

# TOLERANCIA DE *Pinus pinea*, *Quercus ilex*, *Q. suber*, *Q. pyrenaica* Y *Castanea sativa* A LA SAL, EN COMBINACIÓN CON DIFERENTES REGÍMENES HÍDRICOS

Beatriz Delgado, Alejandro Solla y Gerardo Moreno.

Biología y Producción de los Vegetales. Ingeniería Técnica Forestal.

Universidad de Extremadura. Av. Virgen del Puerto 2, 10600-Plasencia, Cáceres (asolla@unex.es).

## Resumen

La absorción de sal por las plantas, vía radicular o vía foliar, genera daños por toxicidad en los tejidos que se ven agravados ante condiciones de estrés hídrico o encharcamiento. Durante 1 mes (abril 2004), plantas de 2 savias de *Pinus pinea*, *Quercus ilex*, *Q. suber*, *Q. pyrenaica* y *Castanea sativa* fueron sometidas a tratamientos cruzados de riego (agua, agua con NaCl al 0,3 %) y pulverización (agua, agua con NaCl al 0,3 %), a diferentes frecuencias (0,5, 1 y 3 veces por semana, y encharcamiento). Se utilizaron 25 plantas para cada uno de los 16 tratamientos y especies. Tras los tratamientos, toda la planta fue sometida a riego 4 veces por semana. En octubre de 2004 se registró una mortalidad media de 3, 35, 17, 30 y 100% para *P. pinea*, *Q. ilex*, *Q. suber*, *Q. pyrenaica* y *C. sativa* regados con agua salada, respectivamente. Los tratamientos combinados de riego y pulverización con agua salada incrementaron significativamente la mortalidad en *Q. ilex* y en *Q. pyrenaica* frente a la planta control ( $P \leq 0,05$ ). Las especies que mejor toleraron el encharcamiento al agua fueron *P. pinea* y *C. sativa*. Se discuten las interacciones sal-hidromorfia observadas.

**Palabras clave:** salinidad, estrés hídrico, encharcamiento, mortalidad.

## INTRODUCCIÓN

La salinidad y el estrés hídrico son problemas generales en la mayoría de suelos del mundo. La salinidad afecta al 7% de la superficie terrestre, lo que suma un total de  $930 \cdot 10^6$  ha (Szabolcs, 1994; basado en datos FAO de 1989), y hay estudios que demuestran un incremento substancial de esta superficie (en Ghassemi *et al.* 1995, incrementos del 6% a lo largo de 45 años). La tolerancia a la sal está bien descrita en numerosas especies vegetales, pero los trabajos que estudian los efectos de la salinidad en especies leñosas forestales son escasos (Allen *et al.*, 1994; Kozlowski, 1997). En el género *Populus* se ha investigado la variación respecto a la tolerancia a la salinidad en distintos clones (Ma *et al.*, 1997; Fung *et al.* 1998), llegándose a detectar variabilidad intraspecífica en *P. alba* (Sixto *et al.* 2001).

Las respuestas de las plantas a la sal y al estrés hídrico tienen mucho en común. La salinidad reduce la capacidad de absorción de agua por parte de las plantas, lo que se traduce en una reducción del crecimiento y una serie de cambios metabólicos idénticos a los causados por el estrés hídrico (Munns, 2002). Cualquier efecto negativo causado en las plantas por el estrés hídrico se incrementa ante condiciones salinas, debido a que la sal disminuye el potencial hídrico del suelo, dificultando la absorción radicular. Por otro lado, los iones  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  se acumulan en los tejidos generando toxicidad. La sal no entra en contacto con el vegetal exclusivamente por el suelo; pequeñas gotas arrastradas por el viento, conteniendo sal, pueden impactar sobre tallos y hojas de las plantas. Esto ocurre en la vegetación ubicada en zonas costeras, cuyos síntomas de toxicidad por spray marino se hacen visibles tras un temporal o tras un viento constante hacia el interior. Otro ejemplo son los árboles moribundos, al borde de las carreteras en zonas de helada, afectados por el impacto de las gotitas de sal que levantan los automóviles del suelo. Con este trabajo se pretende cuantificar la tolerancia a la sal de cinco especies forestales, ante distintos regímenes hídricos.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El material vegetal lo formaron plantas de dos savias de las especies *Pinus pinea*, *Quercus*

*ilex*, *Q. suber*, *Q. pyrenaica* y *Castanea sativa*. Las semillas de *P. pinea* fueron recolectadas en Castañar de Ibor, las de *Q. ilex* y *Q. suber* en Plasencia, y las restantes en Aldeanueva de la Vera, localidades de la provincia de Cáceres. Las semillas se germinaron en enero de 2003 en contenedores de 25 cm de profundidad (350 mL), conteniendo una mezcla de perlita, arcilla, turba y humus (spezial substrate, Hawita Flor<sup>®</sup>, Alemania). La obtención de planta y los tratamientos se realizaron en los invernaderos del Centro Universitario de Plasencia (Cáceres) (40°01' N, 6°05' O, 375 m.s.n.m.), bajo una malla de sombreado del 60% y condiciones controladas de riego. Antes y después de los tratamientos, las plantas fueron intensamente regadas 2 y 4 veces por semana, respectivamente.

