

TÍTULO DEL TRABAJO

“Estudio de la tolerancia de diversas especies de macrofitas acuáticas al NaCl en solución”

TÍTULO RESUMIDO

Tolerancia al NaCl en solución de diversas especies de macrofitas acuáticas

NOMBRE DE AUTORES

Tania Lucía, M^a Dolores Curt, Jesús Fernández

NOMBRE Y DIRECCIÓN DE LAS INSTITUCIONES

Departamento de Producción Vegetal: Botánica y Protección Vegetal. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid.
Avenida Complutense s/n, 28040, Madrid.

NÚMERO DE TELÉFONO, FAX Y E-MAIL

Tlf.: 917399514; E-mail: taniluciabenito@yahoo.es

FIGURAS Y TABLAS

7 tablas.

ESTUDIO DE LA TOLERANCIA DE DIVERSAS ESPECIES DE MACROFITAS ACUÁTICAS AL NaCl EN SOLUCIÓN

Tania Lucía, M^a Dolores Curt, Jesús Fernández

Departamento de Producción Vegetal: Botánica y Protección Vegetal. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid.

RESUMEN

El objeto del presente trabajo consistió en determinar la resistencia al ion sodio en solución de las siguientes especies de macrofitas acuáticas: *Typha domingensis* (Pers.) Steudel, *Typha latifolia* L., *Sparganium emersum* Rehmman, *Cyperus eragrostis* Lam., *Scirpus holoschoenus* L. y *Scirpus maritimus* L. Este estudio resulta de interés para determinar la viabilidad que presentan los sistemas de depuración que emplean macrofitas para el tratamiento de vertidos que presenten altas concentraciones de sodio, como es el caso de los lixiviados de vertedero o las aguas salobres.

PALABRAS CLAVES: sodio, sistemas de depuración mediante macrofitas, incremento de peso relativo, evapotranspiración.

STUDY OF THE TOLERANCE OF SEVERAL AQUATIC MACROPHYTE SPECIES TO NaCl IN SOLUTION

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the tolerance of the following species of aquatic macrophytes: *Typha domingensis* (Pers.) Steudel, *Typha latifolia* L., *Sparganium emersum* Rehmman, *Cyperus eragrostis* Lam., *Scirpus holoschoenus* L. and *Scirpus maritimus* L. to the ion sodium in solution. The final aim was to assess the feasibility of the wastewater treatment systems based on macrophytes to treat effluents with high salinity contents, as landfill leachates or brackish waters.

KEY WORDS: sodium, wastewater treatment systems based on macrophytes, relative growth rate, evapotranspiration

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de tratamiento de aguas mediante macrofitas acuáticas son sistemas de tratamiento “blandos” que reproducen de forma controlada las condiciones existentes en sistemas acuáticos naturales como los humedales o las lagunas con vegetación, de modo que se utilizan los procesos que tienen lugar de forma natural en estos sistemas para el tratamiento de aguas. Esto permite conseguir niveles adecuados de depuración con un requerimiento energético y unos costes considerablemente menores a los de los sistemas de tratamiento convencionales por lo que estos sistemas tienen un gran potencial como sistemas de tratamiento de aguas residuales, especialmente para comunidades medianas y pequeñas así como para granjas, minas o industrias aisladas.

La aplicación de estos sistemas al tratamiento de aguas residuales urbanas se ha realizado con éxito, alcanzándose niveles de tratamiento adecuados (Gersberg R.M. *et al.*, 1989; Reed, 1995; Watson *et al.*, 1989) y se plantean como una alternativa interesante para el tratamiento de otro tipo de vertidos. Sin embargo su aplicación al tratamiento de otros efluentes puede presentar dificultades debido a la mayor carga contaminante de los mismos o a la presencia de compuestos que puedan resultar tóxicos para las plantas y/o microorganismos, responsables de los procesos de depuración que intervienen en estos sistemas.

