the southeastern USA: the importance of submarine groundwater discharge. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 62, 3047–3054.

Slopp C.P. i Van Cappellen P. (2004) Nutrients inputs to the coastal ocean through submarine groundwater at Stinson Beach, California is enhanced during neap tides. *Limnology and Oceanography* 53, 1434-1445.

Smith R. i Smith T. (2008). *Ecología*. Pearson Educación S.A., 552-553.

Street J.H., Knee K.L., Grossman E.E., Paytan A. (2008). Submarine groundwater discharge and nutrient addition to the coastal zone and coral reefs of leeward Hawai's. *Marine Chemistry* 109, 355-376.

Taniguchi M., Burnett W.C., Cable J.E., Turner J. V. (2002). Investigation of submarine groundwater discharge. *Hydrological Processes* 16, 2115–2129.

Torres M.A., Barros M.P., Campos S.C.G., Pinto E., Rajamani S., Sayre R.t., Colepicolo P. (2008). Biochemical biomarkers in algae and marine pollution: A review". *Ecotoxicology and Environmental Safety* 71, 1-15.

Trezzi G., Garcia-Orellana J., Rodellas V., Masqué P., Garcia-Solsona E., Andersson P. S. (2016) Assessing the role of submarine groundwater discharge

as a source of Sr to the Mediterranean Sea. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 200, 42-54.

Ward P.R.B i Wurzel P. (1968) The measurement of riverflow with radioactive isotopes with particular reference to the method and time of sampling. *Hydrological Sciences Journal* 13, 40-48.

Webster I.T., Hancock G.J., Murray A.S. (1995). Modelling the effect of salinity on radium desorption from sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59, 2469–2476.

Young M.B., Gonnee M.E., Fong D.A., Moore W.S., Herrera-Silveira J., Paytan A. (2008). Characterizing sources of groundwater to a tropical coastal lagoon in a Karstic area using radium isotopes and water chemistry. *Marine Chemistry* 109, 377-394.

15. Webgrafia

Amazon (2018). Preus dels materials. [en línia] Disponible a: <http://www.amazon.com> [Consultat el 16 de juny del 2018].

Auge, M. (2007). Agua fuente de vida. [en línia] Disponible a: <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/miguel/AguaFuenteVida.pdf> [Consultat el 31 de març del 2018].

Camara Zaragoza (2012). Calculador de emisiones. [en línia] Disponible a: <https://www.camarazaragoza.com/wp-content/uploads/2012/10/calculoemisiones.xls> [Consultat el 8 de juny del 2018]

Carrasco, F. (2009). Biología Marina y Oceanografía: Conceptos y Procesos Tomo I. Camilo Werlinger I. Editor. Capítulo 15: Organismos del bentos marino sublitoral: algunos aspectos sobre abundància i distribución, 315-348. [en línia] Disponible a: <http://biblio3.url.edu.gt/Publi/Libros/2013/BioMarina/11.pdf> [Consultat el 26 de març del 2018].

CeroCO₂ (2011). Cálculo de Huella de Carbono por desplazamiento terrestre. [en línia] Disponible a: <http://www.ceroco2.org/calculadoras/calculo-terrestre> [Consultat el 7 de juny del 2018].

CIC - Centro de Instrumentación Científica (2018). [en línia] Disponible a: cic.ugr.es/Servicios-y-unidades/ficha.php [Consultat el 8 de juny del 2018].

Cifuentes, J.L., Torres, M.P., Frías, M. (1997). El océano y sus recursos II. Las ciencias del mar: oceanografía geológica y oceanografía química. [en línia] Disponible a: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/12/htm/sec_18.html [Consultat el 16 de març del 2018].

COAMB - Col·legi d'Ambientòlegs de Catalunya (2018). [en línia] Disponible a: <https://www.coamb.cat/> [Consultat el 8 de juny de 2018].

CORDIS (2015). Servicio de Información Comunitario sobre Investigación y Desarrollo. [en línia] Disponible a: https://cordis.europa.eu/result/rcn/157739_es.html [Consultat el 27 de maig del 2018].

De Pedro Puente, X. (2007). Situacions d'anòxia en zones estuàriques sense forçament mareal: una aproximació als balanços de producció/consum d'oxigen. [en línia] Disponible a: https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/1438/01.XDP_PART_01.pdf [Consultat el 06 de junio de 2018].

Enciclopedia.cat (2018). Riu. [en línia] Disponible a: <https://www.enciclopedia.cat/EC-GEC-0139687.xml> [Consultat el 8 de març del 2018].

Flora catalana (2013). [en línia] Disponible a: <http://www.floracatalana.net> [Consultat el 20 de maig del 2018].

Gonzalez, A.M. i Raisman, J.S. (2000). Hipertextos de biologia. [en línia] Disponible a: <http://biblioteca.org.ar/libros/hipertextos%20de%20biologia/ciclogeo.htm#Contenidos> [Consultat el 20 de març del 2018].

Google Earth (2018). Badia dels Alfacs. [en línia] Disponible a: <https://www.google.com/earth/> [Consultat el 19 de marzo de 2018].

Mediateca (2001). [en línia] Disponible a: <http://mediateca.cl/500/ciclos/ciclo%20del%20carbono.htm> [Consultat el 16 de març del 2018].

Moss, R. (2016). Geotech: What happens to pore water in a soil body when the pore water pressure dissipates? [en línia] Disponible a: <https://www.quora.com/Geotech-What-happens-to-pore-water-in-a-soil-body-when-the-pore-water-pressure-dissipates> [Consultat el 18 d'abril del 2018].

National Oceanic and Atmospheric Administration – U.S. Department of Commerce (2014). [en línia] Disponible a: <https://www.pmel.noaa.gov/co2/story/Coastal+Carbon+Dynamics> [Consultat el 14 d'abril del 2018].

Nautal (2018). Alquiler de barcos. [en línia] Disponible a: <https://www.nautal.es/alquiler-barcos-sant-carles-la-rapita> [Consultat el 6 de junio de 2018].

The World Bank (2017). CO₂ equivalent. [en línia] | Disponible a: <http://www.worldbank.org/en/programs/pricing-carbon> [Consultat el 5 de juny del 2018].

ViaMichelin: trayectos en España y el extranjero (2018). | [en línia] | Disponible en: <https://www.viamichelin.es/web/Itinerarios> [Consultat el 2 de juny de 2018].

Terres de l'Ebre – Turisme, activitats, escapades, packs i experiències (2015). [en línia] Disponible a: http://www.viulebre.com/espais_naturals/badia-dels-alfacs [Consultat el 19 de març del 2018]

WoRMS - Registro mundial de especies marines (2018). | [Marinespecies.org](http://marinespecies.org) [en línia] | Disponible en: <http://marinespecies.org/> [Consultat el 26 de abril de 2018].

