

Urban River Lab -Technical Reports- vol. 5



**Efecte del temps de residència hídrica sobre la
qualitat de l'aigua en ecosistemes aquàtics
receptors d'aigües residuals tractades**

Maig-Juny 2021



1. Introducció

1.1 Antecedents

El temps de residència (TR) de l'aigua (o temps necessari per a la renovació total del volum d'aigua del sistema) en ecosistemes aquàtics és una característica rellevant, donat que pot afectar l'estructura i funció de la comunitat d'organismes que s'hi desenvolupa, i alhora, pot tenir conseqüències importants sobre la qualitat de l'aigua d'aquests ecosistemes. En concret, la terbolesa de l'aigua pot estar influenciada pel TR de l'aigua en aquests ecosistemes. La terbolesa de l'aigua ve determinada per la quantitat de partícules en suspensió a la columna de l'aigua. De manera general, a major quantitat de partícules en suspensió, major terbolesa i menor transparència de l'aigua. No obstant això, l'efecte de l'increment de la terbolesa sobre l'ecosistema pot variar en funció de l'origen de les partícules, donat que poden ser orgàniques (matèria orgànica detrítica o bacteris, fongs i algues) o inorgàniques (sediments). Si hi ha més partícules hi ha més dificultat per penetrar la llum, amb possibles implicacions per al funcionament dels organismes fotoautòtrofs (i.e., algues o plantes subaquàtiques). Una disminució de l'activitat fotosintètica en aquests ecosistemes aquàtics pot afectar el balanç entre les taxes de producció primària (producció d'oxigen) i respiració (consum d'oxigen) de la comunitat d'organismes; i per tant, pot tenir conseqüències directes sobre la concentració d'oxigen dissolt a l'aigua i la seva variació diària. Una taxa elevada de respiració pot provocar condicions d'hipòxia (concentració d'oxigen $< 2 \text{ mg L}^{-1}$) durant la nit que poden ser crítiques, i fins i tot letals, pels macroinvertebrats i peixos de l'ecosistema aquàtic.

En llacunes artificials amb plantes aquàtiques (helòfits) dissenyades pel tractament terciari d'aigües residuals, el TR de l'aigua pot ser un factor clau sobre la capacitat d'eliminació dels nutrients dissolts a l'aigua: amoni (NH_4^+), nitrit (NO_2^-), nitrat (NO_3^-) i fosfat (SRP). Aquests elements són essencials per als organismes dels ecosistemes i alhora són els que determinen la qualitat de l'aigua. De manera general, s'ha vist que a major TR, major interacció entre els nutrients i els organismes, i per tant, hi pot haver un augment de l'eficiència de retenció.

1.2 Objectiu

L'objectiu d'aquest estudi va ser avaluar l'efecte del TR en ecosistemes aquàtics sobre diversos paràmetres, com són la terbolesa, la biomassa de productors primaris a la columna de l'aigua, la concentració d'oxigen i la capacitat d'eliminació de nutrients, que poden tenir conseqüències importants sobre la qualitat de l'aigua d'aquests ecosistemes.

Aquest estudi es va realitzar als 12 canals de l'Urban River Lab (URL; www.urbanriverlab.com). Els canals tenen 12m de longitud, 60 cm d'amplada i 40 cm de fondària; i estan alimentats per aigua residual tractada provinent de l'efluent de la estació depuradora d'aigües residuals (EDAR) de Montornès del Vallès. Aquesta aigua té unes concentracions mitjanes de nitrogen inorgànic dissolt (NID), SRP i carboni orgànic dissolt (COD) de 4.5, 0.5 i 15 mg L⁻¹ respectivament.

