

# The Urban River Lab —Reports—

2020 v.2



**Evaluación de la capacidad de retención de solutos  
de 6 especies de macrófitos autóctonos**

Septiembre 2020



# 1. Introducción

## 1.1 Antecedentes

Las estaciones de depuración de aguas residuales (EDARs) han contribuido de manera relevante a reducir las cargas de materia orgánica (MO) y nutrientes (nitrógeno y fósforo) que llegan a los ríos derivadas de la actividad humana, sobre todo urbana e industrial. Ahora bien, debido a las particularidades del clima mediterráneo (alta variabilidad de las precipitaciones y las sequías estivales), los ríos de esta región suelen tener un régimen hidrológico caracterizado por episodios extremos (crecidas intensas, caudales muy bajos y sequías de verano). Esto hace que la contribución relativa de los efluentes de EDAR sobre el caudal de los ríos receptores sea muy variable durante el año, siendo muy importante durante los momentos de sequía. En este sentido, datos facilitados por el Consorci Besòs-Tordera indican que durante el verano de 2017, el 80% del agua que circulaba por la cuenca del río Besòs provenía de efluentes de EDAR. Por lo tanto, aunque los efluentes cumplen los límites legales de vertido fijados por la Directiva Europea 91/271 / CEE, la influencia de los efluentes de EDAR sobre las características químicas de los ríos receptores puede llegar a ser muy importante en la región Mediterránea .

Con el fin de paliar los posibles impactos negativos que los efluentes de las EDARs pueden provocar sobre el medio acuático receptor asociados a las cargas de solutos, se han desarrollado estrategias de gestión basadas en el uso de plantas acuáticas (macrófitos), como son los humedales artificiales, que actúan de tratamiento terciario (Vymazal 2007). Estos sistemas se basan en la capacidad de los macrófitos para captar nutrientes del agua. Asimismo, las raíces de los macrófitos generan condiciones favorables en los sedimentos (rizosfera) para el desarrollo de comunidades microbianas que también contribuyen a retener y transformar la MO y los nutrientes. La acción conjunta entre la planta y los microorganismos asociados de la rizosfera favorece la eliminación de solutos de las aguas residuales y de los efluentes de las EDARs (Stottmeister et al. 2003).

Desde el 2015 en los canales del Urban River Lab (URL) se han realizado mediciones de la capacidad de retención y transformación de MO y nutrientes de diferentes especies de macrófitos con el objetivo de seguir avanzando en el conocimiento sobre el funcionamiento de los humedales artificiales y el papel que juegan los macrófitos en estos sistemas. Hasta ahora se han hecho mediciones en 6 especies de macrófitos comunes en nuestro territorio (Figura 1).

Algunas de las especies consideradas, como *Iris pseudacorus*, *Phragmites australis* y *Scirpus lacustris* se utilizan de forma habitual en humedales artificiales. Otras especies, como el *Apium nodiflorum* y *Sparganium erectum* a pesar de ser autóctonas, no se han utilizado nunca en este contexto. Finalmente, también se han hecho mediciones con *Lemna minor*, una especie oportunista y altamente invasora y que se desarrolla en las superficies de aguas estancadas.

Este informe recoge un resumen de los resultados obtenidos en estos experimentos sobre la capacidad de retención de MO y nutrientes de estas especies con el objetivo de caracterizarlas funcionalmente y poder comparar su capacidad de autodepuración. Pensamos que estos datos pueden ser de utilidad para los profesionales del ámbito de la gestión y tratamiento de aguas a la hora de valorar el posible uso de estas especies en sistemas de tratamiento terciarios.



**Figura 1.** Vista general de los diferentes canales del URL con las 6 especies de macrófitos estudiados: a) *Iris pseudacorus*, b) *Phragmites australis*, c) *Scirpus lacustris*, d) *Apium nodiflorum*, e) *Sparganium erectum* y f) *Lemna minor*.