Entre el 29 de marzo y el 25 de abril de 2004 se aplicaron los siguientes tratamientos cruzados de riego y pulverización: 1) riego con agua + pulverización con agua (RaPa; control), 2) riego con agua + pulverización con agua salada (RaPs), 3) riego con agua salada + pulverización con agua (RsPa), y 4) riego con agua salada + pulverización con agua salada (RsPs). La dosis de sal (NaCl) en Ps y Rs fue 3 g L<sup>-1</sup> (0,25 Mpa). Las pulverizaciones se realizaron mediante un pulverizador manual, hasta conseguir la máxima cobertura del follaje sin goteo. El riego fue manual durante las 4 semanas que duraron los tratamientos. Se ensayaron 4 regímenes de riego (a capacidad de campo 0,5, 1 y 3 veces por semana, y encharcamiento), y 4 frecuencias semanales de pulverización (0,5, 1, 3 y 7), de modo que las plantas se sometieron a 16 tratamientos distintos. Cada tratamiento estuvo compuesto por una bandeja de 25 plantas por especie. Se tuvo especial cuidado para que las alturas medias de las plantas en cada bandeja, al inicio de los tratamientos, fueran aproximadamente las mismas: 14,3 ± 2,9 cm (media ± DE) para *P. pinea*, y 9,1 ± 2,0 para *Q. ilex*, 14,5 ± 3,2 para *Q. suber*, 10,0 ± 2,6 para *Q. pyrenaica* y 10,2 ± 3,8 cm para *C. sativa*.

Para constatar el efecto de los distintos regímenes de riego sobre las plantas sometidas a RaPa y RsPa, el 26 y 27 de abril se midieron los potenciales hídricos al amanecer ( $\Psi_a$ ) y al mediodía ( $\Psi_m$ ) en tallos apicales. Se utilizó una cámara de Scholander (Skye Instruments<sup>®</sup>, UK) y 3 plantas por tratamiento, régimen de riego, y especie. Para constatar el efecto de la acumulación de la sal en el suelo durante los tratamientos, y del lavado de la misma después de los tratamientos, se midieron las conductividades eléctricas del suelo a finales de abril y a finales de agosto. Se utilizó un conductímetro (524, Crison Instruments<sup>®</sup>, Barcelona), y para ello se tomaron muestras de suelo de 2 plantas por fecha, tratamiento, régimen de riego, y especie. A finales de marzo, abril, junio, agosto y octubre se midieron las alturas de las plantas, el marchitamiento (resultados no incluidos), y la mortalidad (n=18). Los datos se sometieron a la transformación  $\arcsen(x/100)^{0,5}$  para lograr la normalidad, y mediante ANOVAs y test LSD se compararon las medias. El programa estadístico utilizado fue Statgraphics Plus v5.0.

## RESULTADOS

Ante riegos con agua (Ra), los valores medios más bajos de  $\Psi_a$  y  $\Psi_m$  se registraron en las plantas sometidas a riego quincenal (0,5), excepto en las plantas de *P. pinea* (Tabla 1). La especie que más acusó este régimen fue *Q. pyrenaica*, seguida de *Q. suber*. Los valores medios más altos de potencial hídrico se obtuvieron al amanecer en las plantas sometidas a encharcamiento con agua. Bajo encharcamiento, no se observaron diferencias significativas entre especies, ni siquiera entre  $\Psi_a$  y  $\Psi_m$  excepto las plantas de *Q. ilex* y *C. sativa* que mostraron menores valores de  $\Psi_m$  ( $P \leq 0,05$ ). Ante los tratamientos con agua salada (Rs),  $\Psi_a$  disminuyó significativamente frente a Ra en plantas de *Q. pyrenaica* sometidas a 3 riegos semanales, y en plantas de *Q. ilex* y de *Q. pyrenaica* sometidas a encharcamiento (Tabla 1), y  $\Psi_m$  disminuyó significativamente en plantas de *Q. ilex* sometidas a riego quincenal. Bajo encharcamiento con agua salada, no se observaron diferencias entre  $\Psi_a$  y  $\Psi_m$  dentro de cada especie, y  $\Psi_a$  alcanzó menores valores medios que bajo encharcamiento con agua en plantas de *Q. ilex*, *Q. pyrenaica* y *C. sativa* ( $P \leq 0,05$ ).

Tras los tratamientos RaPa y RaPs a finales de abril, el suelo sometido a riego quincenal mostró mayor conductividad que los suelos sometidos a mayor riego o a encharcamiento (Tabla 2). En esa fecha, todos los suelos sometidos a RsPa y RsPs mostraron valores de conductividad significativamente mayores a los suelos sometidos a RaPa y RaPs, especialmente los regados con agua salada tres veces por semana. En agosto, los valores de conductividad disminuyeron significativamente en los suelos previamente regados con agua salada, pero no así para los previamente encharcados con agua salada.