1.3 Metodologia

En els 12 canals es va generar un rang de TR de 18 a 141 hores a partir de modificar el cabal d'entrada de cada canal en un gradient entre 0.2 i 1.2 L min⁻¹. L'experiment es va dur a terme del dia 28/05/21 (dia 0) al 14/06/21 (dia 19). Durant aquest període, es van realitzar 8 mostres, corresponents als dies 0, 2, 5, 7, 9, 12, 14 i 19. Les variables mesurades van ser:

- **Terbolesa de l'aigua (en NTU)**. Es va determinar al final de cada canal (metre 11) amb un nefelòmetre model AQ3010 ORION. Addicionalment es va mesurar la terbolesa de l'aigua a l'entrada dels canals durant l'experiment. Per a fer aquestes mesures es varen seleccionar només 3 canals, els que tenien TR de 18, 54 i 141 hores.
- **Concentració de sòlids en suspensió (en mg L⁻¹)**. Es va mesurar al final de cada canal (metre 11). Per fer-ho, es va filtrar un volum determinat d'aigua amb una xeringa i un portafiltres fins a saturar un filtre pre-pesat de 0.7 µm de fibra de vidre. Un cop saturat, el filtre es va assecar a 60°C durant 48h i es va tornar a pesar. La concentració de sòlids en suspensió es va calcular com la diferència entre el pes del filtre amb el material filtrat i el pes del filtre dividit pel volum d'aigua filtrada. Per tal de determinar la fracció orgànica d'aquestes mostres (en %), es van muflar els filtres a 450°C durant 6h per a determinar el pes sec lliure de cendres. El % de fracció orgànica del filtre es va determinar restant el pes sec del pes sec lliure de cendres.
- **Biomassa de productors primaris a la columna d'aigua (en µg chla L⁻¹)**. En el mostreig dels dies 9 i 19 es va mesurar la quantitat de clorofil·la a (chla) a la columna d'aigua dels canals com a proxy de la biomassa de productors primaris. Per a fer aquesta mesura es va filtrar un volum conegut d'aigua del final del canal (metre 11) i es va mesurar la quantitat de chla en el filtre amb un fluorímetre de camp (BenthosTorch). La BenthosTorch dona valors de la quantitat de clorofil·la (en µg chla cm⁻²) de 3 grups de productors primaris: diatomees, algues verdes i cianobacteris. La suma dels valors dels tres grups és la quantitat total de chla. Els valors de chla per unitat de superfície (µg chla cm⁻²) es van convertir a valors de chla per unitat de volum (µg chla L⁻¹) utilitzant l'àrea del filtre que tenia chla per estimar tota la chla al filtre i dividint aquest valor pel volum d'aigua filtrat.
- **Concentració d'oxigen dissolt (mg O₂ L⁻¹)**. Es va mesurar al final de cada canal (metre 11) cada 10 minuts durant 48h utilitzant oxímetres òptics de mà de la marca Hach i YSI. Per a cada canal, es varen realitzar diversos cicles de 48 hores durant l'experiment.

- **Capacitat de retenció de nutrients.** Al final de l'experiment (dia 19) es van agafar mostres d'aigua a l'entrada i la sortida dels canals, tenint en compte els TR de l'aigua a cada canal. És a dir, l'aigua de la sortida s'agafava "n" hores després de mostrejar l'aigua de l'entrada, on "n" és el TR a cada canal. A cada canal es van agafar 3 mostres d'entrada i 3 de sortida, separades per 1 hora. L'aigua es va filtrar amb un filtre de fibra de vidre de $0.7 \mu\text{m}$ i es va recollir en vials que es van congelar a -20°C fins a ser analitzada al servei de química analítica del Centre d'Estudis Avançats de Blanes (CEAB-CSIC). Les mostres es van analitzar en un auto-analitzador Alliance Futura per estimar la concentració de fòsfor reactiu soluble (SRP), amoni (NH_4^+) i nitrat+nitrit ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) utilitzant mètodes colorimètrics estàndard. La capacitat de retenció dels diferents nutrients a cada canal es va calcular mitjançant la següent equació:

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

On Conc_{IN} i Conc_{OUT} són les concentracions de nutrients a l'entrada i la sortida de cada canal, respectivament.