## 1.2 Metodología

Los experimentos se realizaron durante los años 2015 (con *Iris pseudacorus*, *Scirpus lacustris* y *Phragmites australis*) y 2019 (con *Apium nodiflorum*, *Sparganium erectum* y *Lemna minor*) en los canales de la URL ([www.urbanriverlab.com](http://www.urbanriverlab.com)). Estos canales tienen una longitud de 12 m y están alimentados por agua residual tratada proveniente del efluente de la EDAR de Montornès del Vallès. El agua del efluente es bombeada hasta un depósito central y se distribuye a los diferentes canales por gravedad. Para este experimento, los canales estaban llenos de grava y el agua circulaba a través de esta de manera subsuperficial excepto los canales con *Lemna minor*. En este caso, se dejó una capa fina de gravas y lodo en el fondo del canal y el agua circulaba superficialmente. Cada especie de macrófito se plantó en 3 canales diferentes y se utilizaron como réplicas experimentales.

La capacidad de retención de solutos por parte de los macrófitos se evaluó una vez las plantas habían crecido y se encontraban en el momento de mayor desarrollo (finales de verano-inicio del otoño). Una vez alcanzado este punto de crecimiento, los diferentes canales se muestrearon una vez de la siguiente manera: se tomaron muestras de agua a la entrada y salida de cada canal con una jeringa, se filtraron por 0,7 micrómetros y se congelaron hasta ser analizadas. El  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  y el SRP se analizaron en el servicio de análisis de nutrientes del Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CEAB-CISC) por métodos colorimétricos estándar. El DOC se analizó en el Departamento de Biología Evolutiva, Ecología y Ciencias Ambientales de la Universidad de Barcelona (UB) en un analizador de carbono orgánico total (TOC). A partir de las concentraciones en la entrada y salida de cada canal, se calculó el porcentaje de soluto que se retenía, o bien se generaba, durante la circulación del agua a través de los canales de la siguiente manera:

$$\text{Retención soluto (\%)} = \frac{\text{Concentración inicial} - \text{Concentración final}}{\text{Concentración inicial}} \times 100$$

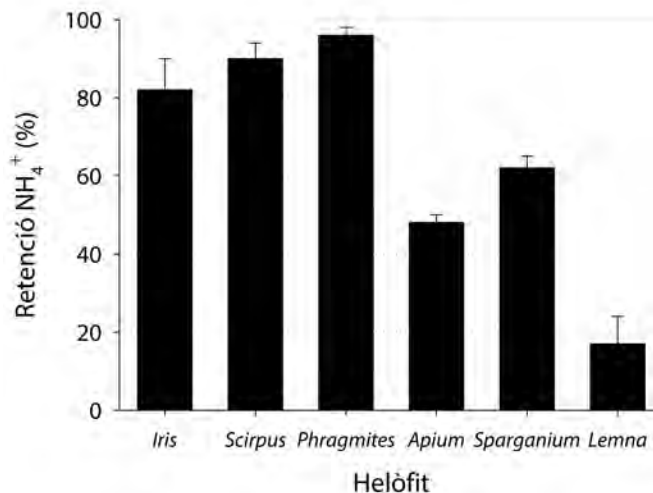
Hay que tener presente que las concentraciones reflejan los cambios netos entre los procesos de retención y de liberación con respecto al soluto. Valores de retención positivos vienen dados por la disminución de la concentración del soluto al final del canal e indican dominancia de los procesos de retención con respecto a los de liberación. Por el contrario, valores de retención negativos vienen dados por un aumento de la concentración del soluto en la salida del canal e indican dominancia de los procesos de liberación hacia los de retención. Así pues, las tasas de retención calculadas con esta metodología dan una idea de la incidencia que pueden tener las plantas y las comunidades microbianas sobre los solutos en el agua a una escala horaria. Estas tasas de retención instantáneas pueden no coincidir con estudios que han considerado escalas temporales más grandes, como por ejemplo Gacia et al. (2019) o con estudios realizados bajo condiciones ambientales o fases de crecimiento de las plantas diferentes.