Las plantas de *P. pinea* son las que mejor sobrevivieron a los tratamientos, sólo mostrando mortalidad acusada (cerca al 75%) las sometidas a RsPa y RsPs bajo condiciones de encharcamiento (Fig. 1A). Las plantas control de *Q. ilex* sometidas al riego menos frecuente mostraron en octubre una mortalidad cercana al 15 % (Fig. 1B). Bajo este régimen de riego, las pulverizaciones con agua salada (RaPs) y el riego con agua salada (RsPa) incrementaron la mortalidad (35 y 25%, respectivamente), y tratamiento combinado RsPs todavía más (45%). Las plantas sometidas a otros regímenes de riego no tuvieron, respecto a las plantas control, una mayor mortalidad ante las pulverizaciones con agua salada. La mortalidad sí fue mayor ante RsPa con riegos de agua salada tres veces por semana y encharcamiento con agua salada, y aumentó considerablemente ante el tratamiento combinado RsAs. Las plantas de *Q. suber* y *Q. pyrenaica* no toleraron el encharcamiento, sobre todo el salino (Figs. 1C, D), manifestando *Q. pyrenaica* una elevada mortalidad ante RsPs de frecuencia 3. Por último, *C. sativa* ha sido la especie de mayor mortalidad ha presentado ante la sal (Fig. 1E), pero ha tolerado junto con *P. pinea*, el encharcamiento con agua.

## DISCUSIÓN

Las respuestas de las plantas al estrés hídrico son variadas, pero incluyen el cierre estomático, disminución del potencial hídrico, y reducción de la transpiración, fotosíntesis y crecimiento celular (Kozlowsky & Pallardy, 1997). Los resultados mostrados en la Tabla 1 confirman que los regímenes de riego de menor frecuencia han generado distintos regímenes hídricos en las plantas. El encharcamiento del suelo no origina cambios en el potencial hídrico de las plantas, pero sí la pérdida de nutrientes minerales y metabolitos intermedios por lavado de las raíces (Pardos, 2004). A partir de la Tabla 2 se constata la baja conductividad eléctrica del suelo sometido a encharcamiento con agua, y el lavado de sales producido por los riegos intensos tras los tratamientos. No obstante, los suelos encharcados con agua salada no vieron reducida su conductividad en agosto a niveles significativos, lo cual indica la severidad que este tratamiento pudo tener en las plantas.

El encharcamiento genera en las plantas estrés adicional debido a la falta de oxígeno, exceso de CO<sub>2</sub> y sobreproducción de etileno. Este último compuesto se acumula en los tejidos produciendo daños y síntomas de estrés (ver Pardos, 2004), los cuales han podido ser discriminados, en este ensayo, a los producidos por la sal (resultados sin incluir).

La tolerancia a la sal puede expresarse en términos de supervivencia, o en términos de pérdida de biomasa. Resulta difícil comparar las pérdidas de biomasa entre especies, debido a que la reducción del crecimiento depende mucho del período de tiempo durante el cual las plantas han sido sometidas a condiciones salinas (Munns, 2002). En general, las plantas sometidas a sal durante semanas muestran amarilleamiento o mortalidad foliar en las hojas de mayor edad, mortalidad que se extiende a las hojas más jóvenes si las condiciones salinas se prolongan durante meses. En plantas sensibles a la sal (aquellas que no la compartimentan en vacuolas), si la tasa de mortalidad foliar es superior a la brotación de nuevas hojas, la pérdida de superficie fotosintética conduce a la muerte del vegetal (Munns, 2002). Considerando todos los tratamientos, a final del ensayo se obtuvieron mortalidades medias de 3, 35, 17, 30 y 100% para *P. pinea*, *Q. ilex*, *Q. suber*, *Q. pyrenaica* y *C. sativa*, respectivamente. Atendiendo al criterio de Graig *et al.* (1990) que considera clon tolerante o sensible para una determinada dosis aquel que supere o no el 50 % de plantas vivas al finalizar el tratamiento, se deduce que *C. sativa* es claramente sensible, y que las demás especies lo son sólo ante condiciones de encharcamiento de 4 semanas. Además, *Q. ilex* y *Q. pyrenaica* se mostraron sensibles

ante pulverización y riegos con agua salada que supusieron conductividades eléctricas del suelo superiores a 8 dS m<sup>-1</sup>.

En *C. sativa* la pulverización con sal parece adelantar la mortalidad de las plantas frente al riego (Fig. 1E), lo que demuestra la sensibilidad de las hojas de esta especie a la sal. Se ha observado una sinergia del efecto combinado riego y pulverización con agua salada en *Q. ilex*, y *Q. pyrenaica*. En un estudio experimental de la influencia conjunta de agua salina en exceso en varias especies de *Quercus*, se observó mortalidad de plantas con independencia de su grado de tolerancia al encharcamiento si el agua contiene 6 g L<sup>-1</sup> de sales, respuesta que se aceleraba al aumentar dicha concentración, concluyéndose que el incremento de la anegación del suelo, asociado con la subida del nivel del mar, ejerce un efecto mayor que los pequeños aumentos en la salinidad (Mc Leod, 1999).

