

Urban River Lab

-Technical Reports-

vol. 6



Avaluació de sistemes de depuració d'aigües residuals alternatius per a tractar cases aïllades

Maig-Setembre 2023



1. Introducció

1.1 Antecedents

Les EDAR's juguen un paper fonamental a l'hora de reduir les càrregues de matèria orgànica i nutrients (nitrogen i fòsfor) de les aigües residuals produïdes per l'activitat humana. En aquest sentit, la implementació de les EDAR's des del 1990 ha millorat la qualitat de les aigües dels ecosistemes fluvials receptors. L'OMS i l'UNICEF estimen que, a l'Estat espanyol, i per extensió a Catalunya, el percentatge de la població que té accés als serveis de sanejament és del 100%. Malgrat aquestes dades, encara queden alguns petits nuclis urbans i dispersos (la majoria amb població inferior a 2.000 habitants) que no tenen un sistema consolidat de sanejament (Informe del CAD5 3/2016). En concret, al 2019 s'estimava que el 2,9% de la població encara no disposava d'un sistema de sanejament adequat per tractar les aigües residuals generades. Tot i que el cabal associat a aquestes aigües residuals no és molt rellevant, la càrrega de matèria orgànica i nutrients sí que és elevada i pot tenir efectes adversos en rius receptors que normalment són de mida petit. En l'Informe 3/2015, sobre el Pla de gestió del districte de conca fluvial de Catalunya, el CADS recomana buscar solucions adequades de baix cost i baix impacte ambiental per a aquests nuclis.

La contribució relativa dels efluents d'aigua residuals sense tractar sobre el cabal dels rierols receptors és molt variable al llarg de l'any, essent molt important durant els moments de sequera estival, donat que en condicions de cabals baixos, la dilució de l'efluent és mínima. Per tant, l'aigua que circula pel riu pot arribar a ser el 100% aigua residual. La degradació dels ecosistemes aquàtics s'atribueix principalment a l'excés de concentracions de nutrients d'origen antropogènic. Aquesta degradació combinada amb l'escassetat d'aigua que actualment estan patint els ecosistemes aquàtics, és la principal causa d'alarma del retrocés dels recursos hídrics a escala global.

En regions de clima mediterrani, aquests efectes poden ser més acusats. El clima mediterrani, caracteritzat per una alta variabilitat en les precipitacions, provoca que el règim hidrològic dels rius d'aquesta regió estigui sotmès a condicions extremes de sequeres i riuades. Aquesta variabilitat es veu alterada de forma important pel canvi global, augmentant així els episodis de sequera en magnitud i durada. Així doncs, els ecosistemes fluvials de la regió mediterrània estan patint alteracions importants que afecten a la seva conservació i biodiversitat autòctona, trencant l'heterogeneïtat i

connectivitat dels diferents hàbitats; per tant, alterant greument la seva estructura i funcionament (DMA, 2000/60/CE).

Els sistemes de depuració natural basades en les denominades “Nature Based Solutions” (NBS) són una eina molt important i fonamental per mitigar aquesta problemàtica, ja que aborden diversos reptes socials preservant la sostenibilitat dels ecosistemes. Els sistemes de depuració d'aigües residuals naturals més eficients es basen en filtres de grava, però aquestes s'han d'extreure i transportar; per tant, tenen un alt cost econòmic i generen una petjada de carboni molt important. Seguint la línia de recerca dels darrers 9 anys a l'URL s'han buscat alternatives a l'ús de les grava. En aquest estudi es vol avaluar la capacitat de retenció de nitrogen i fòsfor de diferents configuracions de sistemes de depuració d'aigües residuals utilitzant materials de km0 d'origen vegetal, així com residus de processos industrials per tal de millorar la qualitat d'aquestes aigües abans de ser abocades al medi natural.

