

The Urban River Lab — Reports —

2021 v.4



Los halófitos contribuyen a reducir la intrusión salina

Diciembre 2021



1. Introducción

1.1 Antecedentes

El cambio climático impulsa fenómenos meteorológicos extremos que están provocando un gran impacto a nivel mundial; por lo tanto, es una problemática medioambiental de gran calado social.

Los herbazales halófitos son ecosistemas donde predomina la vegetación que crece en suelos o aguas con una elevada concentración de sal. Las especies de plantas halófitas son tolerantes a altos niveles de salinidad y, por tanto, sus raíces pueden estar en contacto con el agua salina. Estas plantas presentan un contenido de sal en sus tejidos relativamente elevado, además tienen la capacidad eliminar el exceso a través de glándulas salinas.

Uno de los enfoques para mitigar los efectos derivados de fenómenos meteorológicos es la implementación de Soluciones Basadas en la Naturaleza (NBS), pero su efectividad no ha sido suficientemente demostrada. El objetivo del proyecto OPERANDUM es demostrar la utilidad de las NBS para reducir los riesgos meteorológicos e hidrológicos debidos a los diferentes escenarios de cambio climático que se plantean en Europa. En este proyecto, se explora el uso y efectividad de NBS en laboratorios al aire libre. Nuestro entorno de estudio es el Urban River Lab (URL; <https://urbanriverlab.com>) ubicado dentro de las instalaciones de la EDAR de Montornés del Vallès (Cataluña, España).

1.2 Objetivo

El objetivo de este estudio es evaluar la capacidad de las plantas halófitas para mitigar los incrementos de salinidad del agua derivados de los efectos del cambio climático (p.ej., intrusión salina, disminución factor de dilución) o de los aportes de sal para el deshielo. En particular, evaluamos cómo el incremento de salinidad del agua intersticial influencia la capacidad de retención de sodio de *Atriplex portulacoides* y cuál es la implicación de esta respuesta sobre la salinidad del agua. Seleccionamos *A. portulacoides* porque es un halófito con gran potencial para la recuperación y fitorremediación de suelos salinos. En Cataluña, esta especie se distribuye a lo largo de la costa (Fig. 1).



Figure 1.1: Distribución de *Atriplex portulacoides* en la costa catalana; floracatalana.cat (los recuadros azules indican las zonas donde hay presencia de la especie).

Para abordar el objetivo del estudio, realizamos un experimento en canales experimentales (mesocosmos) donde expusimos *A. portulacoides* a tres niveles de salinidad durante 14 días:

- Control: 1.75 psu (2.5 mS cm^{-1}).
- Salinidad intermedia: 7 psu (10 mS cm^{-1}).
- Salinidad alta: 21 psu (30 mS cm^{-1}).

1.3 Metodología

El experimento se llevó a cabo entre los días 11 y 25 de marzo de 2021 en el Urban River Lab (URL), un sistema de canales artificiales que reciben agua del efluente de depuradora. Para este experimento se utilizaron 9 canales, tres para cada tratamiento de salinidad; pero, desgraciadamente uno de los canales del nivel bajo de salinidad (1.75 psu) tuvo problemas de funcionamiento y no disponemos de datos.

Para alcanzar los distintos niveles de salinidad, preparamos una solución con agua y NaCl en 4 tanques de 1000 L, que se utilizaron para añadir la solución en cada canal a un flujo constante utilizando bombas peristálticas. Se utilizó NaCl fina (sacos de 25kg; Enisal). Para asegurar una disolución y homogeneización completa de la sal con el agua se utilizó un agitador mecánico.

Se estableció una tasa de adición en cada canal para alcanzar el nivel de salinidad específico. Los tanques se rellenaron varias veces con la solución salina para mantener la adición durante los 14 días del experimento. La solución salina tuvo una conductividad media ($\pm$ SEM) de $248 \pm 1.04 \text{ mS cm}^{-1}$ ($n=26$). La solución salina utilizada para alcanzar el nivel de salinidad intermedio (7 psu) se bombeó a 3 canales desde un solo tanque a un flujo de 50 ml min^{-1} . Para lograr el nivel alto de salinidad (21 psu), utilizamos un tanque por canal ($n=3$) y la solución salina se bombeó a un flujo de 200 ml min^{-1} . El nivel de salinidad bajo (1.75 psu) era el agua procedente del efluente de la estación depuradora (EDAR). Este nivel de salinidad se utilizó como control en dos canales.