1.4 Anàlisi de resultats

Per tal d'avaluar la variació temporal de la terbolesa i els sòlids en suspensió mesurades en els canals durant l'experiment i comparar-la entre els diferents TR, es va utilitzar un anàlisi de covariances (ANCOVA) considerant la terbolesa de l'aigua (en NTU) i els sòlids en suspensió (en mg pes sec L^{-1}) com a variables resposta, el temps com a covariable continua i el TR de l'aigua com a factor fixe. És a dir, es va comparar si la tendència de variació de les variables en el temps (pendent de la regressió entre la variable i el dia de mostreig) era igual o diferent en funció del TR de l'aigua en els canals. En aquest cas, si la interacció del model és no significativa ($p > 0.05$) indicarà que els pendents són similars entre els canals i si és significativa ($p < 0.05$) indicarà que els pendents són diferents entre canals amb TR diferents.

També es va explorar la relació entre la terbolesa de l'aigua i els sòlids en suspensió a la columna de l'aigua mesurada el darrer dia de l'experiment (dia 19) i el TR; i quin model matemàtic s'ajustava millor (lineal, potencial o asimptòtic) usant el criteri d'informació akaike (AIC). També es va explorar la relació entre la biomassa de productors primaris i el TR mesurat en els diferents canals i com aquesta relació variava entre els dos mostreigs realitzats el dia 9 i el 19 de l'experiment.

En cas necessari, les variables resposta es van transformar per assolir els supòsits de normalitat y homoscedasticitat necessaris per a realitzar tests estadístics paramètrics. Els anàlisis estadístics s'han fet amb R.

2. Resultats i discussió

2.1 Resultats i discussió

Variació temporal de la terbolesa i els sòlids en suspensió durant l'estudi. La terbolesa de l'aigua a l'entrada dels canals va ser baixa i es va mantenir constant al llarg de l'experiment (mitjana i error estàndard = 1.0 0.1 NTU). En canvi, la terbolesa de l'aigua al final dels canals va augmentar durant l'experiment (Figura 1). Ara bé, l'increment de terbolesa per unitat de temps (pendent de la recta entre temps i terbolesa) va ser diferent entre els diferents canals (test ANCOVA, interacció; p-valor = 0.006). En general, la terbolesa augmentava més ràpidament a mida que el TR de l'aigua als canals era major.

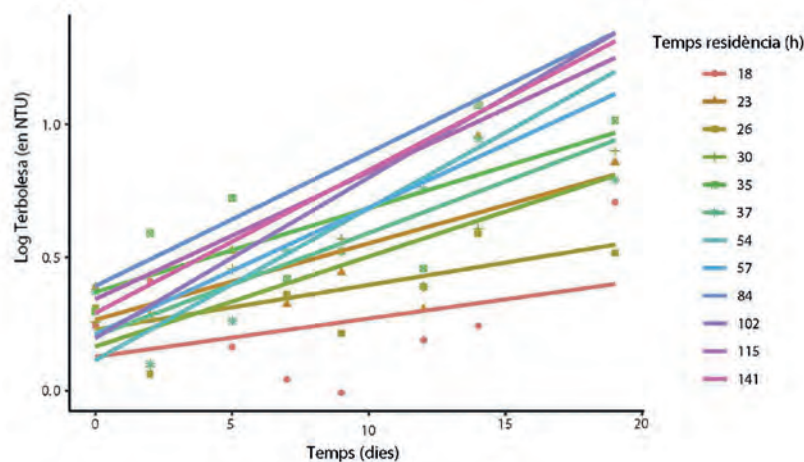


Figura 1: Variació de la terbolesa de l'aigua (en NTU) durant l'experiment (dies) en els 12 canals exposats a temps de residència de l'aigua que varien entre 18 i 141 hores

Els resultats de la variació de la concentració de sòlids en suspensió a la columna de l'aigua durant l'experiment van ser similar als de la terbolesa. En general, es va observar un augment de la concentració dels sòlids en suspensió durant l'experiment en la majoria de canals, exceptuant els dos

canals amb TR més baixos (Figura 2). Addicionalment, l'increment dels sòlids en suspensió per unitat de temps (pendent de la recta entre sòlids en suspensió i dies d'experiment) era major en els canals amb major TR (test ANCOVA, interacció; p-valor = 0.004).