## 2. Resultados y Discusión

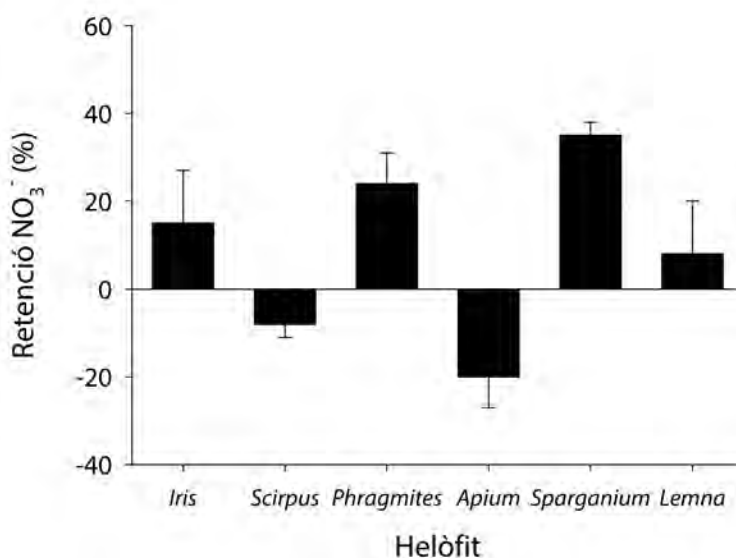
### 2.1 Resultados y Discusión

Los resultados mostraron que todas las especies analizadas (excepto *Lemna minor*) tienen una elevada capacidad de retener  $\text{NH}_4^+$  del efluente de la EDAR (Figura 2). Especialmente relevantes fueron los porcentajes de retención de *Phragmites australis*, *Scirpus lacustris* y *Iris pseudacorus* que se encuentran por encima del 80%. Los mecanismos principales asociados a la retención de  $\text{NH}_4^+$  son la nitrificación (oxidación microbiana de  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_3^-$ ) y la asimilación biológica por parte de plantas y microorganismos (incorporación del N en sus tejidos). El método empleado para medir la retención no permite cuantificar la contribución relativa de estos dos procesos. Ahora bien, un incremento de la concentración de  $\text{NO}_3^-$  (tasas negativas de retención de  $\text{NO}_3^-$ ) sugerirían tasas de nitrificación relevantes en los canales.



**Figura 2.** % de retención media de  $\text{NH}_4^+$  de las 6 especies de macrófitos estudiadas.

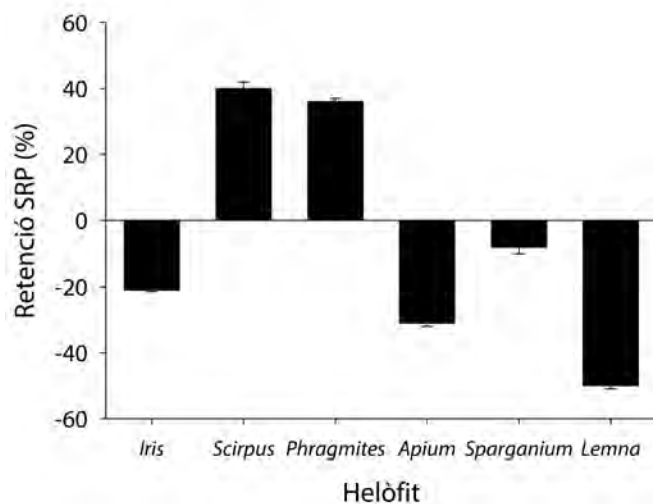
En el caso de la retención de  $\text{NO}_3^-$ , se observa una respuesta muy contrastada entre especies de macrófitos (Figura 3). *Phragmites australis* y *Sparganium erectum* son los únicos macrófitos con capacidad de retener  $\text{NO}_3^-$  de manera relevante (26% y 32%, respectivamente), aunque el porcentaje de retención de  $\text{NO}_3^-$  fue bastante inferior al medido por el  $\text{NH}_4^+$ . El resto de tratamientos mostraron una capacidad de retención muy baja (*Lemna minor* y *Iris pseudacorus*) o bien negativa (*Scirpus lacustris* y *Apium nodiflorum*).