Antes del inicio de la adición de la solución salina en los canales, recolectamos muestras de hojas de diferentes individuos de *A. portulacoides* cada 2 metros a lo largo de cada canal para determinar

el contenido de Na. Repetimos el mismo procedimiento de muestreo después de 14 días de la adición de la solución. Además, una vez terminada la adición, recolectamos 3 plantas en cada canal para determinar la biomasa y el contenido de Na en las diferentes partes de la planta (hojas, tallos y raíces). La biomasa se determinó como peso seco de la planta. El contenido de Na se determinó mediante espectrometría de masas acoplada inductivamente (ICP-OES) en los Servicios Científico Técnicos de la Universidad de Barcelona (UB).

Para caracterizar las condiciones salinas en los canales durante la adición de la solución, se midió la conductividad eléctrica (mS cm^{-1}) como indicador de la salinidad del agua. La conductividad se registró en continuo cada 5 minutos al final de cada canal durante el experimento; y de manera puntual cada tres días al inicio de los canales.

Se estimó la eficiencia de retención de Na en hojas ($\text{mgNa mgDW}^{-1} \text{ d}^{-1}$) durante el período de inyección de la solución salina usando la siguiente ecuación:

$$Eficiencia\ retencion\ Na = \frac{(Contenido\ masa\ Na\ T14) - (Contenido\ masa\ Na\ T0)}{(14\ dias\ inyeccion\ salina)} \quad (1.1)$$

dónde el contenido de masa de Na (en mgNa mgDW^{-1}) T0 y T14 fueron valores medidos en hojas antes y después de 14 días de inyección de solución salina, respectivamente.

A partir de la eficiencia de retención de Na en hojas se estimó la tasa de retención de Na en hojas ($\text{mgNa m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) usando la siguiente ecuación:

$$Tasa\ retencion\ Na = (Eficiencia\ retencion\ Na\ en\ hojas) - (Biomasa\ total\ hojas) \quad (1.2)$$

dónde la biomasa de hojas (mgDW m^{-2}) para cada canal se expresó por unidad de superficie del canal experimental (longitud por anchura)

El porcentaje de retención de Na en el agua intersticial a lo largo del canal se calculó usando la siguiente ecuación:

$$\% Na\ retenido\ en\ el\ canal = \frac{(Masa\ Na\ IN) - (Masa\ Na\ OUT)}{(Masa\ Na\ IN)} \times 100 \quad (1.3)$$

dónde la masa de Na IN y OUT es el valor integrado de la masa de Na adicionada durante los 14 días medida al inicio y final del canal, respectivamente. Además, se estimó la contribución de *A. portulacoides* a la retención de Na en el agua intersticial del canal comparando este valor con el de la capacidad de retención de Na de la planta (básicamente asociado a las hojas).

Finalmente, se estimó la influencia de este sistema a la reducción de la conductividad como medida integrada del contenido de sal en el agua intersticial usando la siguiente ecuación:

$$\% Reduccion\ Cond. = \frac{(Masa\ Integrada\ Cond.\ IN) - (Masa\ Integrada\ Cond.\ OUT)}{(Masa\ Integrada\ Cond.\ IN)} \times 100 \quad (1.4)$$

dónde la diferencia en la conductividad integrada en la entrada (IN) y al final (OUT) de los canales hace referencia a la conductividad integrada de la entrada (IN).



2. Resultados y discusión

2.1 Efecto del incremento de salinidad sobre el contenido de Na en la planta

Aunque se observa una cierta variabilidad en la biomasa de los canales para los diferentes tratamientos, los resultados mostraron que las hojas son la parte de la planta que representa un mayor porcentaje de la biomasa total de la planta. La variabilidad en biomasa entre tratamientos es debido a una diferencia en el desarrollo de las plantas en cada canal debido a condiciones ajenas al propio experimento de la salinidad.

Table 2.1: Promedio y error estándar de la biomasa (g m^{-2}) de los diferentes compartimentos de la planta en los diferentes niveles de salinidad.