Annexos

Índex

Annex 1: Resultats Rodellas et al., (2017)	104
Annex 2: Mesures dels fluxos de ²²⁴ Ra dels sistemes d'incubació.....	106
Annex 3: Corbes de saturació de les incubacions.....	112
Annex 4: Evolució del marisqueig	115

Índex de figures

FIGURA A1: GRÀFICS PER A CADA INCUBACIÓ SUPOSANT QUE ELS FLUXOS DE ²²⁴ RA DEL SEDIMENT CAP A LA COLUMNA D'AIGUA NO SÓN CONSTANTS (1)	110
FIGURA A 2: GRÀFICS PER A CADA INCUBACIÓ SUPOSANT QUE ELS FLUXOS DE ²²⁴ RA DEL SEDIMENT CAP A LA COLUMNA D'AIGUA NO SÓN CONSTANTS (2)	111
FIGURA A3: CORBA DE SATURACIÓ DE ST1_FILTRAT..	112
FIGURA A4: CORBA DE SATURACIÓ DE ST2_FILTRAT..	112
FIGURA A5: CORBA DE SATURACIÓ DE ST1_PRAD..	113
FIGURA A6: CORBA DE SATURACIÓ DE ST2_PRAD..	113
FIGURA A7: CORBA DE SATURACIÓ DE ST1_NOFILTRAT..	114
FIGURA A8: CORBA DE SATURACIÓ DE ST2_NOFILTRAT.	114
FIGURA A9: CORBA DE SATURACIÓ DE ST2_50..	115
FIGURA A10: CORBA DE SATURACIÓ DE ST2_10.	115
FIGURA A11: EVOLUCIÓ DE LA PESCA DE LA BADIA DELS ALFACS DES DEL 2015 FINS L'ACTUALITAT SEGONS CADA ESPÈCIE: GRUMOLS, CANYUT I CARAGOLINES.	117

Índex de taules

TAULA A1: ACTIVITATS DELS ISÒTOPS DE RA EN LES ESTACIONS DE L'ESTUDI DE RODELLAS ET AL., (2017) AL LLARG DE LA BADIA DELS ALFACS	104
TAULA A2: RESULTATS MESURES RADECC.	107
TAULA A3: CAPTURES DE CADA ESPÈCIE PER MES I ANY DES DE L'1 DE GENER DEL 2015 FINS EL 31 DE MAIG DEL 2018 A LA BADIA DELS ALFACS.	116

Annex 1: Resultats Rodellas et al., (2017)

A continuació es mostren els resultats de l'estudi de Rodellas et al., (2017) a partir dels quals hem calculat els factors multiplicatius (apartat 3). També hem utilitzat les concentracions mitjanes amb els canals oberts (estiu) i amb els canals tancats (hivern) a l'apartat 8.

Taula A1: Activitats dels isòtops de Ra en les estacions de l'estudi de Rodellas et al., (2017) al llarg de la Badia dels Alfacs. S'inclouen els resultats de tres mostres: canals oberts (juny 2011), canals semioberts (desembre 2012) i canals tancats (febrer 2012).

Font: Rodellas et al., 2007

Station	Water Depth m	Salinity	Temp °C	²²⁸ Ra	²²⁴ Ra	²²⁸ Ra	²²⁸ Ra
				dpm 100L ⁻¹	dpm 100L ⁻¹	dpm 100L ⁻¹	dpm 100L ⁻¹
<i>Open channels</i>							
St1	4.4	35.6	25.5	4.9 ± 0.4	29 ± 2	16.2 ± 0.5	31 ± 3
St2	4.7	35.6	25.5	4.3 ± 0.3	32.7 ± 1.2	20.9 ± 0.6	35.1 ± 1.1
St3	1.3	35.5	25.6	5.3 ± 0.4	91 ± 4	16.2 ± 0.5	30.9 ± 1.2
St4	5.0	35.4	26.0	5.2 ± 0.5	27.2 ± 1.5	17.2 ± 0.7	33.7 ± 1.4
St5	5.4	35.0	25.9	4.5 ± 0.4	32 ± 2	21.8 ± 0.5	33.2 ± 0.9
St5-deep	5.4	37.4	23.4	4.8 ± 0.4	41 ± 2	16.7 ± 1.5	19.8 ± 1.0
St6	1.0	35.6	25.5	6.6 ± 0.5	61 ± 3	18.8 ± 1.0	30 ± 3
St7	6.0	35.7	24.8	3.4 ± 0.3	26.0 ± 1.3	19.0 ± 0.5	32 ± 3
St8	6.2	36.2	25.1	5.2 ± 0.4	73 ± 3	17.6 ± 0.5	30 ± 3
St8-deep	6.2	36.9	23.3	4.5 ± 0.4	38 ± 2	16.8 ± 1.2	21.6 ± 1.0
St9	0.4	36.5	25.9	9.3 ± 0.8	142 ± 5	18.6 ± 0.5	40.8 ± 1.3
St10	4.6	35.6	25.4	3.8 ± 0.3	28 ± 2	23.3 ± 1.4	29.1 ± 1.3
St12	6.2	36.0	24.9	4.2 ± 0.3	44 ± 3	18.1 ± 0.6	33.7 ± 1.5
St12-deep	6.2	37.4	22.8	2.0 ± 0.2	24 ± 2	12.6 ± 0.5	13.3 ± 1.0
St13	0.7	36.7	24.5	7.2 ± 0.6	64 ± 3	15.8 ± 0.6	30 ± 3
St14	4.6	35.3	25.4	3.8 ± 0.3	30 ± 2	18.7 ± 1.4	27.3 ± 1.3
St15	5.9	35.8	24.8	3.9 ± 0.3	31 ± 2	16.7 ± 1.2	28.1 ± 1.1
St15-deep	5.9	37.2	23.1	2.0 ± 0.2	16.8 ± 1.2	14.3 ± 0.5	17.0 ± 1.0
St16	0.6	37.0	25.7	4.4 ± 0.5	79 ± 3	12.4 ± 1.4	23.6 ± 1.2
St17	5.2	35.2	25.2	3.4 ± 0.3	30 ± 2	15.9 ± 0.5	32 ± 3
St18	6.3	35.8	25.0	3.0 ± 0.2	30 ± 2	15.8 ± 1.2	21.5 ± 1.1
St18-deep	6.4	37.4	23.6	1.6 ± 0.2	12.9 ± 1.0	15.1 ± 0.6	11.6 ± 0.9
St19	6.4	36.1	24.8	3.8 ± 0.4	30 ± 2	16.9 ± 1.3	25.4 ± 1.2
St20	7.8	35.8	24.7	3.6 ± 0.3	24 ± 2	15.7 ± 1.0	26 ± 2
Average				3.6 ± 0.3	31.8 ± 1.5	16.1 ± 0.8	23.5 ± 1.4
<i>Semi-open channels</i>							
St1	4.9	35.1	10.3	2.6 ± 0.2	19.9 ± 1.4	18.9 ± 0.7	25.2 ± 1.5
St2	5.2	35.0	10.0	2.6 ± 0.2	21.9 ± 1.4	15.1 ± 0.8	26 ± 2
St3	3.1	35.0	10.0	3.7 ± 0.2	37 ± 2	17.3 ± 1.1	32 ± 2
St4	5.2	35.8	11.0	2.5 ± 0.2	17.4 ± 1.2	18.8 ± 1.5	22 ± 3
St5	5.9	34.9	9.6	2.0 ± 0.1	18.9 ± 1.1	18.4 ± 0.5	27.3 ± 1.1
St5-deep	5.9	34.9	9.7	2.3 ± 0.2	19.4 ± 1.2	17.1 ± 0.7	28 ± 2
St6	1.2	34.8	9.8	3.5 ± 0.2	35 ± 2	19.6 ± 1.6	29 ± 2
St7	5.9	33.9	10.0	2.2 ± 0.1	17.7 ± 1.1	19.5 ± 0.7	28 ± 2
St8	6.2	34.7	9.3	2.9 ± 0.1	20.2 ± 1.2	18.5 ± 0.7	28.0 ± 1.5
St8-deep	6.2	35.6	10.5	1.6 ± 0.1	16.7 ± 1.2	16.2 ± 0.7	24 ± 3
St9	1.3	34.9	9.1	3.3 ± 0.4	46 ± 3	15.2 ± 0.7	29 ± 2
St10	4.9	34.7	9.8	2.7 ± 0.2	19.3 ± 1.3	18.9 ± 0.6	21.6 ± 1.2
St12	6.1	34.8	9.4	2.3 ± 0.2	17.5 ± 1.0	15.6 ± 0.7	24.6 ± 1.4
St12-deep	6.1	35.5	10.5	1.9 ± 0.1	17.3 ± 1.0	14 ± 2	24 ± 2
St13	1.2	35.0	9.6	3.7 ± 0.1	61 ± 2	20.9 ± 1.0	36 ± 2
St14	4.6	34.7	9.8	1.8 ± 0.1	18.9 ± 1.3	24.1 ± 1.0	22 ± 2