**Figura 3.** % de retención media de  $\text{NO}_3^-$  de las 6 especies de macrófitos estudiados.

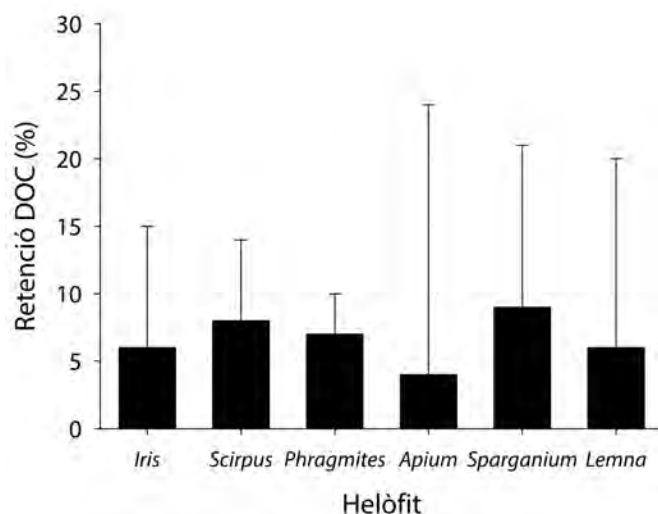
Los mecanismos principales asociados a la retención de  $\text{NO}_3^-$  son la asimilación biológica y la desnitrificación, un tipo de respiración microbiana anaeróbica donde el  $\text{NO}_3^-$  se reduce a N gas ( $\text{N}_2$  o  $\text{N}_2\text{O}$ ) durante la oxidación de MO. En base a esto, los resultados sugieren que *Phragmites australis* y *Sparganium erectum* son las especies que más  $\text{NO}_3^-$  asimilan y/o más favorecen la desnitrificación bacteriana en la zona de la rizosfera. Por otra parte, el % de retención negativo en los canales con *Apium nodiflorum* sugieren tasas relevantes de nitrificación microbiana en la rizosfera.

En cuanto al SRP, las diferentes especies muestran una capacidad de retención muy contrastada (Figura 4). *Phragmites australis* y *Scirpus lacustris* muestran porcentajes de retención positivos relativamente importantes (35% y 40% respectivamente). La disminución de la concentración de SRP en los canales se podría explicar por la asimilación de las plantas y/o por precipitación química. El resto de especies mostraron porcentajes de retención negativos, indicando que se daba un incremento de la concentración de SRP a lo largo de los canales con estas especies. El aumento de la concentración se podría explicar por la resuspensión del SRP de los sedimentos por procesos químicos, y que estos podrían estar favorecidos por la presencia de algunos macrófitos.



**Figura 4.** % de retención media de SRP de las 6 especies de macrófitos estudiadas.

Ninguno de los macrófitos estudiados fue capaz de retener cantidades importantes de DOC, con un% de retención medios de entre un 4% y un 8% (Figura 5). La retención de DOC asocia a la oxidación de MO por parte de organismos heterotróficos aeróbicos y anaeróbicos. Teniendo en cuenta que las concentraciones de DOC en los canales eran relativamente altas (12 ppm aproximadamente), los valores bajos de retención de DOC sugieren que esta materia orgánica es difícil de degradar (recalcitrante).



**Figura 5.** % de retención media de DOC de las 6 especies de macrófitos estudiadas.



## 3. Conclusiones

### 3.1 Conclusiones

Atendiendo a los resultados obtenidos (resumidos en la Tabla 1), *Phragmites australis* es la única especie con porcentajes de retención positivos para todos los solutos analizados. Además, resulta la más eficaz para eliminar  $\text{NH}_4^+$  y muestra también una elevada capacidad para retener  $\text{NO}_3^-$  y SRP. Otras especies como *Scirpus lacustris*, *Sparganium erectum* y *Iris pseudacorus* han resultado eficientes para eliminar 3 de los 4 solutos estudiados. *Scirpus lacustris* tiene una capacidad importante para retener  $\text{NH}_4^+$  y SRP y *Sparganium erectum* y *Iris pseudacorus* para  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$ . *Apium nodiflorum*, sólo ha resultado ser moderadamente eficiente reteniendo  $\text{NH}_4^+$ . *Lemna minor* tiene una capacidad general muy limitada para retener solutos.