Compartimento	Promedio ($\pm$ SEM)		
	1.75 psu	7 psu	21 psu
Hojas	64,3 $\pm$ 53,5	48,9 $\pm$ 19,4	99,8 $\pm$ 37,9
Tallos	38,6 $\pm$ 32,1	29,4 $\pm$ 11,6	59,9 $\pm$ 22,8
Raíces	24,7 $\pm$ 20,5	18,8 $\pm$ 7,4	38,3 $\pm$ 14,6

Los valores del contenido de Na (mgNa mgDW^{-1}) medido en hojas, tallos y raíces en los diferentes niveles de salinidad al final del estudio (14 días con inyección salina) muestran que existen diferencias significativas entre las partes de la planta y entre los niveles de salinidad (Anova 2 factores; $p\text{-valor} < 0.05$). El contenido de Na en hojas es mayor con respecto a tallos y raíces independientemente del nivel de salinidad. Además, el contenido de Na en las diferentes partes de la planta incrementa a mayor nivel de salinidad del agua (Fig. 2.1).

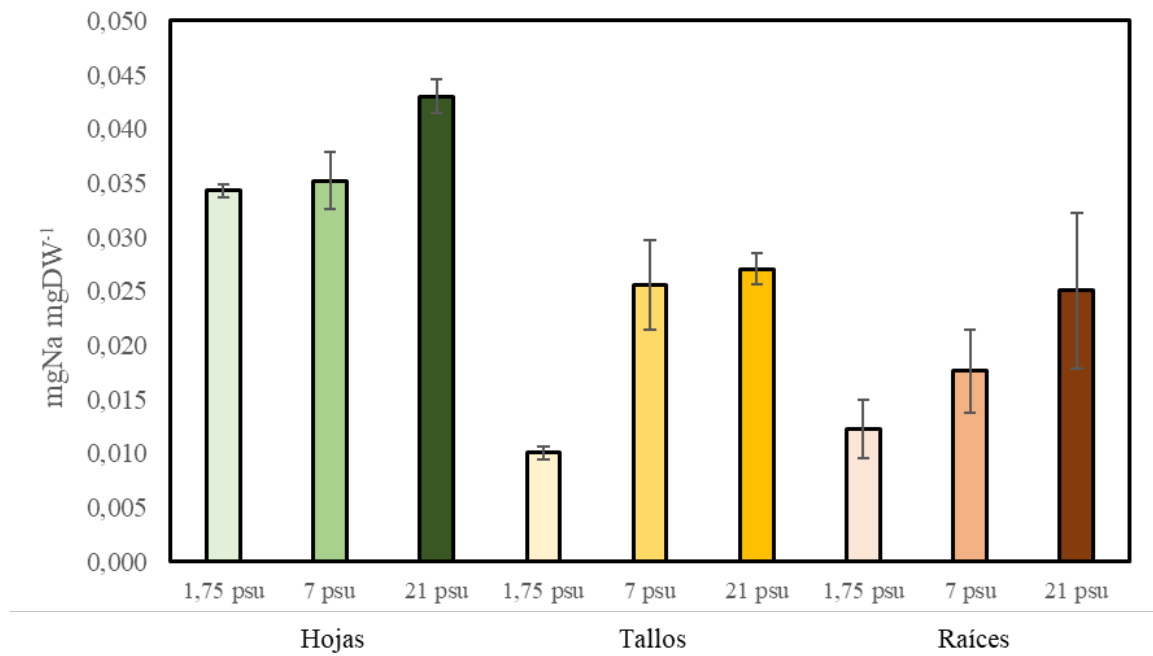


Figure 2.1: Promedio y error estándar del contenido de Na (mgNa mgDW^{-1}) en hojas, tallos y raíces al final del estudio (T14) entre los diferentes escenarios de salinidad. DW: peso en seco de diferentes compartimentos.

La contribución relativa de cada parte de la planta a la masa total de Na de la planta es mayor para las hojas independientemente del nivel de salinidad (Fig.2.2). Además, la contribución relativa de tallos y raíces a la masa total de Na de la planta incrementa al adicionar la solución salina en los canales con niveles de salinidad intermedio y alto (7 y 21 psu) (Fig.2.2).