INFLUÈNCIA DE L'ACTIVITAT DE LA MACROFAUNA EN EL FLUX DE ²²⁴RA DELS SEDIMENTS

St15	5.8	35.3	10.4	2.2 ± 0.1	23.3 ± 0.9	20.2 ± 0.9	22.6 ± 1.4
St15-deep	5.8	37.4	13.2	0.6 ± 0.1	12.3 ± 0.8	11.4 ± 1.3	8.1 ± 0.8
St16	1.0	36.4	11.7	2.4 ± 0.1	35 ± 2	16.8 ± 0.9	22 ± 2
St17	5.0	34.7	9.7	2.0 ± 0.1	16.4 ± 1.0	21.0 ± 0.7	25.5 ± 1.3
St18	6.1	34.7	9.3	2.5 ± 0.2	19.4 ± 1.1	19.0 ± 0.7	24.1 ± 1.4
St18-deep	6.1	37.3	12.8	0.8 ± 0.1	10.9 ± 0.8	12.8 ± 1.1	8.7 ± 0.8
St19	6.9	35.5	10.2	2.2 ± 0.1	22.0 ± 1.5	15 ± 2	20 ± 2
St20	8.2	35.7	10.9	1.9 ± 0.1	14.4 ± 1.0	16.9 ± 0.5	17.8 ± 1.1
Average				2.1 ± 0.1	19.6 ± 1.1	16.6 ± 0.9	22 ± 2
<i>Closed channels</i>							
St1	4.5	36.0	5.3	0.6 ± 0.1	5.7 ± 0.4	12.2 ± 1.2	9.5 ± 0.7
St2	5.3	35.8	4.9	1.2 ± 0.1	12.5 ± 0.7	18 ± 3	14 ± 2
St3	2.7	35.6	4.8	1.0 ± 0.2	16.3 ± 1.3	23 ± 2	22 ± 3
St4	4.5	36.3	5.7	0.7 ± 0.1	5.9 ± 0.4	26.4 ± 0.9	10.9 ± 0.7
St5	5.9	35.9	5.0	0.8 ± 0.1	6.4 ± 0.4	13.1 ± 1.1	7.7 ± 0.8
St5-deep	5.9	36.0	5.2	0.8 ± 0.1	7.5 ± 0.5	10.3 ± 0.8	10.0 ± 1.2
St6	1.7	35.8	5.0	1.1 ± 0.1	11.9 ± 0.8	11.6 ± 0.7	12.0 ± 0.9
St7	5.0	36.4	5.9	0.9 ± 0.1	6.2 ± 0.4	23.4 ± 1.2	9.7 ± 1.3
St8	6.4	36.3	5.4	1.0 ± 0.1	8.4 ± 0.5	13.0 ± 1.4	10.7 ± 0.8
St8-deep	6.4	36.3	5.8	1.0 ± 0.1	8.4 ± 0.5	10.5 ± 1.1	10 ± 2
St9	1.0	36.0	6.0	0.9 ± 0.1	11.7 ± 0.8	20.0 ± 1.1	11 ± 2
St10	4.1	36.8	6.2	0.7 ± 0.1	6.1 ± 0.3	11.1 ± 0.5	6.2 ± 0.7
St12	6.3	36.6	5.9	0.4 ± 0.1	5.6 ± 0.8	7.4 ± 0.7	5.7 ± 0.7
St12-deep	6.3	36.8	6.5	0.8 ± 0.1	7.2 ± 0.5	11.6 ± 0.8	9.9 ± 1.2
St13	1.0	36.0	5.3	0.9 ± 0.1	14.2 ± 0.9	20.6 ± 0.5	8.9 ± 0.6
St14	4.8	36.9	7.8	0.5 ± 0.1	7.2 ± 0.4	8.0 ± 0.3	6.4 ± 0.8
St15	5.9	37.1	7.7	0.5 ± 0.1	7.4 ± 0.5	20.2 ± 1.2	5.6 ± 0.6
St15-deep	5.9	37.1	8.1	0.6 ± 0.1	7.0 ± 0.4	12.4 ± 0.7	5.5 ± 0.7
St16	0.8	36.5	6.6	0.8 ± 0.1	8.7 ± 0.7	11.7 ± 0.9	6.2 ± 0.5
St17	5.2	37.3	8.5	0.5 ± 0.1	10.6 ± 0.5	12.5 ± 0.4	7.1 ± 0.6
St18	6.3	37.2	7.8	0.4 ± 0.1	6.8 ± 0.4	18.2 ± 1.2	10.2 ± 1.1
St18-deep	6.3	37.5	8.7	0.6 ± 0.1	6.1 ± 0.8	7.9 ± 0.7	4.6 ± 0.5
St19	6.5	37.1	7.2	0.5 ± 0.1	7.3 ± 0.5	10.0 ± 0.4	6.6 ± 0.5
St20	7.8	37.1	7.6	0.7 ± 0.1	8.5 ± 0.4	10.7 ± 0.3	8.0 ± 0.5
Average				0.7 ± 0.1	7.7 ± 0.5	14.3 ± 1.2	8.7 ± 1.0

Annex 2: Mesures dels fluxos de ^{224}Ra dels sistemes d'incubació

A la pàgina següent es mostra una taula amb les mesures del RaDeCC.