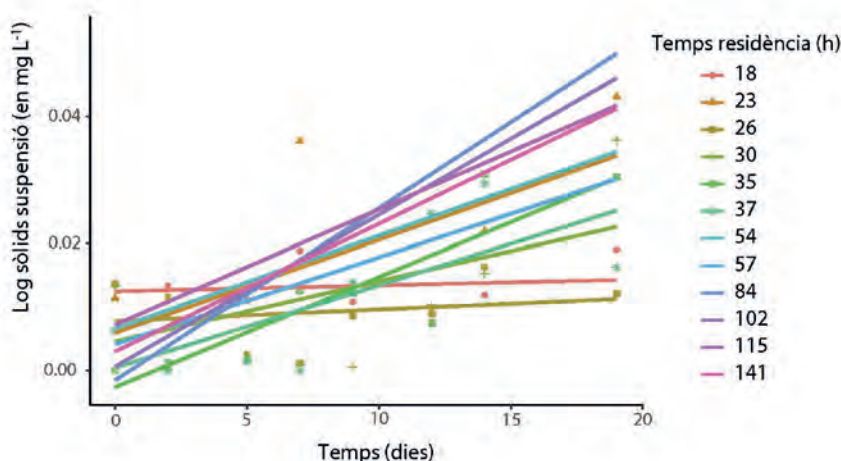


Figura 2: Variació dels sòlids en suspensió a la columna de l'aigua (mg L^{-1}) durant l'experiment (dies) en els 12 canals exposats a temps de residència de l'aigua que varien entre 18 i 141 hores.

Pel que fa la relació entre la terbolesa i els sòlids en suspensió a la columna d'aigua al final de l'experiment (dia 19) i el TR de cada canal s'observa que el model que millor s'ajusta és un model asimptòtic (menor valor AIC) per a les dues variables d'estudi (Figura 3). És a dir, la terbolesa i els sòlids en suspensió a l'aigua tendeixen a augmentar a mesura que el TR en els canals és més elevat. Tot i això, aquest increment no és proporcional a TR si no que tendeix a estabilitzar-se en els TR més elevats (Figura 3).

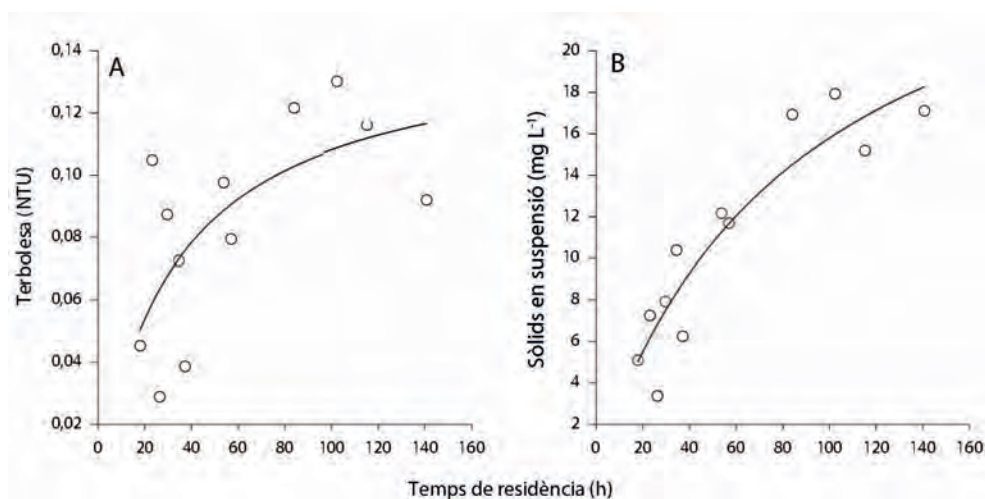


Figura 3: Variació dels sòlids en suspensió a la columna de l'aigua (mg L^{-1}) durant l'experiment (dies) en els 12 canals exposats a temps de residència de l'aigua que varien entre 18 i 141 hores.