Tabla 1. Porcentajes de retención media de solutos de los 6 macrófitos estudiados.

Macrófito	% $\text{NH}_4^+$	% $\text{NO}_3^-$	% SRP	%DOC
<i>Iris pseudacorus</i>	81.5	12.3	-21.3	5.3
<i>Scirpus lacustris</i>	88.9	-7.0	39.9	6.1
<i>Phragmites australis</i>	93.2	25.5	35.3	5.8
<i>Apium nodiflorum</i>	47.9	-19.2	-31.4	3.7
<i>Sparganium erectum</i>	63.2	31.6	-7.2	7.9
<i>Lemna minor</i>	11.6	7.5	-50.5	5.4

### 3.2 Perspectivas futuras

En base a los resultados obtenidos, los futuros experimentos en el URL irán dirigidos a entender porque estos sistemas tienen una capacidad reducida de eliminar  $\text{NO}_3^-$  y DOC. En esta línea, la desnitrificación es el proceso microbiano más relevante en la eliminación de  $\text{NO}_3^-$  del agua. Teniendo en consideración que los organismos desnitrificantes son heterotróficos (es decir, que



necesitan una fuente de carbono orgánica para reducir el  $\text{NO}_3^-$  a N gas) se evaluará como la concentración y, sobre todo, la calidad del DOC del efluente de la EDAR pueden afectar a la desnitrificación. Según datos del Consorci Besós-Tordera, los % de eliminación del DOC de las aguas negras que son tratadas en las EDAR rondan el 95%. Por lo tanto, partiremos de la hipótesis de que el DOC del efluente resulta difícil de degradar (es poco biodegradable) y que, por tanto, puede limitar las tasas de desnitrificación microbiana.

Otras cuestiones que se investigarán en el URL tienen que ver con la variabilidad temporal asociada a la retención de solutos. En este sentido, se evaluará la capacidad de los diferentes macrófitos de retener solutos a lo largo de su ciclo vital, es decir, desde que se planten (inicio de primavera), durante la fase de crecimiento (primavera-verano) y hasta la fase de senescencia asociada a unas condiciones ambientales desfavorables (invierno). Estas investigaciones permitirán complementar el presente estudio y tener una visión más general de la capacidad de autodepuración de los macrófitos a lo largo del año.

### 3.3 Referencias

1. Gacia, E., S. Bernal, M. Nikolakopoulou, E. Carreras, L. Morgado, M. Ribot, M. Isnard, A. Sorolla, F. Sabater, and E. Martí. 2019. The role of helophyte species on nitrogen and phosphorus retention from wastewater treatment plant effluents. *Journal of Environmental Management* 252:109585.
2. Stottmeister, U., A. Wiessner, P. Kusch, U. Kappelmeyer, M. Kastner, O. Bederski, R. A. Muller, and H. Moormann. 2003. Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment. *Biotechnology Advances* 22:93–117.
3. Vymazal, J. 2007. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of the Total Environment* 380:48–65.



## 4. Equipo de trabajo

### 4.1 Personal

Este trabajo ha sido realizado por:

- Ricard Garcia, 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).
- Susana Bernal, Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CEAB-CSIC).
- Xevi Triadó, Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CEAB-CSIC).
- Sara Castelar, Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CEAB-CSIC).
- Albert Sorolla, Naturalea.
- Adrian Lochner, Naturalea.
- Francesc Sabater, Universidad de Barcelona (UB).

### 4.2 Agradecimientos

Este estudio se ha financiado con los proyectos MEDSOUL, ITN-INTERFACES, NITRISED, ECO-REACTORS i SINGULARS, financiados por el MINECO y la Generalitat de Catalunya, con la colaboración del Jardí Botànic de Barcelona y el vivero Tres Turons. Queremos agradecer el soporte técnico y económico del Consorci Besòs Tordera para garantizar el buen funcionamiento del URL.

### 4.3 Entidades promotoras