1.2 Metodologia

L'experiment es va dur a terme a les instal·lacions de l'Urban River Lab (URL; www.urbanriverlab.com), un laboratori a l'aire lliure format per 12 canals de formigó de 12 metres de llargada, 60 cm d'amplada i 40 cm de profunditat alimentats per l'aigua residual tractada de l'efluent de la depuradora de Montornès del Vallès. Els 3 primers metres de cada canal es van omplir amb materials vegetals o residus industrials i es va fixar el cabal d'aigua d'entrada a 2 L min⁻¹. Més concretament, es van testar 4 configuracions diferents, anomenades tractaments, i cada tractament es va aplicar a 3 canals diferents que van servir com a rèpliques (4 tractaments X 3 rèpliques = 12 canals). Els tractaments varen ser:

- Tractament 1: Sacs de cafè de jute/coco (Fig. 1a).
- Tractament 2: Sacs de cafè de jute/coco plantats amb 3 espècies d'helòfits: *Scirpus lacustris*, *Iris pseudacorus*, *Carex pendula*, (Fig. 1b).
- Tractament 3: Brancada de més de 3mm de diàmetre de *Castanea sativa* de 10cm de llargada (Fig. 1c).
- Tractament 4: Sacs de cafè de jute/coco omplerts de fulles de *Platanus hispanica* (Fig. 1d).

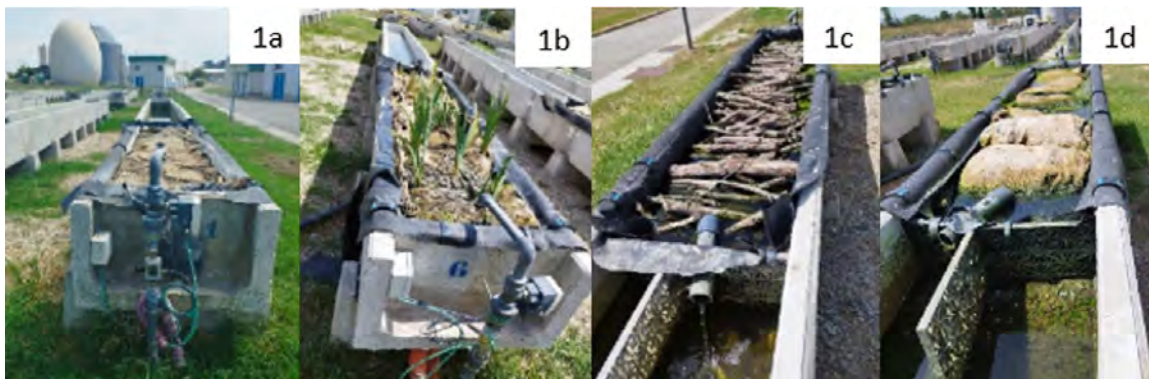


Figura1: Tractaments utilitzats per avaluar la seva capacitat de retenció de nutrients en aigües residuals sense depurar.

La capacitat de retenció de nutrients dels 4 tractaments en va testar en 2 condicions experimentals diferents:

- A: En condicions basals: amb l'aigua residual tractada procedent de l'efluent de l'EDAR.

- B: En condicions enriquides: afegint aigua residual sense tractar per tal d'augmentar 3 vegades les concentracions basals de matèria orgànica i nutrients.

Per assolir les condicions enriquides es van omplir 4 bidons de 1000 L amb aigua del decantador primari de la mateixa EDAR i es va injectar a l'inici dels canals a un flux constant, utilitzant bombes peristàltiques, durant 48 hores.

Es van realitzar un total de 4 mostrejos per tal d'avaluar la capacitat de retenció de nutrients dels tractaments en diferents condicions temporals i experimentals. Al maig del 2023 es va realitzar un primer mostreig per mesurar la capacitat de retenció de nutrients en condicions basals (BASAL 1). Al juliol del 2023 es va fer una altra mesura en condicions basals (BASAL 2) i seguidament, es va dur a terme una altra mesura en condicions enriquides experimentalment (ENRIQUIT 1). Al setembre del 2023 es va fer un darrer mostreig en condicions basals (BASAL 3). Les condicions basals, tot i no correspondre a les característiques de l'aigua residual no tractada que és la que rebrien en cas d'implementar-se en sistemes de depuració, ens permeten comparar el funcionament dels diferents tractaments en diferents estadis de desenvolupament. Les condicions experimentals (ENRIQUIT 1) ens permeten avaluar la resposta funcional de cada tractament en front a l'aplicació d'aigua residual no tractada.