El percentatge mitjà (error estàndard) de pes sec lliure de cendres dels filtres va ser del $96.8 \pm 0.3\%$. Aquests % tant elevats indiquen que els sòlids en suspensió eren majoritàriament matèria orgànica.

Biomassa de productors primaris a la columna d'aigua.

Comparant les mesures de chla fetes el dia 9 i el 19, s'observa que la biomassa total de productors primaris (suma d'alga verda, cianobacteris i diatomees), tendeix a incrementar durant l'experiment, i que aquest increment és més elevat per aquells canals amb TR més elevats. A més a més, per a cada data de mostreig, s'observa que la chla tendeix a incrementar en el rang baix de TR, però a TR >80h els valors tendeixen a estabilitzar-se (Figura 4). Per altra banda, es va observar que la biomassa total a la columna d'aigua va ser major al final de l'experiment que a la meitat del mateix, indicant un creixement de la comunitat de productors primaris al llarg del temps. Pel que fa a la composició de la comunitat, es van observar diferències entre els dos mostrejos. Al dia 9, el 91.7% de la biomassa total corresponia a alga verda i el 8.3% restant a cianobacteris i no es van observar diatomees. Al final de l'experiment (dia 19), els percentatges d'algues verdes, cianobacteris i diatomees va ser de 80.2%, 16.6% i 3.3%, respectivament. L'elevat percentatge de matèria orgànica dels sòlids en suspensió suggereixen que aquests són bàsicament organismes autotròfics en suspensió.

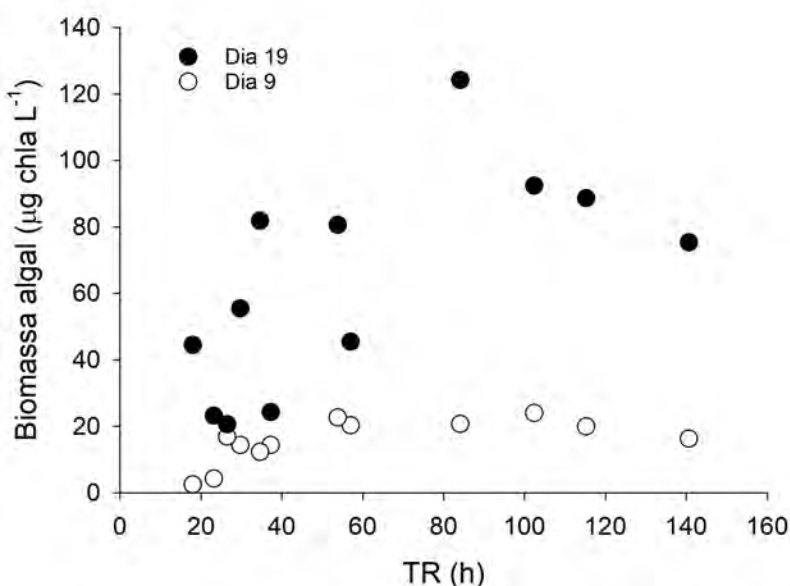


Figura 4: Variació de la biomassa de productors primaris (en $\mu\text{g chla L}^{-1}$) a la columna d'aigua als canals en relació amb el temps de residència (TR, en h) dels diferents canals. El gràfic mostra les mesures fetes en dues dates de l'experiment, el dia 9 i el 19.