Se concluye que *P. pinea* y *C. sativa* son las especies que mejor toleran el encharcamiento al agua, dentro de las estudiadas. Además, la baja mortalidad de *P. pinea* y de *Q. suber* ante los tratamientos, tanto de riego como de pulverización, indica su posible utilización en terrenos con problemas de salinidad.

### Agradecimientos

A Jesús García por la propagación de la planta y a Ignacio Jiménez, Ana Bueno, Elena Cubera y Marta Company por la ayuda técnica prestada.

### BIBLIOGRAFÍA

- ALLEN, J.; CHAMBERS, J. & STINE, M.; 1994. Prospects for increasing the salt tolerance of forest trees: a review. *Tree Physiol.* 14: 843-853.
- FUNG, L.E.; WANG, S.S.; ALTMAN, A. & HÜTTERMAN, A.; 1998. Effect of NaCl on growth, photosynthesis, ion and water relations of four poplar genotypes. *For. Ecol. Manage.* 107: 135-146.
- GHASSEMI, F.; JAKEMAN, A.J. & NIX, H.A.; 1995. *Salinisation of land and water resources: human causes, extent, management and case studies*. UNSW Press, Sydney, Australia, y CAB International, Wallingford, UK.
- GRAIG, G.F.; BELL, D.T. & ATKINS, C. A.; 1990. Response to salt and waterlogging stress of ten taxa of *Acacia* selected from naturally saline areas of western Australia. *Austr. J. Bot.* 38: 619-630.
- KOZLOWSKI, T.T.; 1997. Responses of woody plants to flooding and salinity. *Tree Physiol.* Monografía no. 1, 29 pp.
- MA, H.; FUNG, L.; ALTMAN, A. & HÜTTERMAN, A.; 1997. Photosynthetic response of *Populus euphratica* to salt stress. *For. Ecol. Manage.* 93: 55-61
- MC LEOD, K.W.; MC CARRON, J. K. & CONNER, W. H.; 1999. Photosynthesis and water relations of four oak species: impact of flooding and salinity. *Trees.* 13: 178-187
- MUNNS, R.; 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 25: 239-250.
- PARDOS, J. A.; 2004. Respuestas de las plantas al anegamiento del suelo. *Invest Agrar: Sist Recur For*, Fuera de serie (octubre): 101-107.
- SIXTO, H.; GRAU, J.M.; MONTOTO, J. L. y ALBA, N.; 2001. Comportamiento de diferentes clones de *Populus alba* y de *P. deltoides* x *P. alba* a tratamientos salinos. Actas del III Congreso Forestal Español. Com. 983, mesa III.
- SZABOLCS, I. 1994. Soils and salinisation. In: M. Pessarakali (ed.), *Handbook of plant and crop stress*: 3-11. Marcel Dekker, New York.

**Tabla 1.** Potenciales hídricos medios al amanecer ( $\Psi_a$ ) y al mediodía ( $\Psi_m$ ) de plantas (n=3) sometidas en abril de 2004 a distintas frecuencias semanales de riego, a capacidad de campo, con agua (Ra) y con agua salada al 0,3 % (Rs). Medidas tomadas a finales de abril. Letras distintas indican diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ).