Per avaluar la capacitat de retenció d'amoni (NH_4^+) i fosfat (PO_4^{3-}) dels 4 tractaments, es van agafar mostres d'aigua a l'inici de cada canal i al final del tram de canal a on hi havia dipositats els substrats dels diferents tractaments (3 m aigües avall de l'inici dels canals). Les mostres del final del tractament s'agafaven més tard que les mostres a l'inici del canal. La diferència de temps entre la presa de mostres a l'inici i al final del tram corresponia al temps promig de transport de l'aigua entre aquests dos punts (Nominal Travel Time, NTT). El NTT es va determinar als 12 canals abans de realitzar cada un dels 4 mostrejos utilitzant addicions puntuals de sal (NaCl , com a traçador hidrològic) a l'inici del canal i mesurant la conductivitat al final dels tractaments (3 m aigües avall de l'inici dels canals) amb un conductímetre. Per a cada mostreig i a cada canal es va repetir la recollida de mostres a l'inici del canal i al final del tractament en tres hores consecutives. Les mostres es va filtrar amb filtres de fibra de vidre de $0.7 \mu\text{m}$ en vials i es va analitzar la concentració de NH_4^+ i PO_4^{3-} amb un espectrofotòmetre de camp (NOVA60; Merck), d'acord amb el protocol establert per cada nutrient. La capacitat de retenció de NH_4^+ i PO_4^{3-} a cada canal es va calcular mitjançant la següent equació:

$$\% \text{ Retenció} = \frac{(\text{Conc IN}) - (\text{Conc OUT})}{\text{Conc IN}} \times 100$$

on Conc IN i Conc OUT són les concentracions de nutrients a l'inici del canal i al final del tractament, respectivament.

Valors positius indiquen una disminució de la concentració del nutrient al final del tractament; i per tant, una retenció neta del nutrient. En canvi, valors negatius indiquen un augment de la concentració del nutrient al final del tractament; per tant, una alliberació neta del nutrient.



2. Resultats i Discussió

2.1 Resultats i Discussió

A la figura 2, es pot observar que en el mostreig Basal 1, en tots els tractaments es va alliberar NH_4^+ en major o menor mesura, és a dir, els valors de retenció varen ser negatius. Els tractaments amb sacs i sacs amb plantes alliberaven més NH_4^+ (aproximadament, $R = -55\%$) que els tractaments amb sacs amb fulles i en els troncs alliberaven menys NH_4^+ (-18.5% i -3.7% , respectivament). En el mostreig Basal 2, l'alliberament de NH_4^+ disminueix en els sacs (-25.09%) i es produeix retenció neta en la resta de tractaments, amb percentatges de retenció positiva més elevats pels troncs, seguit dels sacs amb fulles i, finalment dels sacs amb planta (37.7% , 33.6% i 12.0% , respectivament). Finalment, en el mostreig Basal 3, realitzat 2 mesos més tard del primer (Basal 1) al final d'estiu, es va poder observar que els tractaments tornaven a alliberar NH_4^+ com en el mostreig inicial (sacs amb plantes = -34.21% ; troncs = -9.77% ; i sacs amb fulles = -8.13%). El tractament amb sacs va ser l'excepció donat que va mantenir una retenció neta, tot i que amb un percentatge inferior a l'obtingut durant el mostreig Basal 2 (Fig. 2). Durant l'addició d'aigua residual no tractada hi va haver retenció neta de NH_4^+ en tots els tractaments, amb valors més alts en els tractaments sacs i sacs amb planta (38.30% i 32.29% , respectivament). Els valors de retenció neta varen ser més baixos en els tractaments de sacs amb fulles (10.38%) i de troncs (5.89%). Els mecanismes principals associats a la retenció de NH_4^+ són la nitrificació (oxidació microbiana de NH_4^+ a NO_3^-) i l'assimilació biològica per part de plantes i microorganismes (incorporació del nitrogen als teixits). Tenint en compte que l'aigua residual comporta un increment de matèria orgànica dissolta i compostos reduïts, possiblement l'increment de retenció de NH_4^+ va estar associat a un increment de l'assimilació d'aquest element per part de microorganismes. Si es comparen aquests resultats amb els dels mostrejos basals 1, 2 i 3 s'observen diferències importants. En base a aquests resultats, s'observa que aquests tractaments, tenen capacitat de retenir NH_4^+ , però aquesta capacitat presenta un moment òptim durant les condicions d'estiu. A més, durant aquest període, aquesta capacitat es veu afavorida per la disponibilitat de matèria orgànica associada a les aigües residuals no tractades.