En concreto el presente trabajo se centró en determinar la viabilidad que presentan los sistemas de depuración que emplean macrofitas para el tratamiento de efluentes que presenten altas concentraciones de sodio, como es el caso de los lixiviados de vertedero, que pueden tener concentraciones de sodio de hasta 7.700 ppm (Christensen *et al.*, 2002), o las aguas

salobres, para lo cual se determinó la tolerancia de distintas especies de macrofitas acuáticas al ion sodio en solución.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

En este ensayo se estudió la resistencia de distintas especies de macrofitas acuáticas al ion sodio en solución. Se consideraron seis especies: *Typha domingensis* (Pers.) Steudel, *Typha latifolia* L., *Sparganium emersum* Rehmman, *Cyperus eragrostis* Lam., *Scirpus holoschoenus* L. y *Scirpus maritimus* L.

El ensayo se realizó en periodos de una semana de duración en los cuales se sometieron dos conjuntos de plantas de cada una de las especies a sendos tratamientos: un tratamiento consistente en una solución con concentración conocida de ion sodio y un tratamiento control. La experiencia comenzó con una solución de 983 ppm de sodio, incrementándose el contenido en sodio en 197 ppm cada semana hasta llegar a la máxima concentración de ion sodio tolerada por cada especie.

La experiencia se llevó a cabo en una cámara bajo condiciones controladas a una temperatura de 20 °C y un periodo de 12 horas de luz al día, en recipientes de 5 litros de capacidad, cada uno de los cuales se rellenó con 2 litros de la solución correspondiente. En cada recipiente se introdujeron 5 plantas de la especie correspondiente.

En cuanto a las soluciones empleadas en cada etapa del ensayo, la solución empleada en el tratamiento control consistió en una solución nutritiva con un contenido de 50 ppm de nitrógeno total, 21,8 ppm de fósforo y 41,5 ppm de K. En los tratamientos con sodio se emplearon soluciones nutritivas similares a las empleadas en el tratamiento control, a las cuales se les añadieron cantidades determinadas de sodio en forma de NaCl. Las concentraciones de sodio correspondientes a cada una de las etapas del ensayo fueron de 983, 1.180, 1.377, 1.573, 1.770, 1.966, 2.163 y 2.360 ppm.

Para determinar los efectos del sodio sobre las plantas se compararon las plantas del tratamiento con sodio con las plantas del tratamiento control correspondientes a la misma semana del ensayo en base a aspectos cualitativos y a aspectos cuantitativos como el incremento de peso relativo (*IPR*) y la evapotranspiración por unidad de peso de planta (*ETp*). En este caso los valores de *IPR* y *ETp* se determinaron para periodos de tiempo de una semana.

El incremento relativo de peso fresco correspondiente a una semana, considerando el incremento de peso relativo de todas las plantas de un mismo recipiente de forma conjunta, indica el incremento de peso experimentado por las plantas con relación a su peso inicial y se calculó como sigue.

$$\text{Incremento de Peso Relativo (\% / semana)} = \frac{\text{Peso final (g)} - \text{Peso inicial (g)}}{\text{Peso inicial (g)}} \cdot 100$$

La evapotranspiración experimentada por unidad de peso de planta durante una semana, sirve como indicador de la actividad que han tenido las plantas ya que teóricamente cuanto mayor haya sido dicha actividad, mayor habrá sido el volumen de solución consumido por las plantas y, por tanto, mayor será la evapotranspiración.

$$ET \text{ por unidad de peso de planta (ml/g de planta}\cdot\text{semana)} = \frac{ET \text{ (ml)}}{\text{Peso medio (g)}}$$

La evapotranspiración (ET) se calculó como la diferencia entre el volumen de solución al inicio y al final de cada semana.

$$ET \text{ (ml)} = V_i - V_f$$

El peso medio se utiliza como indicador del peso presente en cada recipiente en cada una de las semanas del ensayo y se calculó como sigue.

$$\text{Peso medio (g)} = \frac{\text{Peso total inicial (g)} - \text{Peso total final (g)}}{2}$$

3. RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados de incremento de peso relativo (*IPR*) y evapotranspiración por unidad de peso de planta (*ETp*) obtenidos durante este ensayo para las distintas especies consideradas. Las relaciones existentes entre los valores de los distintos parámetros en el tratamiento con sodio y en el tratamiento control vienen dadas por los indicadores R_{IPR} y R_{ET} que se calcularon como el cociente entre el valor del parámetro correspondiente en el tratamiento con sodio y el valor de dicho parámetro en el tratamiento control, expresado en %. Cuanto menor es el valor de estos índices, mayor es la disminución de los parámetros correspondientes.

Tabla 1: Resultados de incremento de peso relativo, *IPR*, y evapotranspiración por unidad de peso de planta, *ETp*, obtenidos para plantas de la especie *Typha domingensis* (Pers.) Steudel al ponerlas en contacto con soluciones con concentraciones crecientes de ion sodio y soluciones control durante periodos de tiempo de una semana.

Semana	Concentración inicial de ion Na (ppm)	<i>IPR</i>			<i>Etp</i>		
		Solución control ^a	Solución con Na ^a	R_{IPR} ^a	Solución control ^b	Solución con Na ^b	R_{ET} ^a
1	983	17,30	13,07	75,55	20,34	9,28	45,63
2	1.180	14,16	12,02	84,94	28,69	8,81	30,72
3	1.377	25,31	19,99	78,97	29,71	10,20	34,35
4	1.573	36,69	19,48	53,09	30,25	11,00	36,35
5	1.770	53,19	24,94	46,89	34,24	11,53	33,67
6	1.966	32,97	18,25	55,37	32,49	10,47	32,21
7	2.163	45,59	3,61	7,91	43,83	8,56	19,52
8	2.360	37,35	---	---	36,35	9,06	24,92

^a: (%/semana); ^b: (ml de solución/g de planta·semana).

Tabla 2: Resultados de incremento de peso relativo, *IPR*, y evapotranspiración por unidad de peso de planta, *ETp*, obtenidos para plantas de la especie *Typha latifolia* L. al ponerlas en contacto con soluciones con concentraciones crecientes de ion sodio y soluciones control durante periodos de tiempo de una semana.

Semana	Concentración inicial de ion Na (ppm)	<i>IPR</i>			<i>ETp</i>		
		Solución control ^a	Solución con Na ^a	R_{IPR} ^a	Solución control ^b	Solución con Na ^b	R_{ET} ^a
1	983	4,02	---	---	14,79	16,14	109,09
2	1.180	2,47	---	---	18,56	25,75	138,71
3	1.377	3,62	---	---	20,06	23,41	116,71
4	1.573	4,95	---	---	17,60	22,48	127,74
5	1.770	3,86	---	---	9,91	13,89	140,18
6	1.966	4,71	---	---	13,17	18,01	136,78
7	2.163	6,61	---	---	13,72	22,81	166,25

^a: (%/semana); ^b: (ml de solución/g de planta·semana).

Tabla 3: Resultados de incremento de peso relativo, *IPR*, y evapotranspiración por unidad de peso de planta, *ETp*, obtenidos para plantas de la especie *Sparganium emersum* Rehmman al ponerlas en contacto con soluciones con concentraciones crecientes de ion sodio y soluciones control durante periodos de tiempo de una semana.

Semana	Concentración inicial de ion Na (ppm)	<i>IPR</i>			<i>ETp</i>		
		Solución control ^a	Solución con Na ^a	R_{IPR} ^a	Solución control ^b	Solución con Na ^b	R_{ET} ^a
1	983	5,04	4,49	89,04	12,63	12,23	96,86
2	1.180	5,83	5,52	94,75	13,04	12,33	94,55
3	1.377	4,23	3,43	81,12	12,89	11,03	85,53
4	1.573	6,48	0,84	12,95	14,81	10,70	72,24
5	1.770	4,53	---	---	14,71	10,70	72,70
6	1.966	7,60	---	---	11,65	8,05	69,16

^a: (%/semana); ^b: (ml de solución/g de planta·semana).