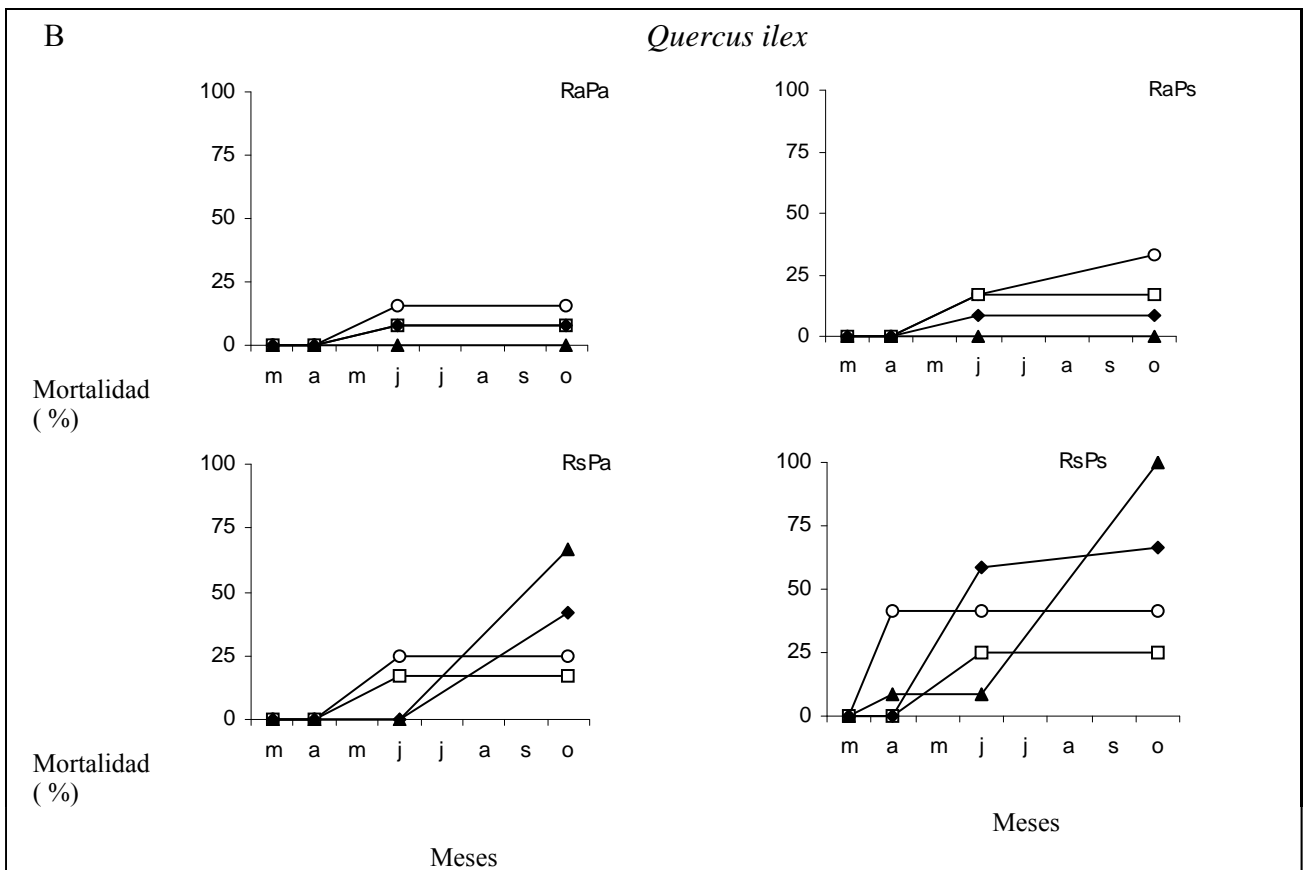
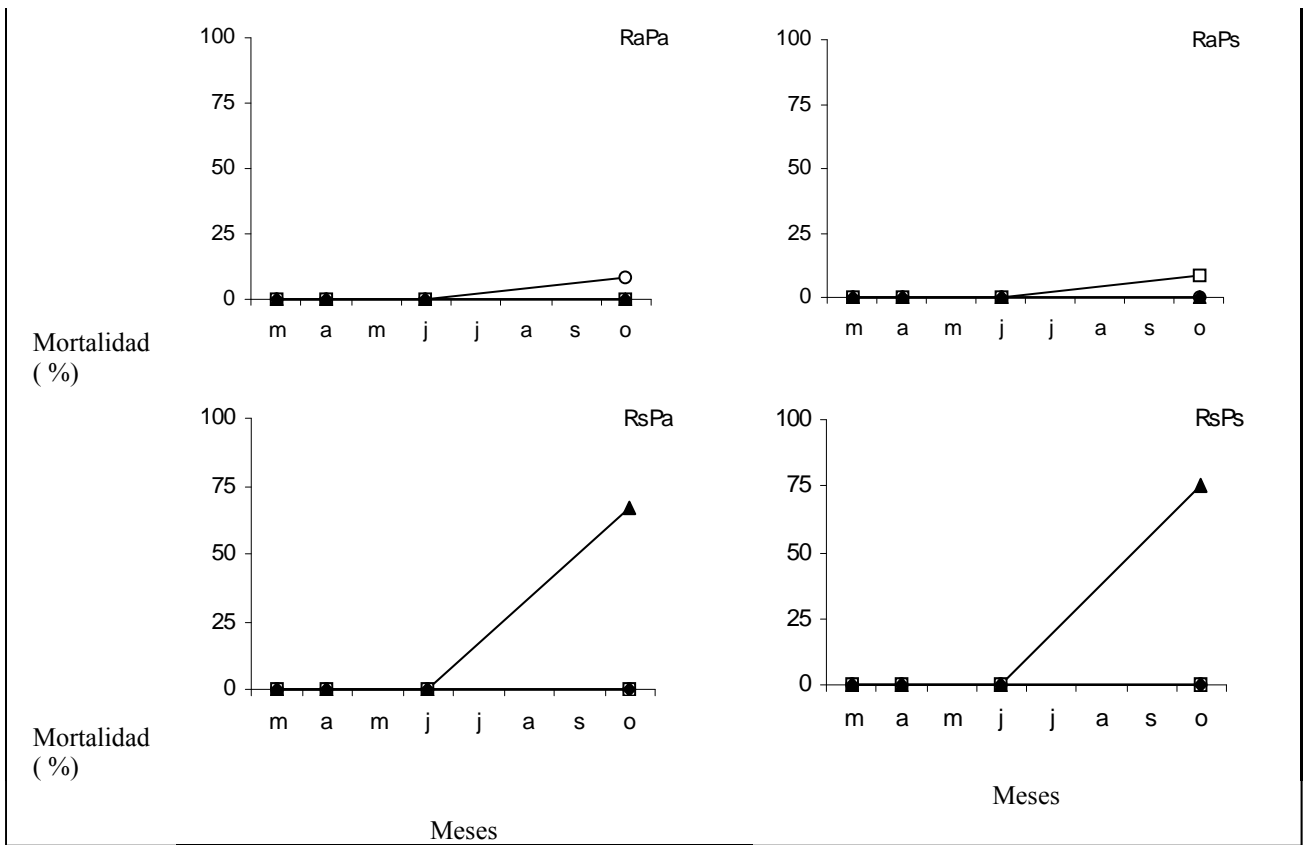
Especie	Tratamiento	Frecuencia (días/semana)	$\Psi_a$ (MPa)	$\Psi_m$ (MPa)
<i>Pinus pinea</i>	RaPa	0,5	-0,6 ab	-0,8 ab
		1	-0,5 ab	-0,5 ab
		3	-0,3 a	-0,5 ab
		Encharcamiento	-0,0 a	-0,1 a
	RsPa	0,5	-0,6 ab	-0,9 b
		1	-0,5 ab	-0,6 ab
3		-0,2 a	-0,4 a	
	Encharcamiento	-0,2 a	-0,2 a	
<i>Quercus ilex</i>	RaPa	0,5	-1,0 b	-1,6 b
		1	-0,8 ab	-1,7 bc
		3	-0,4 a	-1,4 b
		Encharcamiento	-0,3 a	-1,0 b
	RsPa	0,5	-1,7 bc	-2,8 c
		1	-1,3 b	-1,5 b
3		-0,9 ab	-1,0 b	
	Encharcamiento	-0,9 b	-1,5 b	
<i>Quercus suber</i>	RaPa	0,5	-1,2 b	-2,2 c
		1	-1,1 b	-1,8 bc
		3	-0,4 a	-0,8 ab
		Encharcamiento	-0,3 a	-0,8 ab
	RsPa	0,5	-1,4 b	-2,2 bc
		1	-0,8 ab	-1,8 bc
3		-0,7 ab	-0,9 ab	
	Encharcamiento	-0,8 ab	-0,8 ab	
<i>Quercus pyrenaica</i>	RaPa	0,5	-2,2 c	-4,7 d
		1	-0,6 ab	-1,5 b
		3	-0,2 a	-1,4 b
		Encharcamiento	-0,1 a	-1,4 b
	RsPa	0,5	-2,2 c	-3,8 d
		1	-0,7 ab	-1,3 b
3		-1,1 b	-1,4 b	
	Encharcamiento	-1,4 b	-1,8 bc	
<i>Castanea sativa</i>	RaPa	0,5	-1,2 b	-1,6 b
		1	-1,0 b	-1,3 b
		3	-0,6 ab	-1,2 b
		Encharcamiento	-0,1 a	-1,0 b
	RsPa	0,5	-1,7 bc	-1,8 bc
		1	-1,1 b	-1,3 b
3		-1,5 b	-0,7 ab	
	Encharcamiento	-0,9 b	-1,5 b	