En el cas del PO_4^{3-} , els resultats van ser força més erràtics que els del NH_4^+ (Fig. 2). Durant el mostreig inicial (Basal 1), contràriament al que es va observar per l' NH_4^+ , la retenció de P va ser

neta (valors positius) en sacs, sacs amb planta i troncs (4.41%, 17.12% i 2.63% respectivament); en canvi, es va produir alliberament en els sacs amb fulles (-10.39%). En el mostreig Basal 2 (60 dies després), els percentatges de retenció neta van augmentar en tots els casos respecte al Basal 1, excepte en els sacs amb planta que va disminuir (5.41%). En el mostreig final basal (Basal 3) s'observa un percentatge d'alliberament de PO_4^{3-} considerable en sacs amb fulles (-45.35%). Als tractaments de troncs i sacs amb planta també hi ha alliberament de PO_4^{3-} , però en menor mesura (-18.97% i -5.95%, respectivament). En el cas dels sacs, s'observa un percentatge molt alt de retenció de PO_4^{3-} (80.75%) (Fig.2).

Contràriament al que passa amb el NH_4^+ , durant l'addició d'aigua residual no tractada s'observa un alliberament de PO_4^{3-} . Aquesta resposta contrasta amb els valors positius (retenció neta de PO_4^{3-}) mesurats justament abans de l'enriquiment (Basal 2). L'alliberament més elevat es va observar en el tractament de troncs (-14.99%) seguit dels sacs amb planta (-10.44%) i, amb valors més baixos, en sacs amb fulles i sacs sense res (-8.71% i -1.61% respectivament). L'augment de la concentració de PO_4^{3-} durant l'enriquiment podria ser degut a una redissolució de P retingut afavorida per un increment d'activitat metabòlica associat a l'increment de matèria orgànica durant l'addició.

La retenció de nutrients en ecosistemes amb vegetació aquàtica està regulada per l'assimilació de N i P en els teixits de les plantes. Tot i que el nivell de retenció de nutrients d'aquests sistemes depèn de la taxa de creixement, la maduresa i la fisiologia de les plantes, així com de la disponibilitat de nutrients (Nikolakopoulou, 2020). Ara bé, les comunitats microbianes que es desenvolupen a les arrels de les plantes (l'anomenada rizosfera) també contribueixen a assimilar, transformar i retenir el N i P. Alguns estudis fins i tot mostren que l'activitat dels microorganismes juga un paper molt més rellevant que les plantes en la retenció de nutrients de l'ecosistema. Els resultats del present estudi també van en aquesta direcció, mostrant que aquells tractaments on només hi ha comunitats microbianes assoleixen capacitats de retenció de nutrients similars o superiors al tractament de sacs amb plantes. El cas de la resposta del tractament només amb sacs n'és un bon exemple, tenint en compte que és el tractament que manté capacitat de retenció tant de N com de P al final de l'experiment, després de 5 mesos de tractament. Aquesta retenció està associada a les comunitats de microorganismes que es desenvolupen en l'entramat de les fibres del sac.