2.2 Estimación de la retención de Na de *Atriplex portulacoides* de poblaciones naturales

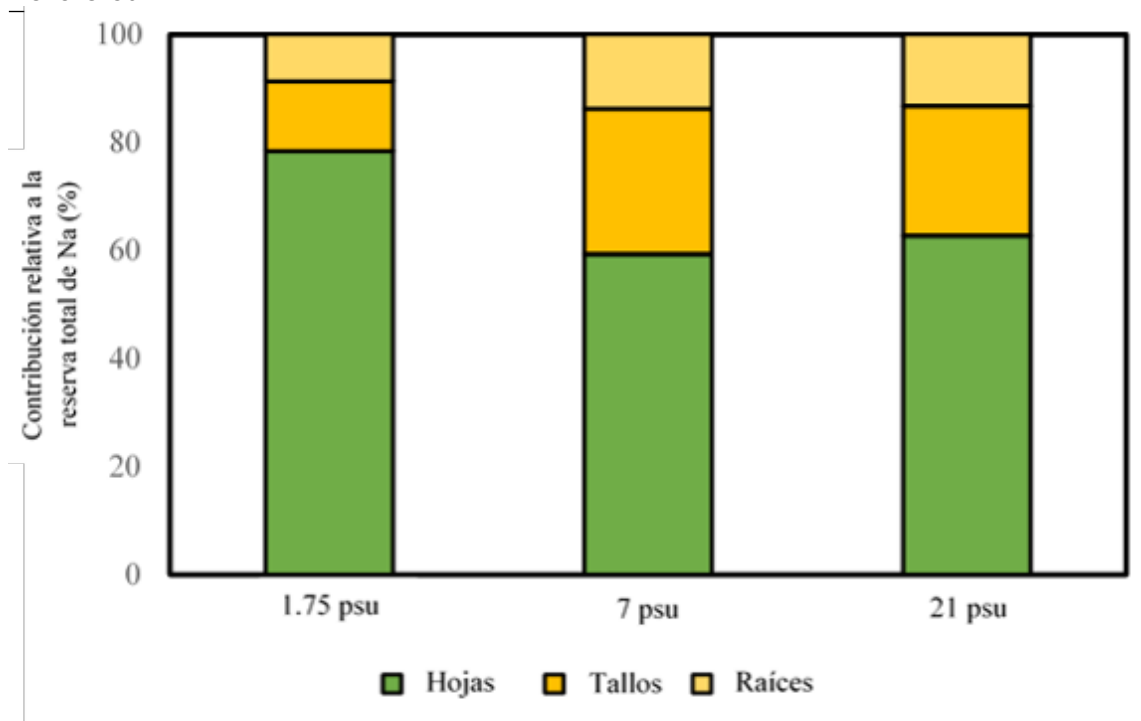


Figure 2.2: Contribución relativa (%) de cada parte de la planta (hojas, tallos y raíces) a la masa total de Na de *A. portulacoides* en los 3 niveles experimentales de salinidad. Los valores son mediciones realizadas después de 14 días de adición de la solución salina a flujo constante.

2.2 Estimación de la retención de Na de *Atriplex portulacoides* de poblaciones naturales

Dado que las hojas son la parte de la planta que contiene una mayor cantidad de Na (>50%, Fig 2.2), nos centramos en esta parte de la planta para estimar la eficiencia en la retención de Na por unidad de biomasa y de tiempo ($\text{mgNa mgDW}^{-1} \text{ d}^{-1}$) y la tasa de retención de Na por unidad de superficie del ecosistema y de tiempo ($\text{mgNa m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) en el contexto de los diferentes niveles de salinidad (Tabla 2.2). Los resultados muestran que, a mayor salinidad en el agua intersticial, mayor es la eficiencia y la capacidad de retención de sal (Tabla 2.2). Estos resultados sugieren que *A. portulacoides* tiene un gran potencial como estrategia de biorremediación en zonas salinizadas.

Table 2.2: Promedio y error estándar de la eficiencia de retención de Na en las hojas de *A. portulacoides* por unidad de biomasa y la tasa de retención de Na por unidad de superficie del canal experimental bajo diferentes niveles de salinidad generados experimentalmente en los canales artificiales del Urban River Lab.