**Tabla 2.** Conductividades eléctricas medias ( $dS m^{-1}$ ) del extracto de suelo saturado procedente de plantas (n=10) sometidas en abril de 2004 a tratamientos cruzados de riego y pulverización, con distintas frecuencias semanales. Medidas tomadas a finales de abril y de agosto. Letras distintas indican diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ).

	Frecuencia	Pulverización con agua (Pa)		Pulverización con agua salada (Ps)	
		Abril	Agosto	Abril	Agosto
Riego con agua (Ra)	0,5	3,1 c	0,5 ab	3,2 c	0,5 ab
	1	1,3 b	0,7 ab	1,8 b	0,6 ab
	3	1,0 b	0,6 ab	0,9 b	0,4 ab
	Encharcamiento	0,2 a	0,2 a	0,3 a	0,2 a
Riego con agua salada (Rs)	0,5	5,6 d	0,7 ab	5,6 d	2,3 b
	1	6,1 d	1,1 b	6,7 de	2,7 bc
	3	8,3 e	2,1 b	9,4 e	2,7 bc
	Encharcamiento	6,2 de	4,1 cd	5,0 d	4,2 cd

A

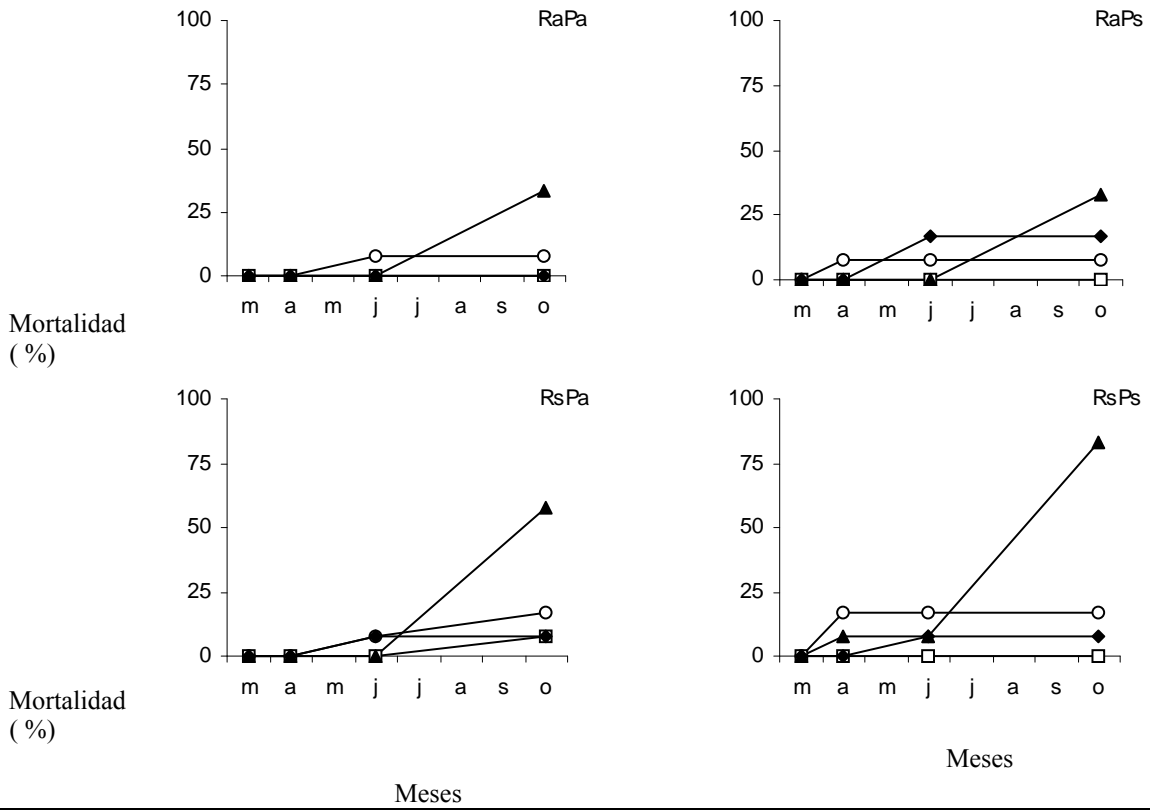
*Pinus pinea*



**Figura 1.** Mortalidad de plantas de 2 savias sometidas a tratamientos cruzados de riego y pulverización: riego con agua + pulverización con agua + (RaPa), riego con agua + pulverización con agua salada (RaPs), riego con agua salada + pulverización con agua (RsPa), y riego con agua salada + pulverización con agua salada (RsPs). Los símbolos representan a 18 plantas, e indican la frecuencia semanal de riego y de pulverización: 0,5 (O), 1 (□), 3 (◆), y encharcamiento + 7 (▲).