Taula A2: Resultats mesures RaDeCC. A dalt de tot podem trobar les dimensions dels recipients on est trobaven els sistemes d'incubació. A la taula trobem, d'esquerra a dreta les següents columnes: el codi de la mostra fa referència al codi de cada incubació, la data inicial ens informa el dia en que havíem filtrat l'aigua per última vegada i la data final el dia que recollíem les mostres; a la següent columna el temps que ha transcorregut entre la data d'inici i la data final. A la columna detector, el codi del detector emprat del RaDeCC i a continuació els resultats obtinguts en diferents unitats. Per últim trobem la mitjana dels resultats marcats amb color de cada incubació.

Codi Mostra	Incubacions		Amplitud=	0,41 cm	Àrea=	0,13 cm ²				
	Data inicial	Data final	Longitud=	0,32 cm	Temps (dies)	DETECTOR	²²⁴ Ra (dpm/100L)	Error ²²⁴ Ra (dpm/100L)	dpm/(m ² *d)	Error dpm/(m ² *d)
ALF1710_ST1_ALGUES_1	30/10/17 15:05	02/11/17 12:55	2,9	C	289	12	75,76	3,17	53	
ALF1710_ST1_ALGUES_1REP	20/11/17 11:05	23/11/17 11:32	3,0	1	86	6	21,71	1,60		
ALF1710_ST1_ALGUES_2	02/11/17 12:55	08/11/17 13:42	6,0	3	618	26	78,02	3,32		
ALF1710_ST1_ALGUES_3	08/11/17 13:42	20/11/17 11:05	11,9	B	71	4	4,54	0,24		
ALF1710_ST1_ALGUES_3R	08/11/17 13:42	20/11/17 11:05	11,9	B	70	4	4,49	0,28		
ALF1710_ST1_ALGUES_1DIA	11/12/17 11:25	12/12/17 10:27	0,96	B	114	6	90,50	4,68		
ALF1710_ST1_ALGUES_9DIES	12/12/17 10:27	21/12/17 11:07	9,03	A	163	7	13,77	0,61		
ALF1710_ST1_FILTRAT_1	31/10/17 13:22	03/11/17 12:42	3,0	D	110	7	28,12	1,72	22	
ALF1710_ST1_FILTRAT_1 REP	21/11/17 10:30	24/11/17 08:37	2,9	1	192	10	50,21	2,56		
ALF1710_ST1_FILTRAT_2	03/11/17 12:42	09/11/17 11:07	5,9	1	171	9	22,01	1,17		
ALF1710_ST1_FILTRAT_2R	03/11/17 12:42	09/11/17 11:07	5,9	1	175	10	22,42	1,28		
ALF1710_ST1_FILTRAT_3	09/11/17 11:07	21/11/17 10:30	12,0	A	233	11	14,82	0,72		
ALF1710_ST1_FILTRAT_1DIA	13/12/17 10:25	14/12/17 11:00	1,0	C	132	7	98,05	5,16		
ALF1710_ST1_NOFILTRAT_1	30/10/17 15:05	02/11/17 12:55	2,9	D	499	20	130,75	5,17	67	
ALF1710_ST1_NOFILTRAT_1REP	20/11/17 11:00	23/11/17 13:42	3,1	C	306	14	74,85	3,39		
ALF1710_ST1_NOFILTRAT_2	02/11/17 12:55	08/11/17 13:10	6,0	3	407	17	51,66	2,22		
ALF1710_ST1_NOFILTRAT_3	08/11/17 13:10	20/11/17 11:00	11,9	A	286	13	18,31	0,82		
ALF1710_ST1_NOFILTRAT_3R	08/11/17 13:10	20/11/17 11:00	11,9	A	251	11	16,09	0,68		
ALF1710_ST1_NOFILTRAT_1DIA	11/12/17 13:15	12/12/17 11:47	0,94	A	202	9	164,33	7,04		
ALF1710_ST1_FILTRAT_9DIES	12/12/17 11:47	21/12/17 11:02	9,0	3	298	12	25,30	1,01		

INFLUÈNCIA DE L'ACTIVITAT DE LA MACROFAUNA EN EL FLUX DE ²²⁴Ra DELS SEDIMENTS

Codi Mostra	Data inicial	Data final	Temps (dies)	DETECTOR	²²⁴ Ra (dpm/100L)	Error ²²⁴ Ra (dpm/100L)	dpm/(m2*d)	Error dpm/(m2*d)	Mitjana
ALF1710_ST2_10GRANS_1	30/10/17 15:05	02/11/17 12:55	2,9	3	71	5	18,64	1,24	15
ALF1710_ST2_10GRANS_1REP	20/11/17 10:00	23/11/17 10:10	3,0	D	128	8	32,36	1,95	
ALF1710_ST2_10GRANS_2	02/11/17 12:55	08/11/17 13:42	6,0	C	103	6	12,98	0,81	
ALF1710_ST2_10GRANS_3	08/11/17 13:42	20/11/17 10:00	11,8	C	186	9	11,96	0,58	
ALF1710_ST1_10GRANS_1DIA	11/12/17 10:47	12/12/17 12:37	1,08	C	134	6	95,22	4,29	
ALF1710_ST2_10GRANS_9DIES	12/12/17 12:37	21/12/17 10:02	8,89	1	249	10	21,31	0,89	
ALF1710_ST2_50CARG_1	31/10/17 13:22	03/11/17 12:42	3,0	B	157	9	40,22	2,22	30
ALF1710_ST2_50CARG_1REP	21/11/17 10:27	24/11/17 07:37	2,9	C	191	10	50,44	2,63	
ALF1710_ST2_50CARG_2	03/11/17 12:42	09/11/17 11:07	5,9	3	244	12	31,38	1,59	
ALF1710_ST2_50CARG_3	09/11/17 11:07	21/11/17 10:27	12,0	D	307	13	19,55	0,86	
ALF1710_ST2_50CARG_1DIA	13/12/17 11:37	14/12/17 09:47	0,9	B	145	7	119,48	5,51	
ALF1710_ST2_50CARG_8 DIES	14/12/17 09:47	22/12/17 16:02	8,26	1	103	5	9,52	0,42	
ALF1710_ST2_ALGUES_1	30/10/17 15:05	02/11/17 12:55	2,9	1	181	9	47,39	2,30	30
ALF1710_ST2_ALGUES_1REP	20/11/17 13:17	23/11/17 11:32	2,9	3	220	11	57,19	2,85	
ALF1710_ST2_ALGUES_2	02/11/17 12:55	08/11/17 13:42	6,0	D	231	10	29,17	1,31	
ALF1710_ST2_ALGUES_3	08/11/17 13:42	20/11/17 13:17	12,0	D	221	10	14,03	0,66	
ALF1710_ST2_ALGUES_3R	08/11/17 13:42	20/11/17 13:17	12,0	D	214	9	13,59	0,60	
ALF1710_ST2_ALGUES_1DIA	11/12/17 12:32	12/12/17 12:07	0,98	D	136	6	105,64	4,90	
ALF1710_ST2_ALGUES_9DIES	12/12/17 12:07	21/12/17 12:17	9,01	B	154	7	13,06	0,60	
ALF1710_ST2_FILTRAT_1	31/10/17 18:55	03/11/17 12:42	2,7	C	92	6	25,53	1,60	23
ALF1710_ST2_FILTRAT_1REP	21/11/17 13:30	24/11/17 08:42	2,8	3	168	9	45,79	2,54	
ALF1710_ST2_FILTRAT_2	03/11/17 12:42	09/11/17 10:07	5,9	3	196	11	25,38	1,44	
ALF1710_ST2_FILTRAT_2	03/11/17 12:42	09/11/17 10:07	5,9	1	172	8	22,19	1,09	
ALF1710_ST2_FILTRAT_3	09/11/17 10:07	21/11/17 13:30	12,1	B	306	14	19,22	0,86	
ALF1710_ST2_FILTRAT_1DIA	13/12/17 12:02	14/12/17 11:17	1,0	A	101	6	79,35	4,51	