Salinidad (psu)	Biomasa de hojas	Eficiencia de retención de Na en hojas	Tasa de retención de Na en hojas
	gDW m ⁻²	mgNa mgDW ⁻¹ d ⁻¹	mgNa m ⁻² d ⁻¹
1.75	64.3 ± 53.5	-0.00044 ± 0.00053	-28.1
7	48.9 ± 19.4	0.00011 ± 0.00025	5.3
21	99.8 ± 37.9	0.00123 ± 0.00038	122.9

Utilizamos estos resultados (Tabla 2.2) para inferir posibles implicaciones en un contexto más natural en base a datos compilados de la literatura en relación a la biomasa de *A. portulacoides* (gDW m⁻²) medida en condiciones naturales. En este contexto, realizamos una estima de la contribución de esta especie a la retención de Na del flujo de agua intersticial en el sedimento de los ecosistemas estudiados (Tabla 2.3).

Table 2.3: Capacidad potencial de retener Na en el agua intersticial del sedimento de poblaciones de *A. portulacoides* desarrolladas en diferentes condiciones ambientales y, por tanto, con una densidad de plantas diferentes a la de las condiciones experimentales de este estudio. La tabla muestra la capacidad de retener Na en dos condiciones de salinidad diferentes como resultado de las diferencias observadas a dos niveles de salinidad diferentes (7 i 21 psu).

Comunidades naturales de <i>Atriplex portulacoides</i>					
Referencias bibliográficas	Biomasa foliar	Masa de Na en hojas		Tasa de retención de Na en hojas	
		7 psu	21 psu	7 psu	21 psu
	gDW m ⁻²	gNa m ⁻²		gNa m ⁻² d ⁻¹	
Abbas AM, Figueroa ME, De Cires A, et al (2014) Effects of competition from the invasive cordgrass. Int J Sci Eng Res 5:209–212	758	1.15	13.07	0.08	0.93
Cartaxana P, Catarino F (1997) Allocation of nitrogen and carbon in an estuarine salt marsh in Portugal. J Coast Conserv 3:27–34. https://doi.org/10.1007/BF02908176	213	0.32	3.67	0.02	0.26
Neves JP, Ferreira LF, Simões MP, Gazarini LC (2007) Primary production and nutrient content in two salt marsh species, <i>Atriplex portulacoides</i> L. and <i>Limnium monoptalum</i> L., in Southern Portugal. Estuaries and Coasts 30:459–468. https://doi.org/10.1007/BF02819392	598	0.91	10.31	0.07	0.74
Válega M, Lillebø AI, Caçador I, et al (2008) Mercury mobility in a salt marsh colonised by <i>Halimione portulacoides</i> . Chemosphere 72:1607–1613. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.04.007	978	1.49	16.86	0.11	1.20

Cabe destacar que los valores de retención de Na en hojas (gNa m⁻² d⁻¹) estimados para los sistemas naturales (Tabla 2.3) son muy conservadores porque estas estimas consideraron:

1) El Na retenido solo en las hojas, a pesar de que los resultados sugieren que las raíces y los tallos también pueden retener y almacenar Na, especialmente en condiciones de alta salinidad.

2) Que la biomasa de las plantas en los canales no varió significativamente durante el período de estudio (es decir, durante los 14 días).