Concentració d'oxigen dissolt. Els valors mínims diaris d'oxigen dissolt enregistrats durant els diferents cicles de 48h van variar entre 1 i 11 mg L^{-1} entre els diferents canals (Figura 5). Els valors mínims tendeixen a ser més alts a mesura que el TR de l'aigua és més elevat (Figura 5). Només es van assolir valors d'hipòxia ($< 2 \text{ mg L}^{-1}$) al canal amb TR més baix (TR=18h). Per altra banda, els valors màxims diaris d'oxigen enregistrats durant els diferents cicles de 48h van variar entre 18 i 40 mg L^{-1} . No es va observar cap relació clara entre el valor màxim d'oxigen dissolt i el TR (Figura 5). Com a referència, concentracions d'uns 10 mg L^{-1} d'oxigen dissolt corresponen a valors del 100% de saturació d'oxigen a l'aigua i concentracions de 40 mg L^{-1} corresponen a valors del voltant del 450%. Per tant, els canals mostren condicions de sobresaturació d'oxigen extremes, probablement

associades al fet que bona part de la terbolesa està associada a la presència de productors primaris a la columna de l'aigua. La diferència entre el valor mínim i màxim d'oxigen dissolt per cada condició de TR dona una idea de l'ampli rang diari de concentracions d'oxigen al canals, i suggereix una elevada activitat metabòlica (producció i respiració) en aquests sistemes aquàtics.

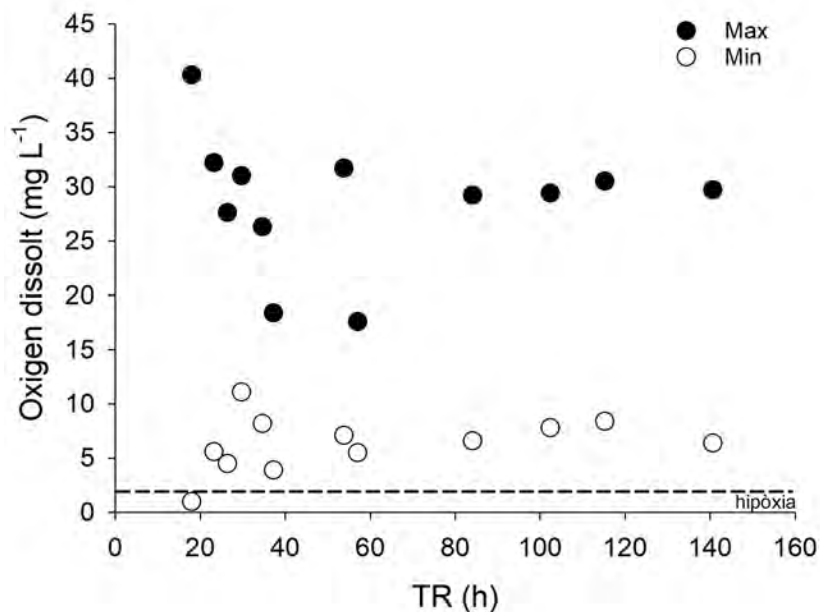


Figura 5: Variació de la concentració mínima i màxima d'oxigen dissolt (en mg L⁻¹) enregistrada als canals durant els cicles de 48 hores en funció del temps de residència de l'aigua (TR) en els diferents canals.

La línia discontinua indica la concentració d'oxigen dissolt que comporta condicions d'hipòxia (< 2 mg L⁻¹).

Capacitat de retenció de nutrients. Els percentatges de retenció de nutrients mesurats en els canals varien molt en funció del TR i del nutrient considerat. La capacitat de retenció de SRP va ser relativament baixa (30%) al rang baix de TR (18-35h) i va augmentar de sobte fins a valors del 70% en els canals amb TR 37h, mantenint-se relativament constant a la resta de tractaments de TR (Figura 6A). La capacitat de retenció d' NH_4^+ als canals va augmentar de manera progressiva fins arribar al 100% en els canals amb temps de residència 37h i es va mantenir en aquests valors tant elevats en la resta de tractaments (Figura 6B). Finalment, pel que fa al $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$, es va observar que la capacitat de retenció tendia a augmentar a mesura que el TR augmentava, fins assolir valors al voltant del 100% en el canal amb major TR (Figura 6C). Tot i això, el patró de variació de la retenció de $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$ en funció del TR de l'aigua als canals és diferent a l'observat per la retenció d' NH_4^+ . Mentre que per l' NH_4^+ s'observa un patró de saturació a mida que incrementa el TR, pel cas del $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$ el patró no és tan clar tot i que s'observa un increment més gradual.