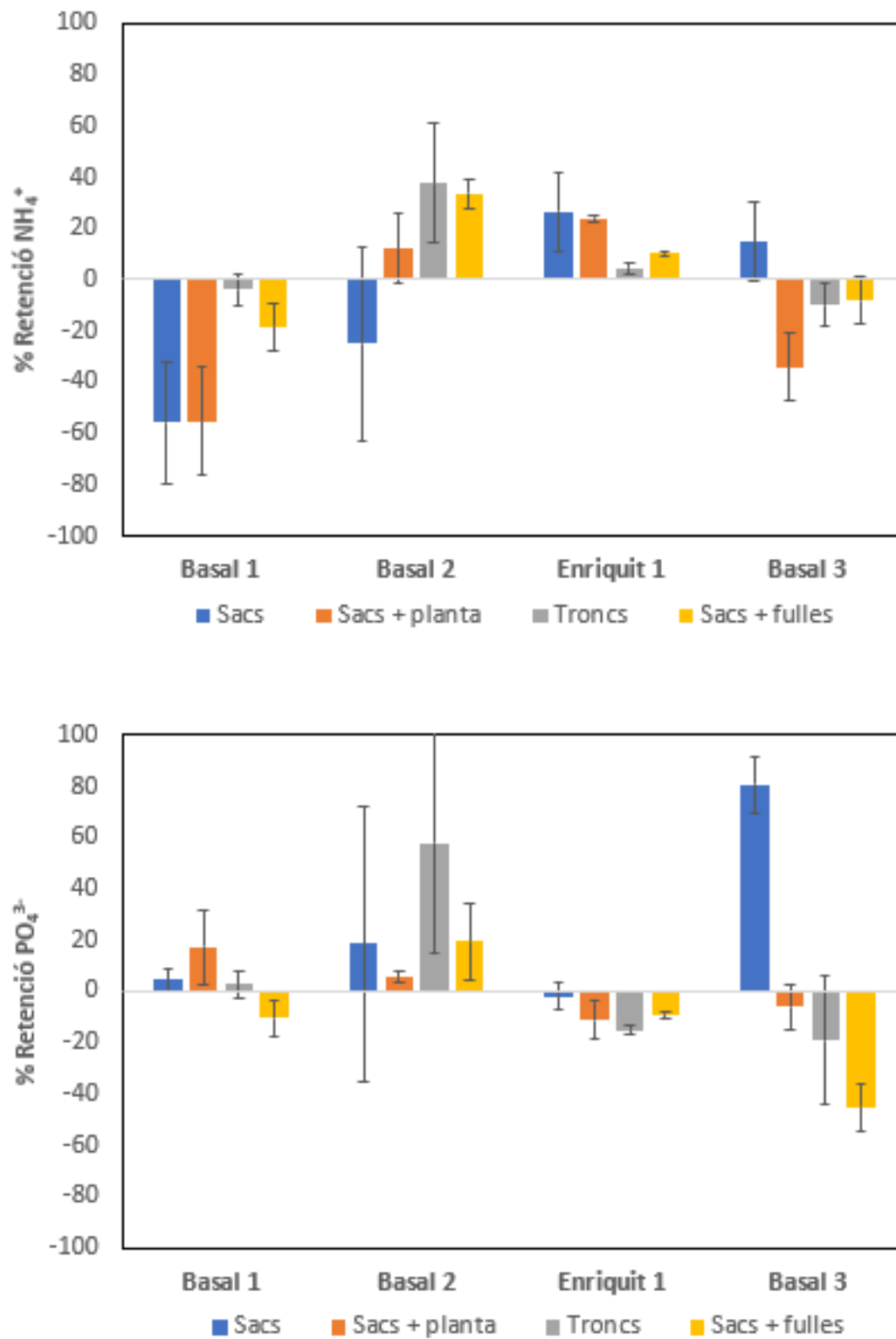


Figura 2: Percentatge de retenció d' NH_4^+ i PO_4^{3-} amb diferents tractaments (Fig.1) en diferents condicions (Basal 1, Basal 2, Enriquit 1 i Basal 3)



3. Conclusions

3.1 Conclusions

Amb els resultats obtinguts en aquest projecte, es pot concloure que és viable la utilització de residus generats en la indústria alimentària (sacs de cafè) o de matèria orgànica detrítica de km0 (restes de poda de castanyer) en el disseny de sistemes de depuració d'aigües residuals. Aquestes estratègies es basen en productes naturals i són més sostenibles. Ara bé, cal tenir en compte que aquestes estratègies poden ser factibles en condicions de cabals d'aigües residuals relativament petits. Per tant, poden ser una bona solució per al tractament d'aigües residuals en cases aïllades o petits nuclis urbans.

Cal indicar que els resultats suggereixen que la capacitat de retenir nutrients d'aquests sistemes, sobretot amoni, sembla estar maximitzada en moments de condicions ambientals òptimes (estiu amb bones temperatures) per a l'activitat de les plantes i els microorganismes. Això també podria estar explicat pel fet que és necessari un temps determinat perquè la planta s'adapti al sistema i que les comunitats microbianes es desenvolupin. No obstant, sembla que aquesta capacitat es perd amb el temps i podria coincidir amb el fet que els processos de mineralització de la matèria orgànica de la malla del sac o dels troncs esdevé més important que el procés d'assimilació i, per tant, el resultat net és una alliberació de nutrients a la columna d'aigua. En aquest sentit, donat que cada tractament va mostrar una dinàmica temporal diferenciada en la retenció de nutrients i també una resposta diferent a l'addició d'aigua residual no tractada, seria interessant desenvolupar sistemes de depuració que combinin de manera seqüenciada aquests tractaments per avaluar si el seu funcionament es complementa i incrementa la retenció. Per exemple, la presència de sacs amb macròfits emergents pot facilitar l'eliminació de nitrogen via assimilació, mentre que la disponibilitat d'una font de carboni làbil en els sacs amb fulles pot estimular l'activitat microbiana i, per tant, els processos de retenció de N.