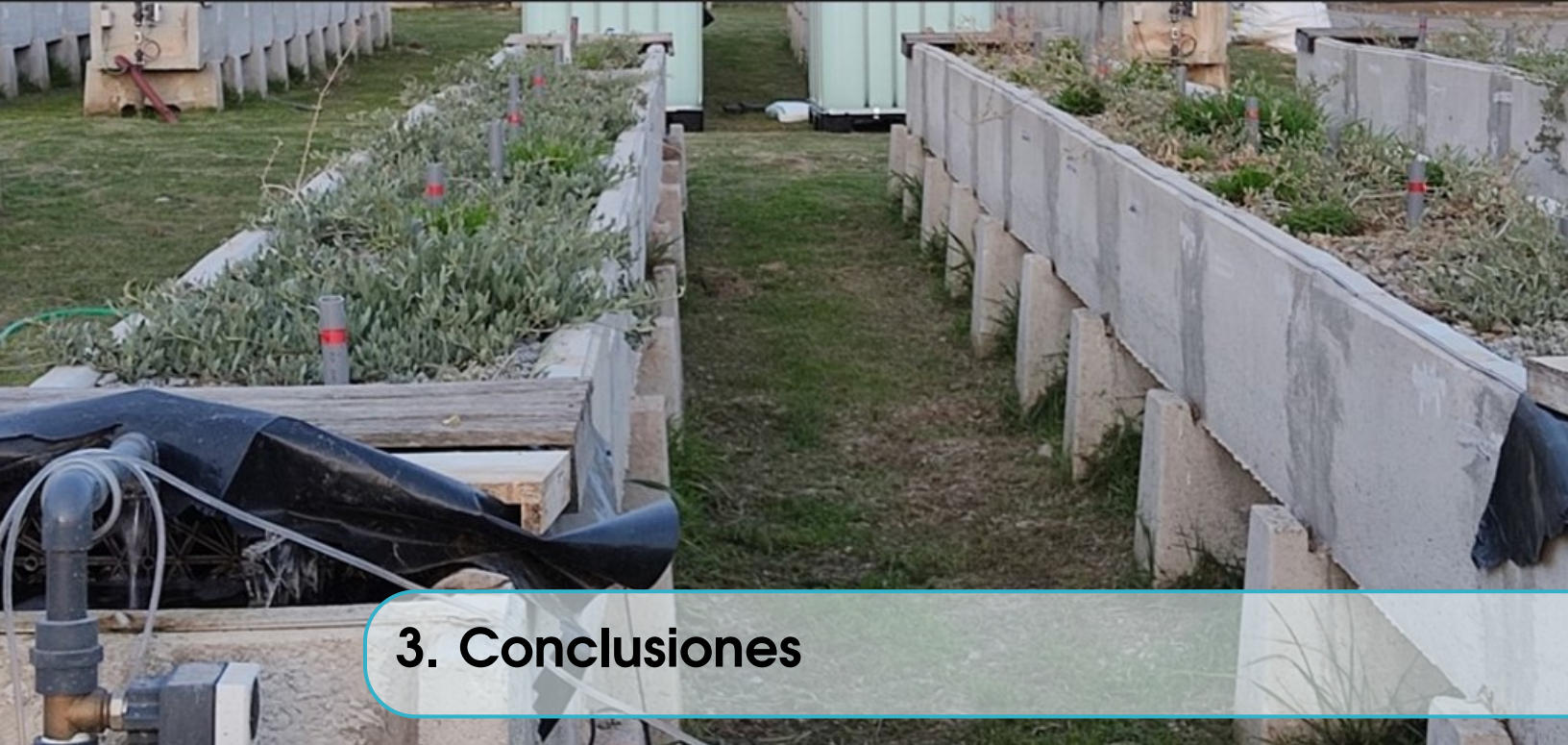
3) Que la excreción de Na en las hojas fue potencialmente relevante, especialmente en el nivel más alto de salinidad (21psu) y, por lo tanto, este mecanismo puede haber infravalorado el papel de las hojas en la retención de Na.

Por lo tanto, la capacidad potencial estimada de *A. portulacoides* para retener Na en condiciones naturales podría ser probablemente más alta que los valores inferidos y mostrados en la tabla 2.2.

La retención de Na en los canales es mayor en el nivel de salinidad intermedio respecto al nivel alto de salinidad (10.6 ± 8.4 y -3.4 ± 6.4 , respectivamente); por lo tanto, el porcentaje de reducción de la conductividad también es superior en el nivel intermedio de salinidad (12.4 ± 6.6). En cambio, el porcentaje de retención de Na en hojas respecto a la masa de Na inyectada en los canales es mayor en el nivel alto de salinidad (0.0062 ± 0.0027) (Tabla 2.4).

Table 2.4: Promedio y error estándar de los resultados del porcentaje de retención de Na en función de la masa de Na de entrada y salida del canal en los diferentes escenarios de salinidad ⁽¹⁾, del porcentaje de retención de Na en hojas respecto a la masa de Na inyectada en los canales ⁽²⁾ y del porcentaje de reducción de la conductividad ⁽³⁾.