INFLUÈNCIA DE L'ACTIVITAT DE LA MACROFAUNA EN EL FLUX DE ²²⁴RA DELS SEDIMENTS

Codi Mostra	Data inicial	Data final	Temps (dies)	DETECTOR	224Ra (dpm/100L)	Error 224Ra (dpm/100L)	dpm/(m2*d)	Error dpm/(m2*d)	Mitjana
ALF1710_ST2_NOFILTRAT_1	31/10/17 13:22	03/11/17 12:42	3,0	A	106	7	27,07	1,67	26
ALF1710_ST2_NOFILTRAT_1REP	21/11/17 12:27	24/11/17 10:02	2,9	D	199	10	52,28	2,58	
ALF1710_ST2_NOFILTRAT_2	03/11/17 12:42	09/11/17 10:07	5,9	3	240	11	30,99	1,42	
ALF1710_ST2_NOFILTRAT_3	09/11/17 10:07	21/11/17 12:27	12,1	C	335	15	21,14	0,94	
ALF1710_ST2_NOFILTRAT_1DIA	13/12/17 11:37	14/12/17 11:40	1,0	D	120	6	91,40	4,88	

Els resultats de les mitjanes de cada incubació són els que hem utilitzat en l'apartat 7.6. A continuació mostrarem la representació gràfica d'aquests valors per veure com actuen els fluxos a cadascuna de les incubacions.

Totes les gràfiques són d'elaboració pròpia i el programa emprat per a la realització d'aquestes és l'Excel.

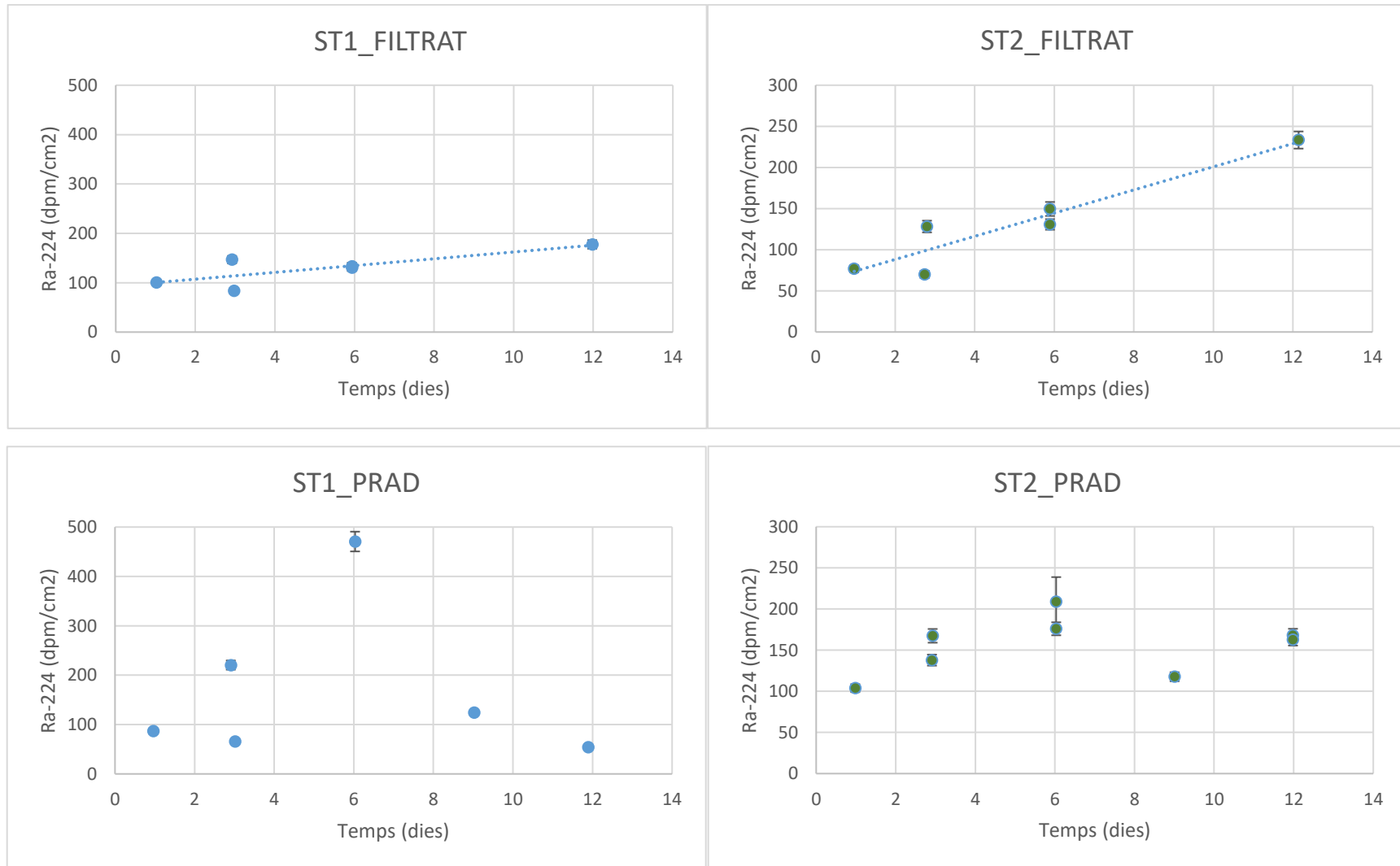


Figura A1: Gràfics per a cada incubació suposant que els fluxos de ^{224}Ra del sediment cap a la columna d'aigua no són constants (1). A la primera fila es poden comparar les incubacions de ST1 i ST2 FILTRAT i a la segona fila les incubacions de ST1 i ST2 PRAD.