És interessant indicar que hem observat que la contribució d'aquests tractaments a la retenció de nutrients difereix en funció de l'element que s'estudia (N i P). En concret, això va ser molt evident en la resposta davant de l'addició d'aigua residual no tractada, que va incrementar la quantitat de matèria orgànica dissolta. En aquest cas, mentre que els tractaments incrementaven la retenció de N,

també incrementaven l'alliberament de P. Aquests resultats suggereixen que és important identificar el problema en relació a la qualitat de l'aigua de l'efluent abans de seleccionar un tractament de retenció de nutrients concret. Tot i això, és evident que caldrà continuar investigant per trobar estratègies que afavoreixin la retenció de P utilitzant sistemes de tractament sostenibles.

Els sistemes artificials de flux subsuperficial basats en l'ús de les estructures utilitzades en aquest estudi poden resultar efectius no només perquè aquest tipus de sistemes millora la qualitat de l'aigua oxidant l'amoni, reduint nitrats i retenint el fòsfor, sinó que a la vegada poden constituir una aportació de nous hàbitats on per al desenvolupament de vida silvestre aquàtica i terrestre.

Aquest tipus de sistemes estan en la línia de les estratègies amb solucions basades en la natura (NBS) i esdevenen una bona estratègia en la depuració d'aigües residuals, sobretot per petites comunitats rurals que no poden connectar-se als sistemes convencionals d'EDAR's. Amb la creació de llacunes artificials utilitzant els diversos tractaments d'aquest estudi i combinant-los seqüencialment es pot millorar la qualitat de les aigües residuals d'aquests petits nuclis abans de ser derivades a lleres fluvials. Es pot concloure que, a més d'utilitzar una tecnologia més econòmica i sostenible, el seu manteniment és més senzill. Per tant, amb un bon coneixement de la dinàmica de funcionament d'aquests tractaments i una bona gestió temporal es pot aconseguir una bona eficiència en el tractament secundari de les aigües residuals de petits nuclis i cases aïllades.



4. Referències

4.1 Referències

1. Ávila Díaz, J. A., Arciniega Gavaliz, M. A. and Hernández Sandoval, P., 2022. Depuración de aguas residuales domésticas mediante un sistema de humedal artificial con Canna indica como alternativa sostenible que contribuye al objetivo 6 (agua limpia y saneamiento) de los ODS. En: Aportes a los objetivos del Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030. Sinaloa: Astra Ediciones S.A. de C.V., p. 248.
2. Georgia Nikolakopoulou, N., 2020. The functional pole of emergent macrophytes in nature-based solutions (NBS) aiming to mitigate nutrient loading in freshwater ecosystems. Barcelona: Universitat de Barcelona.
3. Informe del CAD5 3/2016. Objectiu 6: Garantir la disponibilitat i una gestió sostenible de l'aigua i el sanejament per a totes les persones.



5. Equip de treball

5.1 Personal

Aquest treball ha estat realitzat per:

- Sara Castelar, Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CEAB-CSIC).
- Miquel Ribot, Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CEAB-CSIC).
- Eugènia Martí, Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CEAB-CSIC).
- Esperança Gacia, Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CEAB-CSIC).
- Albert Sorolla, Naturalea Conservació
- Gabriela Pucuji, Naturalea Conservació
- Manel Isnard, Consorci Besòs-Tordera
- Toni Mas, Consorci Besòs-Tordera
- Martina Contini, Consorci Besòs-Tordera
- Francesc Sabater, Universitat de Barcelona (UB)
- Ana Febrero, Universitat de Barcelona (UB)
- Jordi Bort, Universitat de Barcelona (UB)

5.2 Agraïments

Aquest estudi ha estat finançat per Naturalea S.L amb el suport del Centre d'Estudis Avançat de Blanes, el Consorci Besòs Tordera, la Universitat de Barcelona i Cafès Novell; i ha format part del Treball Final de Màster de la Gabriela Pucuji.

5.3 Entitats promotores