Variables		Promedio ($\pm$ SEM)	
		7 psu	21 psu
Biomasa de planta en el canal		352.3 $\pm$ 139.4	718.9 $\pm$ 273.1
Retención de Na del balance de masa en el agua subterránea	Masa Na IN(Kg)	55.3 $\pm$ 4.0	185.3 $\pm$ 16.8
	Masa Na OUT (kg)	48.8 $\pm$ 1.3	193.7 $\pm$ 28.0
	Retención de Na basada en IN-OUT ¹ (%)	10.6 $\pm$ 8.4	-3.4 $\pm$ 6.4
Retención de Na en la planta	Masa de Na retenida en la biomasa de la planta en el canal (g)	-0.4 $\pm$ 1.3	11.5 $\pm$ 5.6
	Retención de Na en la biomasa de planta como porcentaje de la masa de Na inyectada en los canales ² (%)	-0.0005 $\pm$ 0.0023	0.0062 $\pm$ 0.0027
Conductividad IN (PSU)		83.8 $\pm$ 4.8	296.1 $\pm$ 34.8
Conductividad OUT (PSU)		72.8 $\pm$ 1.8	289.1 $\pm$ 41.8
Reducción de la conductividad ³ (%)		12.4 $\pm$ 6.6	3.1 $\pm$ 3.1



3. Conclusiones

3.1 Conclusiones

- *A. portulacoides* muestra una capacidad notable para responder fisiológicamente a aumentos de salinidad a corto plazo, incrementando su capacidad de retención de Na en el agua intersticial.
- Las hojas son la parte de la planta que es más activa en la captación de Na porque tienen mayor contenido de Na en comparación con los tallos y las raíces, y también muestran una capacidad para excretar una fracción considerable de Na asimilado a niveles de salinidad más altos (17%).
- Las tres partes de las plantas (hojas, tallos y raíces) tienden a aumentar su contenido de Na a medida que aumenta la salinidad del agua.
- Un aumento de 3 veces la salinidad (es decir, de 7 a 21 psu) da como resultado un aumento desproporcionadamente más elevado en el contenido de Na en las hojas.
- El porcentaje de Na retenido en los canales es mayor en el nivel intermedio de salinidad; mientras que, el porcentaje de retención de Na en las hojas es mayor en el nivel más alto de salinidad (Tabla 2.4).
- La capacidad potencial de retención de Na de *A. portulacoides* desarrollada en ambientes naturales parece ser notable y merece más investigación en el contexto de la intrusión de sal del agua impulsada por la actividad humana y el cambio climático.
- *A. portulacoides*, se puede utilizar como una NBS para mitigar la intrusión salina.



4. Referencias

4.1 Referencias

- Abbas AM, Figueroa ME, De Cires A, et al (2014) Effects of competition from the invasive cordgrass. *Int J Sci Eng Res* 5:209–212
- Cartaxana P, Catarino F (1997) Allocation of nitrogen and carbon in an estuarine salt marsh in Portugal. *J Coast Conserv* 3:27–34. <https://doi.org/10.1007/BF02908176>
- Neves JP, Ferreira LF, Simões MP, Gazarini LC (2007) Primary production and nutrient content in two salt marsh species, *Atriplex portulacoides* L. and *Limoniastrum monopetalum* L., in Southern Portugal. *Estuaries and Coasts* 30:459–468. <https://doi.org/10.1007/BF02819392>
- Válega M, Lillebø AI, Caçador I, et al (2008) Mercury mobility in a salt marsh colonised by *Halimione portulacoides*. *Chemosphere* 72:1607–1613. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.04.007>



5. Equipo de trabajo

5.1 Personal

Este trabajo ha sido realizado por:

- Sara Castelar, Naturalea Conservació y 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).
- Nayeli Bernal, Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CEAB-CSIC).
- Albert Sorolla, Naturalea Conservació.
- Adrian Löchner, Naturalea Conservació.
- Eduard Piera, Naturalea Conservació.
- Francesc Sabater, Universidad de Barcelona (UB).
- Xevi Triadó, Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CEAB-CSIC).
- Mateo Menéndez, Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CEAB-CSIC).
- Emili Ortega, Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CEAB-CSIC).

5.2 Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado por el proyecto OPERANDUM en el cual participa Naturalea. Consiste en la investigación sobre las soluciones basadas en la naturaleza (NBS) en ámbitos rurales. También ha sido financiado por el proyecto ECO-REACTORS. Queremos agradecer el soporte del equipo del URL por compartir sus conocimientos y guiarnos a la hora de realizar el experimento, y el soporte técnico y económico del Consorci Besòs Tordera por garantizar el buen funcionamiento del URL.

5.3 Entidades promotoras