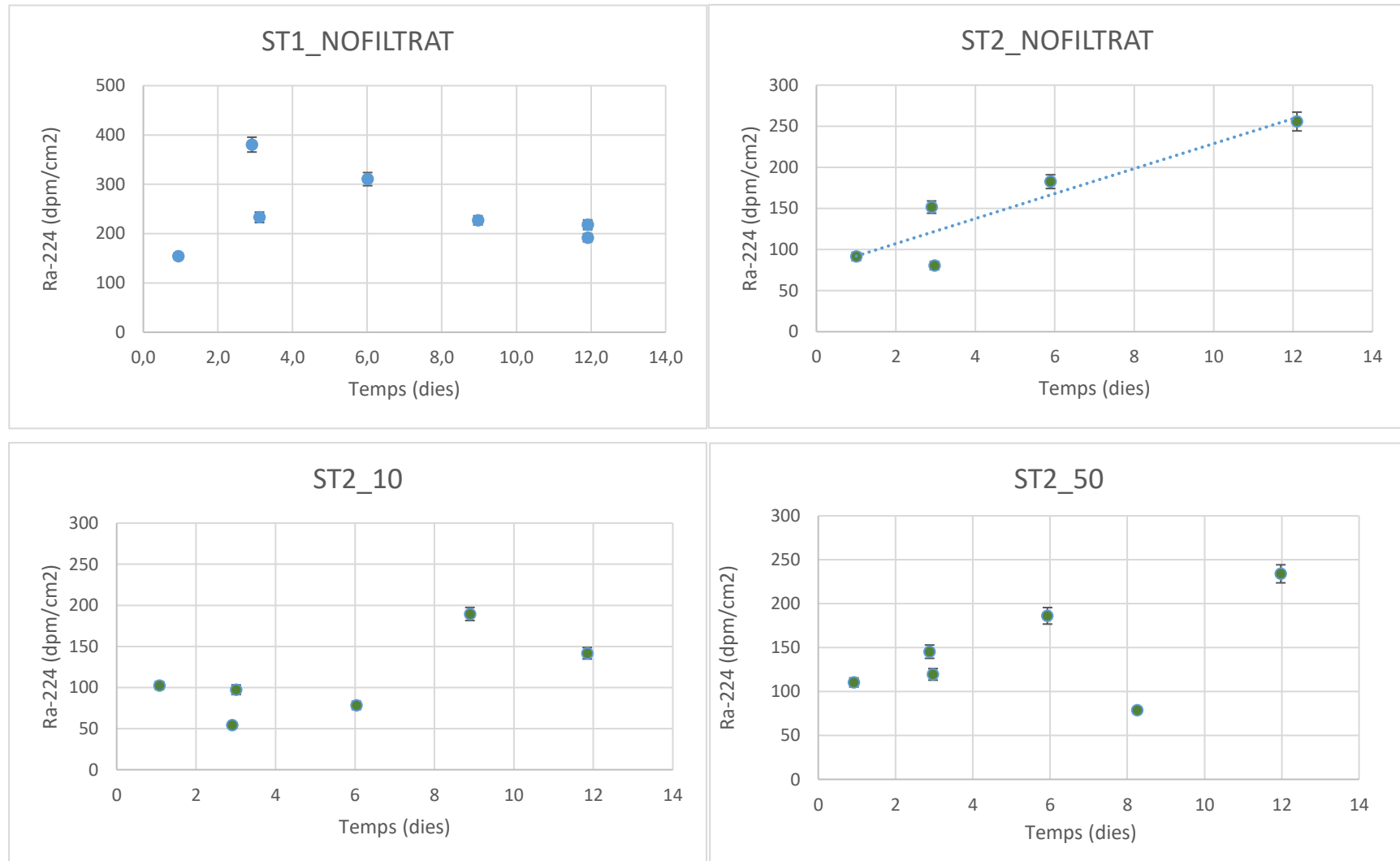


Figura A 2: Gràfics per a cada incubació suposant que els fluxos de ^{224}Ra del sediment cap a la columna d'aigua no són constants (2). A la primera fila es poden comparar les incubacions de ST1 i ST2 NOFILTRAT i a la segona fila veiem les incubacions ST2_10 i ST2_50.

Annex 3: Corbes de saturació de les incubacions

A continuació es mostren les gràfiques amb les corbes de saturació de cada incubació (suposant que els fluxos són constants, apartat 7.6). Les incubacions FILTRAT, PRAD i NOFILTRAT es troben ambdues estacions en la mateixa pàgina per poder-les comparar.

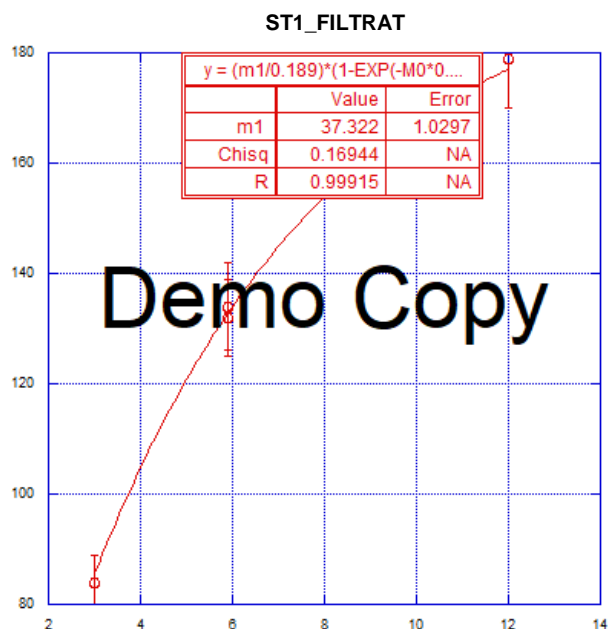


Figura A3: Corba de saturació de ST1_FILTRAT. A la taula veiem el flux de ^{224}Ra del sediment a la columna d'aigua (37,32) i el seu error (1,03).