C

*Quercus suber*



D

*Quercus pyrenaica*

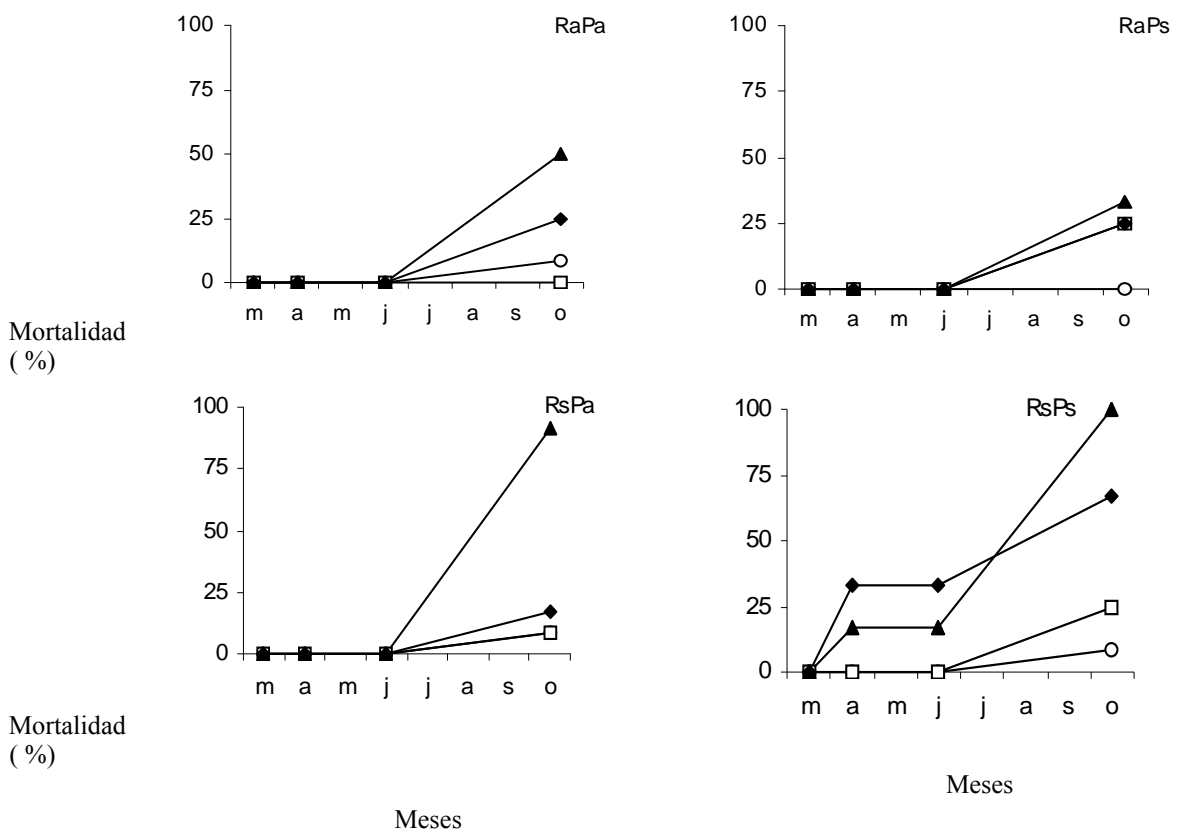


Figura 1. Continuación.

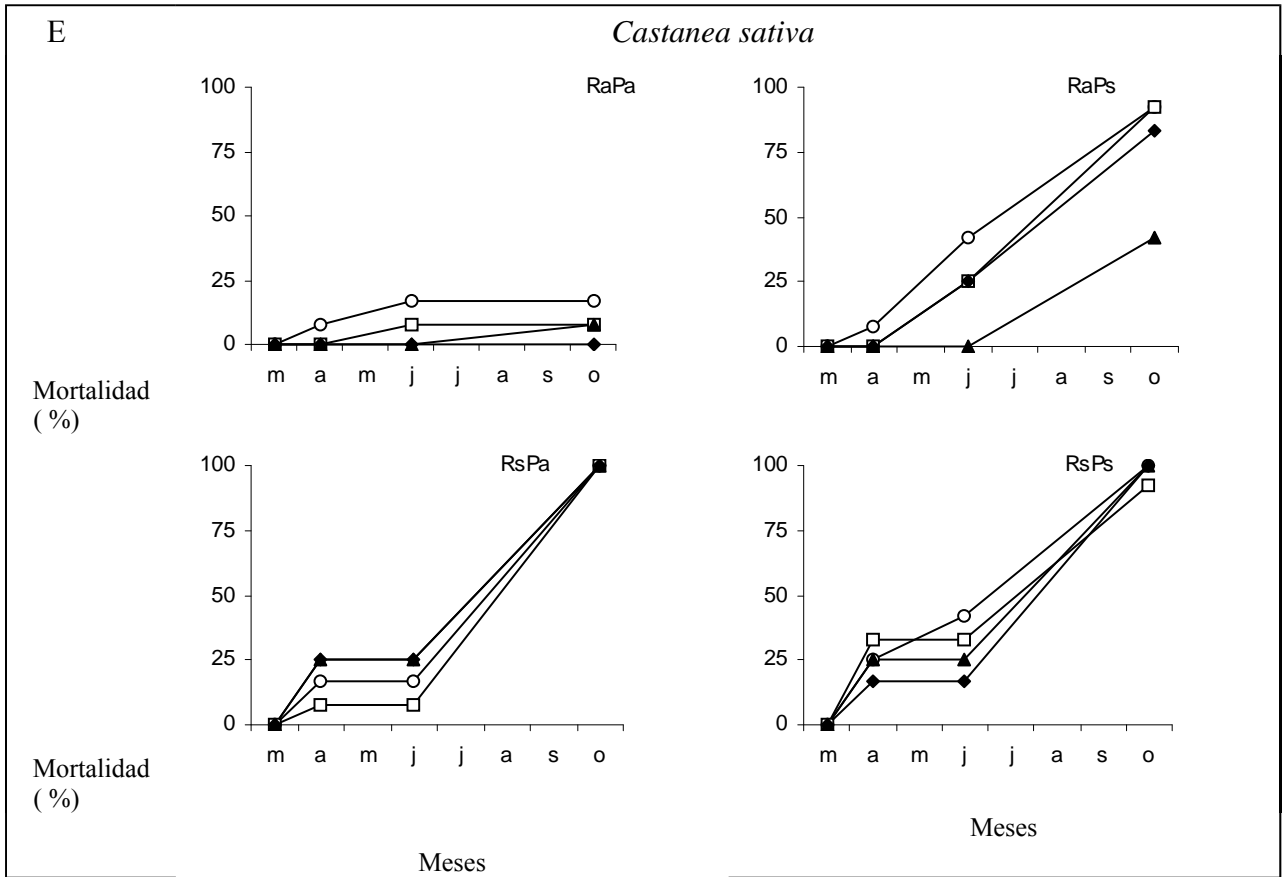


Figura 1. Continuación.