Tabla 4: Resultados de incremento de peso relativo, *IPR*, y evapotranspiración por unidad de peso de planta, *ETp*, obtenidos para plantas de la especie *Cyperus eragrostis* Lam. al ponerlas en contacto con soluciones con concentraciones crecientes de ion sodio y soluciones control durante periodos de tiempo de una semana.

Semana	Concentración inicial de ion Na (ppm)	<i>IPR</i>			<i>ETp</i>		
		Solución control ^a	Solución con Na ^a	R_{IPR} ^a	Solución control ^b	Solución con Na ^b	R_{ET} ^a
1	983	7,08	---	---	8,66	10,52	121,43
2	1.180	4,21	---	---	7,32	10,57	144,40
3	1.377	4,13	---	---	10,00	13,77	137,67
4	1.573	5,74	---	---	11,15	16,74	150,14
5	1.770	2,98	---	---	10,79	20,65	191,49
6	1.966	12,70	---	---	8,37	17,50	209,10
7	2.163	9,19	---	---	8,99	14,51	161,32
8	2.360	3,90	---	---	7,26	8,61	118,61

^a: (%/semana); ^b: (ml de solución/g de planta·semana).

Tabla 5: Resultados de incremento de peso relativo, IPR , y evapotranspiración por unidad de peso de planta, ET_p , obtenidos para plantas de la especie *Scirpus holoschoenus* L. al ponerlas en contacto con soluciones con concentraciones crecientes de ion sodio y soluciones control durante periodos de tiempo de una semana.

Semana	Concentración inicial de ion Na (ppm)	IPR			ET_p		
		Solución control ^a	Solución con Na ^a	R_{IPR} ^a	Solución control ^b	Solución con Na ^b	R_{ET} ^a
1	983	2,10	1,43	67,95	4,98	5,38	108,00
2	1.180	2,28	1,54	67,66	5,44	6,01	110,54
3	1.377	3,86	2,50	64,92	5,57	6,69	120,27
4	1.573	7,55	4,74	62,83	5,99	7,45	124,43
5	1.770	5,30	---	---	5,79	6,28	108,43
6	1.966	4,36	---	---	4,72	5,13	108,61
7	2.163	4,11	---	---	3,74	4,55	121,51
8	2.360	4,53	---	---	3,94	4,91	124,65

^a: (%/semana); ^b: (ml de solución/g de planta·semana).

Tabla 6: Resultados de incremento de peso relativo, IPR , y evapotranspiración por unidad de peso de planta, ET_p , obtenidos para plantas de la especie *Scirpus maritimus* L. al ponerlas en contacto con soluciones con concentraciones crecientes de ion sodio y soluciones control durante periodos de tiempo de una semana.

Semana	Concentración inicial de ion Na (ppm)	IPR			ET_p		
		Solución control ^a	Solución con Na ^a	R_{IPR} ^a	Solución control ^b	Solución con Na ^b	R_{ET} ^a
1	983	2,19	1,79	81,80	11,20	12,68	113,24
2	1.180	5,65	2,01	35,56	14,99	15,89	106,01
3	1.377	6,20	2,28	36,72	12,86	13,03	101,36
4	1.573	2,99	1,89	63,07	11,47	12,64	110,19
5	1.770	8,06	2,53	31,39	9,55	10,27	107,51
6	1.966	1,96	1,76	89,53	11,60	11,02	95,01
7	2.163	0,31	---	---	10,84	10,65	98,24

^a: (%/semana); ^b: (ml de solución/g de planta·semana).

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A lo largo del presente ensayo se observó en primer lugar que las especies *Typha latifolia* y *Cyperus eragrostis* no toleraron las concentraciones de sodio consideradas en este ensayo, presentando crecimientos nulos desde la primera semana del mismo.