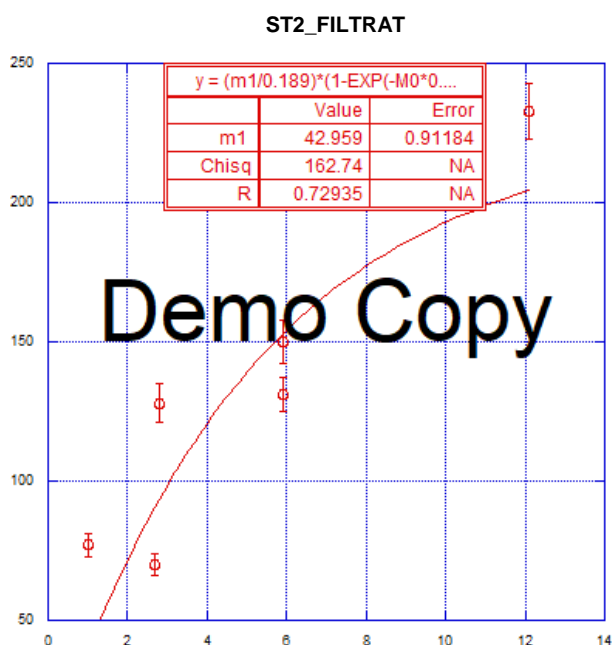


Figura A4: Corba de saturació de ST2_FILTRAT. A la taula veiem el flux de ^{224}Ra del sediment a la columna d'aigua (42,96) i el seu error (0,91).

En aquest cas, trobem les dues incubacions que contenien *Caulerpa prolifera* i *Cymodocea nodosa* en el cas de ST1 i *Caulerpa prolifera* a ST2.

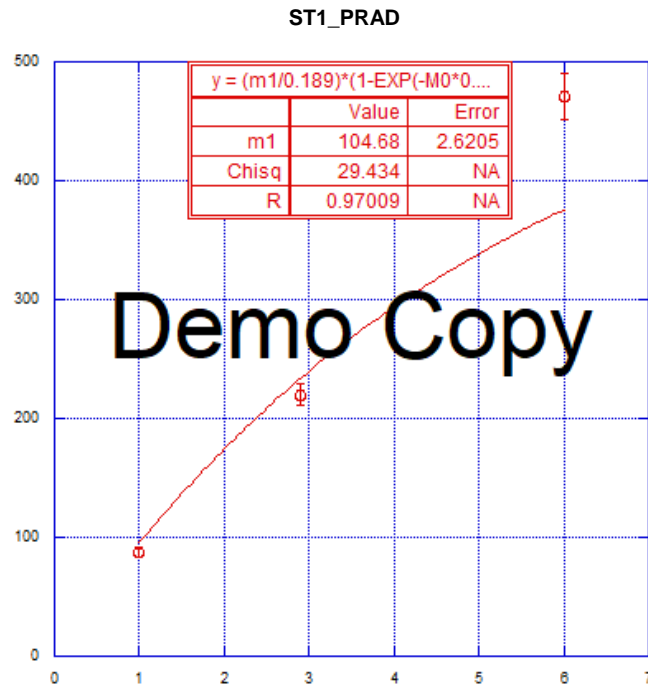


Figura A5: Corba de saturació de ST1_PRAD. A la taula veiem el flux de ²²⁴Ra del sediment a la columna d'aigua (104,68) i el seu error (2,62).

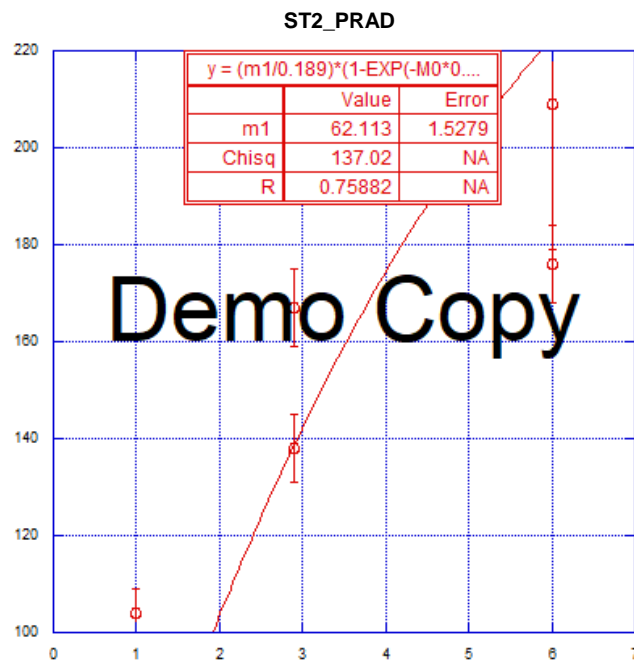


Figura A6: Corba de saturació de ST2_PRAD. A la taula veiem el flux de ²²⁴Ra del sediment a la columna d'aigua (62,11) i el seu error (1,53).

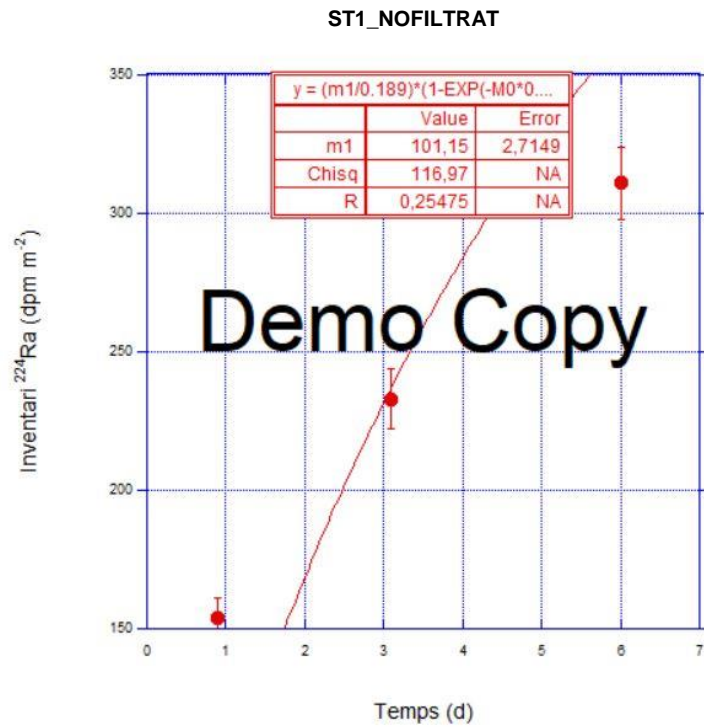


Figura A7: Corba de saturació de ST1_NOFILTRAT. A la taula veiem el flux de ²²⁴Ra del sediment a la columna d'aigua (101,15) i el seu error (2,71).