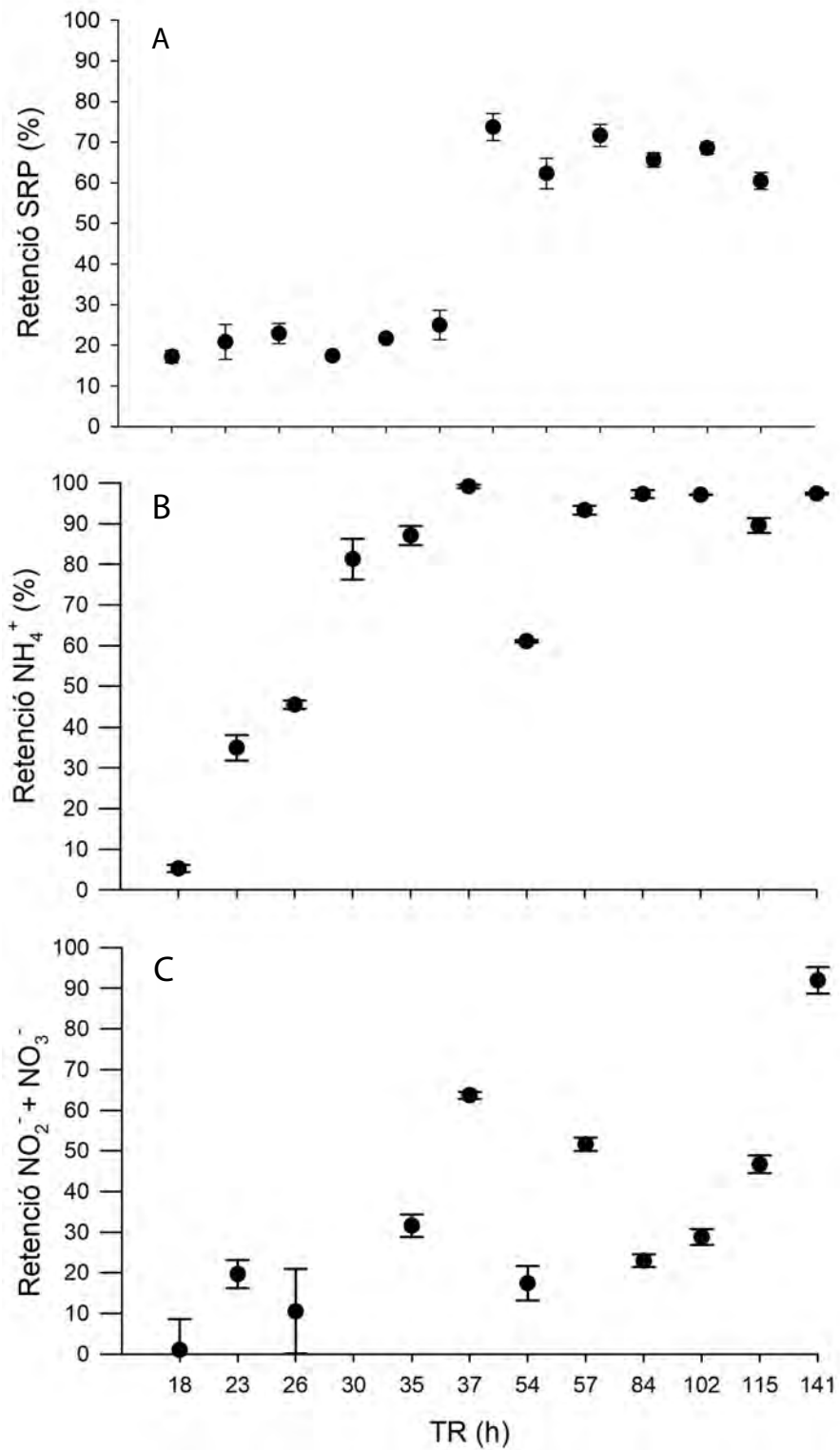


Figura 6: Variació dels percentatges de retenció de fòsfor (SRP, A), amoni (NH₄⁺, B) i nitrit + nitrat (NO₂⁻ + NO₃⁻, C) en relació als temps de residència (TR, en h) en els canals.