Las especies restantes toleraron en mayor o menor medida la presencia del sodio en solución pero en todas ellas se observó la disminución de los incrementos de peso relativos obtenidos en los tratamientos con sodio frente a los valores obtenidos en los tratamientos control, como se puede ver en los valores que presentó el índice R_{IPR} para las distintas especies. Además dicho índice R_{IPR} presentó cierta tendencia a disminuir a medida que aumentó la concentración de sodio a la que fueron sometidas las plantas, lo que indica que cuanto mayor fue dicha concentración mayor fue la reducción experimentada por el incremento de peso.

En cuanto a la evapotranspiración, en las especies *Typha latifolia*, *Cyperus eragrostis*, *Scirpus holoschoenus* y *Scirpus maritimus* este parámetro presentó una tendencia inversa a la del incremento de peso relativo, tomando valores en los tratamientos con sodio que en los tratamientos control. Por tanto en estos casos la utilización de la evapotranspiración como indicador de la actividad de las plantas no resulta conveniente ya que este parámetro presentó una tendencia inversa a la del incremento de peso. En las especies *Typha domingensis* y *Sparganium emersum*, por su parte, la evapotranspiración disminuyó en los tratamientos con

sodio frente a los tratamientos control, observándose a su vez reducciones mayores a medida que aumentó la concentración de sodio.

En la **Tabla 7** se muestran las concentraciones de sodio máximas toleradas por cada especie a lo largo de este ensayo así como los valores que tomaron el incremento de peso relativo y la evapotranspiración en los tratamientos con sodio para dichas concentraciones. También se recogen los valores correspondientes de los índices R_{IPR} y R_{ET} .

Como se puede ver en dicha tabla, las especies *Typha domingensis* y *Scirpus maritimus* fueron las que presentaron una mayor resistencia al sodio en solución, tolerando ambas una concentración de 1.966 ppm sin mostrar efectos negativos. Sin embargo el incremento de peso relativo experimentado por las plantas sometidas al tratamiento con sodio fue mayor en el caso de la *Typha domingensis*, a pesar de ser la que presentó un valor menor del índice R_{IPR} . De hecho, esta especie fue la que experimentó los incrementos de peso mayores a lo largo de todo el ensayo.

Tabla 7: Concentraciones máximas de ion sodio en solución toleradas por cada una de las especies y valores de incremento de peso relativo, IPR , y evapotranspiración por unidad de peso de planta, ETp , correspondientes a los tratamientos con sodio para dichas concentraciones.

Espece	Concentración máxima tolerada de ion sodio en solución (ppm)	IPR^a del tratamiento con Na	R_{IPR}^a	ETp^b del tratamiento con Na	R_{ET}^a
<i>Typha domingensis</i>	1.966	18,25	55,37	10,47	32,21
<i>Typha latifolia</i>	< 983*	---	---	---	---
<i>Sparganium emersum</i>	1.377	3,43	81,12	11,03	85,53
<i>Cyperus eragrostis</i>	< 983*	---	---	---	---
<i>Scirpus holoschoenus</i>	1.573	4,74	62,83	7,45	124,43
<i>Scirpus maritimus</i>	1.966	1,76	89,53	11,02	95,01

^a: (%/semana); ^b: (ml de solución/g de planta·semana).

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Christensen T.H et al. (2002). Present and long-term composition of MSW landfill leachate: a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 32(4), 297-336.

Gersberg R.M. et al. (1989). Integrated wastewater treatment using artificial wetlands. En D.A. Hammer, Eds. *Constructed wetlands for wastewater treatment, municipal, industrial and agricultural* (145-152). Chelsea: Lewis Publishers.

Reed S.D., 1995. *Natural systems for waste management and treatment*. New York: Ed. Mc Graw Hill, 2ª edición.

Watson J.T. et al. (1989). Performance expectations and loading rates for constructed Wetlands. En D.A. Hammer, Eds. *Constructed wetlands for wastewater treatment, municipal, industrial and agricultural* (319-352). Chelsea: Lewis Publishers.