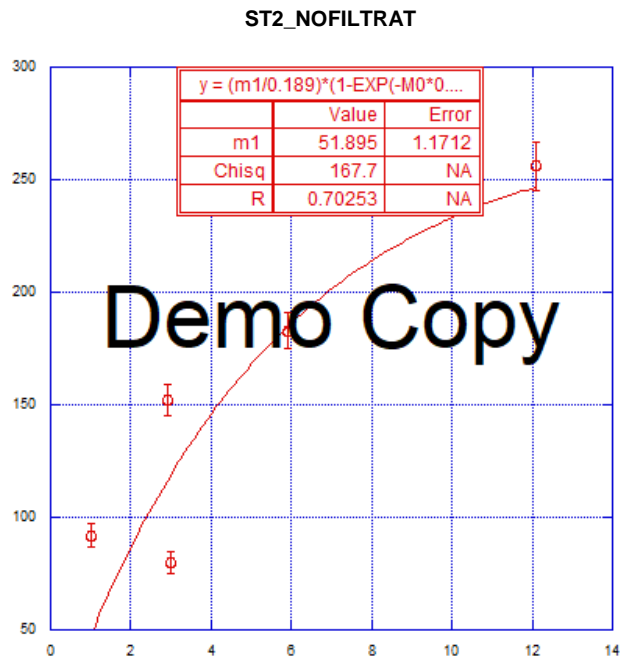


Figura A8: Corba de saturació de ST2_NOFILTRAT. A la taula veiem el flux de ²²⁴Ra del sediment a la columna d'aigua (51,89) i el seu error (1,17).

La resta de corbes de saturació s'exposen a continuació. Ambdues corresponen a ST2, la primera és la incubació amb 10 exemplars de *Hexaplex trunculus* i la segona correspon a la incubació amb 50 exemplars de *Tritia reticulata*.

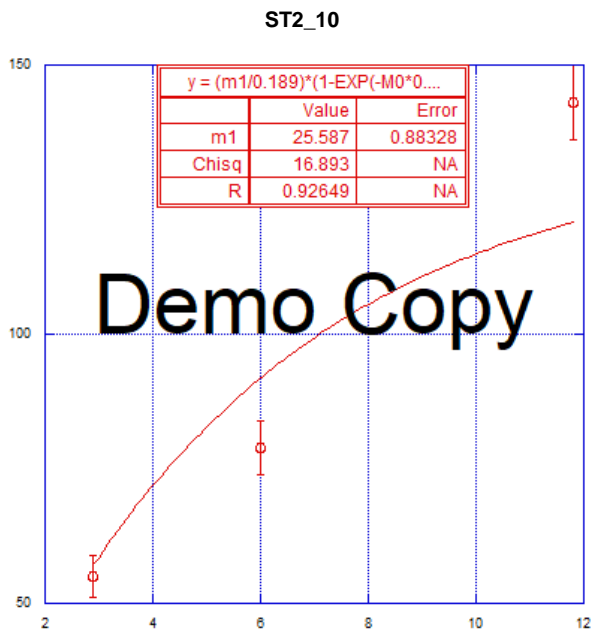


Figura A10: Corba de saturació de ST2_10. A la taula veiem el flux de ²²⁴Ra del sediment a la columna d'aigua (25,59) i el seu error (0,88).

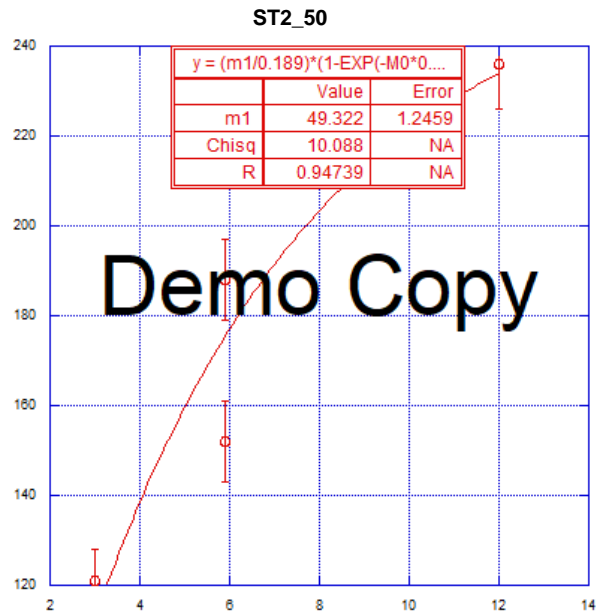


Figura A9: Corba de saturació de ST2_50. A la taula veiem el flux de ²²⁴Ra del sediment a la columna d'aigua (49,32) i el seu error (1,25).

Totes les gràfiques són d'elaboració pròpia, i el programa emprat per la realització d'aquestes s'anomena Kaleida.

Annex 4: Evolució del marisqueig

A continuació es mostren les estadístiques que ens va facilitar la Confraria de Pescadors de Sant Carles de la Ràpita. Es tracta de l'evolució dels últims 3 anys de les captures de marisqueig

Es parla de l'activitat antròpica, concretament del marisqueig en l'apartat 8.2.4.

Taula A3: Captures de cada espècie per mes i any des de l'1 de gener del 2015 fins el 31 de maig del 2018 a la Badia dels Alfacs.

Font: Confraria de Pescadors de Sant Carles de la Ràpita

Peix	Descripció	Any	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Novembre	Desembre
80	GRUMOLS	2015	1,2	0	23,25	85,4	20,6	19,5	24,6	2,5	0	0	6,8	17
80	GRUMOLS	2016	9	51,1	14,1	102	152,1	102,9	0	1,6	0	0	16,9	51,7
80	GRUMOLS	2017	0	178,7	142,9	73,9	111,5	82,7	0	0	0	4,5	2,5	1,2
80	GRUMOLS	2018	0	0	0	7,4	9,3	0	0	0	0	0	0	0

Peix	Descripció	Any	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Novembre	Desembre
84	CARAGOL	2015	12033	5274,45	7364,9	8015,6	6944,5	6448	1573,8	862,3	3275,9	4940,8	6451,64	14180,8
84	CARAGOL	2016	5075,9	6400,05	5081,9	5299,5	7079	4210	2429,1	2522	4895,35	3878,45	5932,25	10868,8
84	CARAGOL	2017	7287,8	6479,5	9800,7	5265,9	8115,05	4777	902,6	833,3	2690,2	4306,1	5746,55	5557,7
84	CARAGOL	2018	5239,3	5012,25	5681,2	4824,2	5150,7	0	0	0	0	0	0	0

Peix	Descripció	Any	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Novembre	Desembre
83	CANYUT	2015	2890	1795	3400	4705	4599	5701	2909	2807	3595	2325,6	3811	5271
83	CANYUT	2016	3284	2281	3264	4491	4322	4148	2068	1186	616	282	1035	2353
83	CANYUT	2017	1497,8	3224	3817	4860	8882	7550	4222	3450	2099	2179	2656	1659
83	CANYUT	2018	3480	3247	5315	6406	5759	0	0	0	0	0	0	0

Una vegada coneixem les dades, a la següent pàgina es mostren en format gràfic, per poder veure l'evolució amb més claredat.

Figura A11: Evolució de la pesca de la Badia dels Alfacs des del 2015 fins l'actualitat segons cada espècie: grumols, canyut i caragolines.

Font: Confraria de Pescadors de Sant Carles de la Ràpita