Aquests resultats mostren que els canals presenten una capacitat molt important de retenir nutrients i els valors més alts (100%) es van observar en les condicions de major TR. Cal destacar que les condicions desenvolupades en els canals durant aquest experiment mostren una elevada capacitat de retenir SRP i $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$, cosa que no s'havia observat en anteriors experiments on es va testar la capacitat de retenció de nutrients en sistemes amb flux d'aigua sub-superficial que fluïa entre graves i a on hi havia helòfits (Technical Report volum 2). Ara bé, s'ha de tenir en compte que el TR de l'aigua en els experiments amb helòfits era d'unes 7-8h, per tant els resultats no són dels tot comparables i obra la porta a futurs experiments a l'URL. En cas de l' NH_4^+ , ambdós dissenys experimentals resulten ser molt eficients per a retenir aquesta forma de NID.

2.2 Conclusions

- L'augment del temps de residència (TR) de l'aigua als canals va anar associat a una major terbolesa de l'aigua i del contingut de sòlids en suspensió. Ara bé, aquest increment sembla que tendeix a estabilitzar-se en TR elevats (> 80 h).
- La biomassa de productors primaris en suspensió incrementa durant l'experiment, tot i que l'increment és més alt en els canals major TR de l'aigua. Els elevats % de matèria orgànica dels sòlids en suspensió a la columna d'aigua suggereixen que la terbolesa de l'aigua és deguda majoritàriament a la presència d'organismes autotròfics.
- Les concentracions d'oxigen als canals presenta un rang de variació diari molt ampli dominat per condicions de sobresaturació d'oxigen probablement afavorides per l'activitat metabòlica dels productors primaris. Només es van donar condicions d'hipòxia (2 mg L^{-1}) en el canal amb menor TR (18h).
- La capacitat de retenció de nutrients varia considerablement en funció del nutrient considerat, però en general tendeix a ser més elevada en els canals amb major TR. L'increment de biomassa de productors primaris a la columna de l'aigua a mesura que el TR incrementa podria explicar aquest patró en la retenció de nutrients.
- Independentment de la diferència en TR entre els canals, la major capacitat de retenció de nutrients en aquest sistema va ser pel NH_4^+ , seguit del SRP i finalment pel $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$.
- Finalment, mirant de manera conjunta els tres nutrients estudiats, els resultats suggereixen que hi ha un valor de TR situat al voltant de les 37h on l'eficiència de retenció de nutrients esdevé en general màxima i es manté en aquests nivells independentment que el TR segueixi augmentant.



3. Equip de treball

3.1 Personal

Aquest treball ha estat realitzat per:

- Miquel Ribot, Centre d'Estudis Avançats de Blanes (CEAB-CSIC).
- Sara Castelar, Centre d'Estudis Avançats de Blanes (CEAB-CSIC).
- Eugènia Martí, Centre d'Estudis Avançats de Blanes (CEAB-CSIC).
- Esperança Gacia, Centre d'Estudis Avançats de Blanes (CEAB-CSIC).
- Eduard Piera, Naturalea Conservació.
- Albert Sorolla, Naturalea Conservació
- Francesc Sabater, Universitat de Barcelona (UB).

3.2 Agraïments

Aquest estudi ha estat finançat pel projecte OPERANDUM en el que participa Naturalea Conservació; també ha estat finançat pels projectes ECO-REACTORS i Fluvial P-Removal. Volem agrair el suport tècnic i econòmic del Consorci Besòs Tordera durant la realització de l'experiment.

Institucions promotores Urban River Lab:

