

## RESPUESTA DIFERENCIAL DE DOS ESPECIES DE EUCALIPTO A LA ACLIMATACIÓN POR K Y RIEGO EN VIVERO

Garau, Ana<sup>6</sup>; Guarnaschelli, Ana<sup>6</sup> y Lemcoff, Jorge<sup>7</sup>

### RESUMEN

El estrés hídrico es la principal restricción abiótica que afecta el establecimiento de los plantines forestales. Con el objetivo de evaluar el efecto del potasio y la restricción hídrica se estudió respuestas morfológicas y fisiológicas de plantines de *Eucalyptus camaldulensis* y *E. globulus* tanto en plantas de vivero como en condiciones controladas de plantación. Los tratamientos en vivero fueron una combinación de dos niveles de K (K0 y K1) y dos de disponibilidad hídrica (Control-v y Estrés-v). Luego, se trasplantaron en contenedores de 200 L y se sometieron a dos niveles de disponibilidad hídrica durante un mes (Control-p y Estrés-p). En ambas condiciones se evaluó la biomasa aérea y radical e índices de alocaación relativa de fotosintatos a las hojas y a las raíces. Al final del período de plantación se calcularon tasas de crecimiento relativo. Al término de la etapa de vivero y de plantación se realizaron curvas presión-volumen y se evaluó el potencial osmótico a saturación y el módulo máximo de elasticidad de la pared celular. Para evaluar el grado de aclimatación de calculó un índice de plasticidad.

Al finalizar la etapa de vivero no se observó efecto significativo del K en ambas especies. La restricción hídrica no afectó la biomasa ni la alocaación relativa en los plantines de *E. globulus*, mientras que la disminuyó en *E. camaldulensis*, aunque produjo una mayor alocaación relativa hacia raíces. Ante la restricción hídrica ambas especies realizaron ajuste osmótico de similar magnitud pero en *E. camaldulensis* hubo, además, un ajuste elástico con endurecimiento de la pared celular. Al finalizar la etapa de plantación solo se observó modificaciones positivas en la biomasa, en la alocaación relativa y en las tasas de crecimiento en las plantas de *E. globulus* del nivel Estrés-p. Por su parte, en *E. camaldulensis* las plantas K1 mostraron mayores tasas de crecimiento relativo en biomasa aérea y radical y una mayor alocaación hacia hojas; las plantas Estrés-v mostraron mayores tasas de crecimiento en biomasa aérea, aumentando la alocaación relativa a hoja.

Ante la restricción hídrica en plantación, no hubo modificaciones fisiológicas en *E. globulus*. En las plantas de *E. camaldulensis* se observó un ligero ajuste osmótico en las plantas K1 y un endurecimiento de la pared celular con la restricción hídrica en plantación. La mayor dosis de K (K1) y la restricción hídrica durante la etapa de vivero (Estrés-V) produjo modificaciones plásticas de distinto nivel, tanto fisiológicas como morfológicas, en los plantines de ambas especies de eucalipto. La disponibilidad hídrica presentó los mayores valores en el índice de plasticidad en todas las variables evaluadas en la etapa de vivero. En la etapa post-plantación, si bien el principal efecto es de la restricción hídrica aplicada en esa etapa, se observó diferencias entre las especies de eucalipto ya que predomina el efecto del nivel de K sobre el efecto del nivel hídrico en *E. camaldulensis*. Plantines de eucalipto con mayores niveles de K y restricción en la disponibilidad hídrica durante la etapa de vivero produjeron plantas aclimatadas morfológica y fisiológicamente que mostraron (en el caso de *E. camaldulensis*) mayores tasas de crecimiento en condiciones de restricción hídrica en plantación. Sin embargo, y considerando que en el caso de *E. globulus* las respuestas fueron distintas, e inclusive sin diferencias significativas con los controles, la aplicación de dichas prácticas culturales debería ajustarse en función de cada especie.

Palabras clave: Aclimatación, Vivero, Eucaliptos

<sup>6</sup> Cátedra de Dasonomía-Depto. Producción Vegetal, Facultad Agronomía.UBA-Argentina agarau@agro.uba.ar  
<sup>7</sup> Inst. Soil, Water & Environmental Sciences. Volcani Center, Israel

## SUMMARY

Water stress is a major abiotic constraint affecting the establishment of forest seedlings. In order to evaluate the effect of potassium and water restriction morphological and physiological responses of *Eucalyptus camaldulensis* and *E. globulus* both as seedlings and planted in controlled conditions were studied. Nursery treatments were a combination of two levels of K (K0 and K1) and two water availability conditions (Control-v and Stress-v). Then, plants were transplanted into containers of 200 L and subjected to two levels of water availability for a month (Control-p and Stress-p). In both conditions shoot and root biomass and relative rates of photosynthate allocation to leaves and roots were evaluated. At the end of planting period relative growth rates were calculated. After the nursery stage and planting period pressure-volume curves were performed and osmotic potential at full turgor and the maximum modulus of elasticity of the cell wall were evaluated. To assess the degree of acclimation a plasticity index was calculated.

At the end of the nursery stage no significant effect of K was observed in both species. The water restriction did not affect biomass or relative allocation in seedlings of *E. globulus*, while decreased it in *E. camaldulensis*, although producing a greater relative allocation to roots. With water restriction both species performed an osmotic adjustment of similar magnitude, but in *E. camaldulensis* there was also an elastic adjustment of the cell walls.

After the planting period only positive changes in biomass, in the allocation and relative growth rates were observed in *E. globulus* E-p plants. Meanwhile, *E. camaldulensis* K1 plants showed higher relative growth rates of shoot and root biomass and increased allocation to leaves; Stress-v plants showed higher growth rates in biomass, increasing the relative allocation to leaves.

No physiological changes related to water restrictions were observed in *E. globulus*. In K1 plants of *E. camaldulensis* there was a slight osmotic adjustment and a hardening of the cell wall related to water restriction during plantation. The higher dose of K (K1) and the water restriction during the nursery stage (Stress-V) produced plastic changes (both physiological and morphological), in the seedlings of both eucalypts species. Water availability showed the highest plasticity index values in all variables during the nursery stage. In the post-planting period, although the main observed effects was related to the water restriction applied at that stage, there were differences between eucalypts species as a predominant effect of K level was observed in *E. camaldulensis* plants. Higher levels of K and restriction in the availability of water during the nursery stage produced *Eucalyptus* plants morphological and physiologically acclimated that showed (in the case of *E. camaldulensis*) higher growth rates under conditions of water restriction during the planting period. However, as in *E. globulus* responses were different, and even without significant differences with the Controls, the application of such cultural practices should be adjusted according to each species.

Keywords: Nursery, Eucalypts, Acclimation

## INTRODUCCION

Las plantaciones de *Eucalyptus* representan cerca del 25% de la superficie de plantaciones comerciales en Argentina (Garau, 2012). En la provincia de Buenos Aires *Eucalyptus camaldulensis* y *E. globulus* son dos de las principales especies utilizadas en forestaciones comerciales (Cozzo, 1995). Debido a su baja tolerancia al frío, las principales especies se plantan en la primavera, cuando la ocurrencia de situaciones de deficiencia hídrica durante el establecimiento pueden ser comunes (Soriano, 1991). La disponibilidad de agua es uno de los principales factores que limita el establecimiento y crecimiento de los plantines forestales. En condiciones de sequía las especies de *Eucalyptus* exhiben diferentes cambios morfológicos y fisiológicos que aumentan su tolerancia al déficit hídrico (Lemcoff *et al.*, 1994; Sasse y Sands, 1996; Lemcoff *et al.*, 2002; Guarnaschelli *et al.*, 2003)

Las características morfológicas y fisiológicas de los plantines varían significativamente con las prácticas de producción en la etapa de vivero y con las condiciones ambientales (Burdett, 1990). La aclimatación, respuesta fenotípica modificable por el nivel de disponibilidad de recursos, es una técnica usada comúnmente en los viveros. La aclimatación por riego, por ejemplo, consiste en restringir la disponibilidad de agua en las etapas finales de ese período (Landis, 1989). De esta manera, plantas aclimatadas mostraron mejor comportamiento en condiciones de sequía en distintas especies de *Eucalyptus* (Reis *et al.*, 1988; Sasse y Sands, 1996; Osorio *et al.*, 1998; Guarnaschelli *et al.*, 2003, 2006). Guarnaschelli *et al.* (2006) hallaron que plantas de *Eucalyptus globulus* de 5 meses sometidas a aclimatación con sequía en vivero mostraron mejor estado hídrico, mayor conductancia estomática y mayor supervivencia que plantas no aclimatadas.

Por su parte, la fertilización potásica durante el período de aclimatación en vivero resulta, no solo importante para la nutrición de la planta, sino que cumple también un rol relevante relacionado a la tolerancia al estrés hídrico. El potasio (K), está involucrado en la osmoregulación y en el cierre y apertura de estomas (Kozłowski y Pallardy, 1997). Al disminuir el potencial agua, la acumulación de solutos (Nielsen y Orcutt, 1996) puede permitir que las plantas mantengan un gradiente de potencial agua con un suelo que se va secando, y lograr una turgencia suficiente para mantener los estomas abiertos y posibilitar el intercambio de gases y el crecimiento (White *et al.*, 2000). La capacidad de ajuste osmótico está influenciada por la disponibilidad de nutrientes. Plantines de *Quercus prinus* fertilizados con NPK mostraron mayor ajuste osmótico en condiciones de sequía (Kleiner *et al.*, 1992). En diversos trabajos se ha observado que las plantas que recibieron dosis de K respondieron mejor a condiciones de estrés hídrico (van den Driessche 1992, Garau *et al.*, 2004; Texeira *et al.*, 2008; Guarnaschelli *et al.*, 2010).

En *Eucalyptus globulus* ssp *maidenii* y en *E.globulus* ssp *globulus*, Plante *et al.* (2002) y Mema *et al.* (2003) observaron mayor crecimiento en biomasa aérea y radical en condiciones de restricción hídrica en plantines que recibieron una mayor dosis de K en el vivero. Por su parte, van den Driessche (1991) halló incremento en el número de nuevas raíces en plantines de *Pseudotsuga menziesii* sometidas a restricción hídrica, pero fertilizadas con potasio, mientras que Von Wernick y Lavado (2001) observaron menor daño por heladas en plantines de *Eucalyptus grandis* fertilizados con K. Chamshama y Hall (1987) establecieron que la fertilización con K incrementó el diámetro a nivel del cuello, el peso seco y el crecimiento del sistema radical en plantines de *E. camaldulensis*.

La producción de materia seca depende básicamente de la distribución de los carbohidratos en el área fotosintética y de la tasa de fijación de carbono por unidad de área foliar. La tasa de crecimiento relativa (TCR) es una medida inherente de la eficiencia de crecimiento y permite identificar si una planta logra su superioridad en crecimiento a través de mayor rendimiento fotosintético (mayor TAN), mayor distribución relativa de fotosintatos en el área foliar (mayor relación de área foliar), o por combinación de ambas (Lambers y Poorter, 1992). Es decir, el análisis de crecimiento aporta una manera de integrar las respuestas fisiológicas de plantas creciendo bajo diferentes condiciones medioambientales a través del tiempo. De esta manera provee de una poderosa herramienta para evaluar las primeras etapas del crecimiento de los plantines (Margolis y Brand, 1990).

En este trabajo se analiza el efecto de dos niveles de fertilización con K y dos niveles de

riego aplicados en la etapa de vivero sobre respuestas morfológicas y fisiológicas de plantines de *Eucalyptus camaldulensis* y *E. globulus*. Los objetivos principales son evaluar como esos tratamientos modifican la morfología y crecimiento de los plantines, evaluar la *performance* de esas plantas después de la plantación con restricción de riego en un ensayo controlado y analizar si hay respuestas diferenciales a nivel de especie de eucalipto.

## MATERIALES Y METODOS

El ensayo se realizó en el campo experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (34° 35' 27" LS, 58° 29' 47" LW y 20 msnm). Se trabajó con *Eucalyptus camaldulensis* y *Eucalyptus globulus*, dos de las especies más plantadas en Argentina (Cozzo, 1995).

Se usó semilla de *Eucalyptus camaldulensis* procedencia Lake Coorong y de *E. globulus* procedencia Flinders Island provista por Kylisa Seeds Pty Ltd. (Australia).

Los plantines fueron producidos en contenedores de 660cm<sup>3</sup>, con una mezcla de fibra de coco y compost de corteza de pino (1:1 v/v) como sustrato. El experimento se realizó en un invernáculo abierto con una cubierta de polietileno transparente de 100-µm.

**Cuadro N° 1**  
**CARACTERIZACIÓN DE LAS PROCEDENCIAS DE SEMILLA EMPLEADAS**

Especie	Origen	Latitud S	Longitud E	Altitud (msnm)	Precipitación (mm)	Temperatura	
						Media Enero (°C)	Media Julio (°C)
<i>E. globulus</i> ssp. <i>globulus</i>	Flinders Island	40° 00'	148° 07'	26	743	17,7	9,8
<i>E. camaldulensis</i>	Lake Coorong	35° 45'	142° 23'	81	452	22,8	8,9

### Período de Vivero

Durante 4 meses las plantas fueron regadas con una solución Johnson ("J": 6 ml/L de NO<sub>3</sub>K 1M, 4ml/L de (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>Ca 1M, 2 ml/L de PO<sub>4</sub>H<sub>2</sub>NH<sub>4</sub> 1M, 1ml/L de SO<sub>4</sub>Mg.7H<sub>2</sub>O, 1ml/L de micronutrientes, 1 ml/L Fe-EDTA.

En la primera etapa (1° - 5° semanas), todas las plantas recibieron la solución "J".

En la segunda etapa (6° - 10° semanas), todas las plantas recibieron la solución "J" enriquecida con P (2ml/L PO<sub>4</sub>H<sub>2</sub>Na 1M).

En una tercera etapa (11° -14° semanas), el 50% de las plantas recibió la solución "J" (K0), mientras que el resto recibió la solución "J" enriquecida con K (12ml / l KCl 1 M ) (K1).

En la cuarta etapa (15° - 19° semanas), la mitad de las plantas recibió riego diario (Cv), mientras que el resto fue regado cada tres días (Ev). En esta etapa, todas las plantas recibieron la solución "J".

Al término de este período, en ocho plantas por tratamiento, se evaluó la biomasa. Se separaron los tallos, las hojas y las raíces y fueron secadas en estufa a 85°C por 48 h.

Se determinaron la relación de peso de raíces (g raíces/g total, RPR), la relación de peso de hojas (g hojas/g total, RPF) y la relación de área foliar (cm<sup>2</sup> hojas/g total, RAF).

A la finalización del período de vivero se estimó variables hídricas utilizando curvas presión-volumen con el método de presurización repetida (Hinckley *et al.*, 1980).

Se utilizó una versión mejorada del programa de Schulte (Schulte y Hinckley, 1985) para

estimar el potencial osmótico a turgencia plena ( $\pi_{TP}$ ) y el módulo de elasticidad de la pared celular ( $\epsilon_{max}$ ).

El ajuste osmótico ( $\pi_{adj}$ ) se calculó como la diferencia entre el  $\pi_{TP}$  del control de cada tratamiento y las otras combinaciones de tratamientos. El ajuste elástico ( $\epsilon_{adj}$ ) se calculó de manera similar usando  $\epsilon_{max}$ .

## Período Plantación

En la quinta etapa (20° - 24° semanas), los plantines de vivero fueron trasplantados a contenedores de mayor tamaño (80 cm altura, 60 cm diámetro; 200 L), con una mezcla de suelo y arena 3:1 (v/v) como sustrato.

Se plantó 11 repeticiones por cada tratamiento de vivero. La mitad de esas plantas fue regada a capacidad de campo diariamente (Cp), y el resto tuvo niveles crecientes de sequía, ya que partiendo de suelo a saturación no se regaron más (Ep).

La biomasa inicial y final se determinó en ocho plantas por tratamiento. La relación de peso de raíces (g raíces/g total, RPR), la relación de peso de hojas (g hojas/g total, RPF), la relación de área foliar (cm<sup>2</sup> hojas/g total, RAF) y el área foliar específica (cm<sup>2</sup> hoja/g.hoja, AFE) y la tasa de asimilación neta (g/cm<sup>2</sup> hoja. t, TAN) fueron determinadas al final del período de estudio.

Se calculó la tasa de crecimiento relativo (TCR) en biomasa (Hunt, 1982).

Durante el período de plantación se determinó la conductancia estomática (g) al mediodía en cinco plantas por tratamiento utilizando un porómetro (Li 1600, Licor Inc. Lincoln, Ne).

A la finalización del período de plantación se estimaron variables hídricas siguiendo los procedimientos planteados precedentemente.

Para comparar las respuestas de las especies, es decir determinar el grado de cambio de las características medidas en diferentes unidades, se calculó un *Índice de Plasticidad* para algunas variables fisiológicas y morfológicas.

Este índice, que varía entre 0 y 1 se calcula a partir de la diferencia entre el valor máximo medio y mínimo medio que asume cada variable sobre el valor máximo (Valladares *et al.*, 2002).

Se realizó un análisis de variancia multifactorial (niveles de fertilización con K, régimen de riego en vivero y régimen de riego en plantación).

La separación de medias se realizó usando el test de Tukey ( $p < 0.05$ ). Se utilizó el programa *Statgraphics* versión 6.0 (STSC, Inc. USA 1992).

## RESULTADOS

### Período de Vivero

#### -Variables Morfológicas

No se observó efecto del K. Se encontró diferencias significativas en las especies de eucalipto con los niveles de riego (Cuadro N°2).

La restricción hídrica no afectó la biomasa ni la alocaión relativa en los plantines de *E. globulus*, mientras que la disminuyó significativamente en *E. camaldulensis*, si bien en esta especie se incrementó la alocaión relativa a raíces (Cuadro N 3).

**Cuadro N° 2**  
**BIOMASA DE PLANTINES A LA FINALIZACIÓN DE LA ETAPA DE VIVERO**

Especie	Hojas (g)	Tallo (g)	Raíces (g)	Total (g)	Tallo - Raíz
E. cam - Cv	4,39 ± 0,20 a	7,30 ± 0,47 a	3,04 ± 0,22 a	14,76 ± 0,77 a	4,00 ± 0,20 a
E. cam - Ev	3,14 ± 0,20 b	5,46 ± 0,48 b	2,60 ± 0,22 b	11,21 ± 0,77 b	3,43 ± 0,19 b
E. glo - Cv	3,78 ± 0,24	3,84 ± 0,31	1,91 ± 0,17	9,54 ± 0,65	4,29 ± 0,32
E. glo - Ev	3,24 ± 0,24	3,21 ± 0,31	1,51 ± 0,17	7,97 ± 0,65	4,36 ± 0,32

E.cam: *E. camaldulensis*  
 E.glo: *E. globulus*  
 Cv y Ev: Control y restricción de riego en vivero

**Cuadro N° 3**  
**ALOCACIÓN RELATIVA A HOJAS (RAF, RPF) Y A RAÍCES (RPR)**  
**A LA FINALIZACIÓN DEL PERÍODO DE VIVERO**

Especie	RAF (cm <sup>2</sup> /g)	RPF (g Hoja/g)	RPR (g Raíz/g)
E. cam - Cv	39,61 ± 1,85	0,30 ± 0,01	0,203 ± 0,006 b
E. cam - Ev	36,63 ± 1,85	0,28 ± 0,01	0,230 ± 0,006 a
E. glo - Cv	77,42 ± 3,12	0,40 ± 0,01	0,197 ± 0,009
E. glo - Ev	78,28 ± 3,12	0,40 ± 0,01	0,190 ± 0,009

E.cam: *E. camaldulensis*  
 E.glo: *E. globulus*  
 Cv y Ev: Control y restricción de riego en vivero

### -Variables Fisiológicas

El K no modificó las variables fisiológicas analizadas. La restricción hídrica produjo una disminución significativa en el  $\pi_{TP}$  en ambas especies.

El ajuste osmótico fue 0,20 MPa en *E. camaldulensis* y 0,19 MPa en *E. globulus* (Cuadro N° 4).

Mientras  $\xi_{max}$  no fue modificado en los plantines de *E. globulus*, en los de *E. camaldulensis* se observó un endurecimiento de la pared celular con un ajuste elástico de 4,0 MPa (Cuadro N° 4).

**Cuadro N° 4**  
**POTENCIAL OSMÓTICO A TURGENCIA PLENA ( $\pi_{TP}$ ) Y MÓDULO DE ELASTICIDAD ( $\xi_{MAX}$ )**  
**EN PLANTINES DE EUCALIPTO CON DOS NIVELES DE RIEGO EN VIVERO**

Especie	$\pi_{TP}$ (MPa)	$\xi_{max}$ (MPa)
E. cam - Cv	-1,58 ± 0,07 b	17,28 ± 1,43 b
E. cam - Ev	-1,78 ± 0,04 a	21,33 ± 1,43 a
E. glo - Cv	-1,19 ± 0,08 b	13,06 ± 1,50
E. glo - Ev	-1,38 ± 0,08 a	12,60 ± 1,50

E.cam: *E. camaldulensis*  
 E.glo: *E. globulus*  
 Cv y Ev: Control y restricción de riego en vivero

## Período Plantación

### -Variables Morfológicas

La restricción de riego impuesta durante la plantación disminuyó significativamente la biomasa de hojas, tallos y la relación T/R en *E. camaldulensis* (Cuadro N° 5).

No se observó modificaciones en la biomasa de los plantines de *E. globulus* derivadas de los tratamientos aplicados en el vivero. Solo se encontró efectos producidos por la restricción hídrica durante la plantación con una disminución significativa en la biomasa de hojas y tallos.

En cambio, los plantines de *E. camaldulensis* del nivel K1 en vivero mostraron mayor biomasa foliar.

**Cuadro N° 5**  
**BIOMASA DE PLANTINES DE EUCALIPTO**  
**AL FINAL DEL PERÍODO DE PLANTACIÓN**

Especie	Hojas (g)	Tallo (g)	Raíces (g)	Tallos - Raíz
E. cam - K0	7,39 ± 0,6 b			
E. cam - K1	9,18 ± 0,6 a			
E. cam - Cp	10,3 ± 0,6 a	17,4 ± 1,33 a	8,00 ± 0,62	3,59 ± 0,18 a
E. cam - Ep	6,2 ± 0,6 b	12,1 ± 1,30 b	7,85 ± 0,62	2,37 ± 0,18 b
E. glo - Cp	16,03 ± 1,27 a	12,42 ± 0,96 a	4,74 ± 0,37	2,59 ± 0,15
E. glo - Ep	9,94 ± 1,27 b	7,80 ± 0,96 b	3,93 ± 0,38	2,28 ± 0,15

E. cam: *E. camaldulensis*

E. glo: *E. globulus*

K0 y K1: Niveles de K en vivero

Cp y Ep: Control y restricción de riego en plantación

### Tasas de Crecimiento Relativo

En ambas especies la restricción de riego durante la plantación redujo la tasa de crecimiento en hoja y tallo, pero no modificó la de raíces (Cuadro N° 6).

Sin embargo, se encontró diferencias en la respuesta de ambas especies de eucalipto como consecuencia de los distintos tratamientos aplicados durante la etapa de vivero.

Así, en *E. globulus* solo se observó mayor tasa de crecimiento de hojas en las plantas K1.

Por su parte en *E. camaldulensis*, las plantas K1 mostraron mayor tasa de crecimiento en biomasa de hojas, tallos y raíces. La restricción hídrica en vivero produjo mayor tasa de crecimiento en hojas y tallo.

### Índices de Partición y Eficiencia Foliar

En esta etapa, no se observó efectos derivados de los tratamientos aplicados en el vivero sobre los índices de alocaión relativa en las plantas de *E. globulus* (Cuadro N° 7).

En *E. camaldulensis* las plantas K1 mostraron mayor TAN, RAF y RPF, mientras que las Ev resultaron con mayor TAN, RAF y AFE.

La restricción hídrica durante la plantación mostró diferente respuesta entre las

especies. En *E. globulus* produjo menor RPF y TAN, pero incrementó el área foliar específica (AFE) y la alocaión a raíz (RPR). En *E. camaldulensis* disminuyó el RAF, RPF y la TAN, pero se incrementó el RPR.

**Cuadro N° 6**  
**TASA DE CRECIMIENTO RELATIVO EN BIOMASA DE HOJA, TALLO Y RAÍZ**  
**EN PLANTINES DE EUCALIPTO A LA FINALIZACIÓN DEL PERÍODO DE PLANTACIÓN**

Especie	Hojas (g.g <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup> )	Tallo (g.g <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup> )	Raíces (g.g <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup> )
E. cam - K0	0,0061 ± 0,0008 b	0,0074 ± 0,0009 b	0,0093 ± 0,0008 b
E. cam - K1	0,0096 ± 0,0008 a	0,0093 ± 0,0009 a	0,0122 ± 0,0008 a
E. cam - Cv	0,0065 ± 0,0005 b	0,0074 ± 0,0008 b	0,0108 ± 0,0008
E. cam - Ev	0,0091 ± 0,0005 a	0,0094 ± 0,0008 a	0,0112 ± 0,0008
E. cam - Cp	0,0104 ± 0,0008 a	0,0103 ± 0,0009 a	0,0108 ± 0,0007
E. cam - Ep	0,0053 ± 0,0008 b	0,0065 ± 0,0009 b	0,0107 ± 0,0007
E. glo - K0	0,0115 ± 0,0008 b	0,0098 ± 0,0009	0,0085 ± 0,0008
E. glo - K1	0,0139 ± 0,0008 a	0,0103 ± 0,0009	0,0095 ± 0,0008
E. glo - Cv	0,0122 ± 0,0009	0,0097 ± 0,0008	0,0079 ± 0,0008
E. glo - Ev	0,0130 ± 0,0009	0,0105 ± 0,0008	0,0102 ± 0,0008
E. glo - Cp	0,0147 ± 0,0009 a	0,0121 ± 0,0009 a	0,0096 ± 0,0007
E. glo - Ep	0,0107 ± 0,0009 b	0,0081 ± 0,0009 b	0,0084 ± 0,0007

E. cam: *E. camaldulensis*

E. glo: *E. globulus*

K0 y K1: Niveles de K en vivero

Cv y Ev: Control y restricción de riego en vivero

Cp y Ep: Control y restricción de riego en plantación.

**Cuadro N° 7**  
**ALOCACIÓN RELATIVA A HOJAS (RAF, RPF, AFE), A RAÍCES (RPR) E ÍNDICE DE EFICIENCIA FOLIAR**  
**(TAN) EN PLANTINES DE EUCALIPTO A LA FINALIZACIÓN DEL PERÍODO DE PLANTACIÓN**

Especie	TAN (g/cm <sup>2</sup> hoja. t)	RPF (g hoja/g planta)	AFE (cm <sup>2</sup> hoja/g hoja)	RAF (cm <sup>2</sup> hoja/g planta)	RPR (g raíz/g)
E. cam - K0	0,00028 ± 0,00003 b	0,255 ± 0,008 b	82,0 ± 4,1	20,72 ± 1,00 b	0,270 ± 0,001
E. cam - K1	0,00036 ± 0,00003 a	0,273 ± 0,008 a	83,8 ± 4,1	22,82 ± 1,00 a	0,256 ± 0,001
E. cam - Cv	0,00028 ± 0,00001 b	0,265 ± 0,007	78,1 ± 4,2 b	20,62 ± 1,01 b	0,261 ± 0,001
E. cam - Ev	0,00035 ± 0,00001 a	0,265 ± 0,007	87,6 ± 4,2 a	22,93 ± 1,01 a	0,265 ± 0,001
E. cam - Cp	0,00036 ± 0,00001 a	0,289 ± 0,008 a	83,1 ± 4,2	23,90 ± 1,00 a	0,224 ± 0,002 b
E. cam - Ep	0,00027 ± 0,00001 b	0,240 ± 0,008 b	82,6 ± 4,2	19,66 ± 1,00 b	0,301 ± 0,002 a
E. glo - K0	0,00017 ± 0,00005	0,473 ± 0,005	128,3 ± 6,9	60,11 ± 3,3	0,165 ± 0,001
E. glo - K1	0,00020 ± 0,00005	0,486 ± 0,005	135,3 ± 6,9	65,59 ± 3,3	0,166 ± 0,001
E. glo - Cv	0,00017 ± 0,00003	0,478 ± 0,006	127,8 ± 6,2	60,91 ± 3,1	0,158 ± 0,001
E. glo - Ev	0,00019 ± 0,00003	0,482 ± 0,005	135,7 ± 6,2	64,79 ± 3,1	0,160 ± 0,001
E. glo - Cp	0,00022 ± 0,00001 a	0,498 ± 0,008 a	121,4 ± 5,8 b	59,90 ± 3,1	0,152 ± 0,001 b
E. glo - Ep	0,00014 ± 0,00001 b	0,462 ± 0,008 b	142,2 ± 5,8 a	64,70 ± 3,1	0,178 ± 0,001 a

E. cam: *E. camaldulensis*

K0 y K1:

Cp y Ep:

Niveles de K en vivero

Control y restricción de riego en plantación

E. glo:

Cv y Ev:

*E. globulus*

Control y restricción de riego en vivero

## -Variables Fisiológicas

No se observó efectos derivados de los tratamientos aplicados en el vivero. La restricción hídrica durante la plantación no modificó la gs en las plantas de *E. camaldulensis* (Cuadro N° 8), pero la gs de las plantas de *E. globulus* disminuyó significativamente.



**Cuadro N° 8**  
**CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA EN PLANTINES DE EUCALIPTO**  
**DURANTE EL PERÍODO DE PLANTACIÓN**

Especie	Conductancia Estomática (mmol/m <sup>2</sup> .s)		
	15 dpt	22 dpt	35 dpt
E. cam - Cp	548,0 ± 41,6	580,9 ± 25,6	645,8 ± 78,0
E. cam - Ep	519,8 ± 41,6	553,8 ± 25,6	553,7 ± 78,0
E. glo - Cp	577,4 ± 33,1 a	699,0 ± 38,1 a	704,1 ± 78,9 a
E. glo - Ep	478,2 ± 33,1 b	426,9 ± 38,1 b	298,6 ± 78,9 b

E.cam: *E. camaldulensis*  
 E.glo: *E. globulus*  
 Cp y Ep: Control y restricción de riego en plantación  
 Dpt: Días post trasplante

No se observó modificaciones ni en el  $\pi_{TP}$  ni en el  $\xi_{max}$  en los plantines de *E. globulus* (Cuadro N° 9). En *E. camaldulensis* el  $\pi_{TP}$  fue menor en las plantas K1 y en las Ev, pero no fue modificado por la restricción de riego durante la plantación, sin embargo produjo un ajuste elástico de 2.3 MPa.

**Cuadro N° 9**  
**POTENCIAL OSMÓTICO A TURGENCIA PLENA ( $\pi_{TP}$ ) Y MÓDULO MÁXIMO DE ELASTICIDAD ( $\xi_{max}$ )**  
**EN PLANTINES CON DOS NIVELES DE RIEGO EN PLANTACIÓN**

Especie	$\pi_{TP}$ (MPa)	$\xi_{max}$ (MPa)
E. cam - K0	-1,25 ± 0,02 b	16,95 ± 0,6
E. cam - K1	-1,32 ± 0,02 a	17,25 ± 0,96
E. cam - Cv	-1,26 ± 0,01 b	16,94 ± 0,94
E. cam - Ev	-1,31 ± 0,01 a	17,27 ± 0,94
E. cam - Cp	-1,27 ± 0,02	15,93 ± 0,95 b
E. cam - Ep	-1,30 ± 0,02	18,27 ± 0,95 a
E. glo - K0	-0,95 ± 0,03	6,28 ± 0,79
E. glo - K1	-0,92 ± 0,03	7,15 ± 0,79
E. glo - Cv	-0,93 ± 0,02	6,94 ± 0,77
E. glo - Ev	-0,93 ± 0,02	6,80 ± 0,77
E. glo - Cp	-0,91 ± 0,03	6,54 ± 0,79
E. glo - Ep	-0,95 ± 0,03	7,20 ± 0,79

E.cam: *E. camaldulensis*  
 E.glo: *E. globulus*  
 Cv y Ev: Control y restricción de riego en vivero  
 Cp y Ep: Control y restricción de riego en plantación.

### Índices de Plasticidad

El potasio y la disponibilidad hídrica durante la etapa de vivero produjeron modificaciones plásticas de distinto nivel, tanto morfológicas como fisiológicas, en los plantines de ambas especies de eucalipto. La disponibilidad hídrica presentó los mayores valores en el índice de plasticidad en todas las variables evaluadas durante la etapa de vivero (Cuadro N° 10). En la etapa post-plantación, los mayores índices correspondieron al efecto de la restricción de riego durante la

plantación, pero también se observó diferencias entre las especies de eucalipto apreciándose un mayor efecto del nivel de K en *E. camaldulensis* (Cuadro N° 10).

**Cuadro N° 10**  
**INDICES DE PLASTICIDAD FENOTÍPICA PARA VARIABLES RESPUESTA FISIOLÓGICAS Y MORFOLÓGICAS EN PLANTINES DE EUCALIPTO. DISTINTOS NIVELES DE FERTILIZACIÓN CON K Y DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN LA ETAPA DE VIVERO Y EN LA DE PLANTACIÓN**

VIVERO	<i>E. camaldulensis</i>		<i>E. globulus</i>			
	Potasio	Riego	Potasio	Riego		
<b>Fisiológicas</b>						
Pot. osmótico	0,005	0,112	0,053	0,137		
Mód. elasticidad	0,021	0,189	0,105	0,034		
Promedio	0,013	0,150	0,079	0,085		
<b>Morfológicas</b>						
Biomasa hoja	0,100	0,284	0,152	0,142		
Biomasa de tallo	0,045	0,252	0,134	0,164		
Biomasa de raíces	0,168	0,144	0,122	0,157		
Promedio	0,104	0,220	0,136	0,154		
PLANTACION	<i>E. camaldulensis</i>			<i>E. globulus</i>		
	Potasio	Riego Vivero	Riego Plantación	Potasio	Riego Vivero	Riego Plantación
<b>Fisiológicas</b>						
Pot. osmótico	0,030	0,015	0,045	0,030	0,006	0,046
Mód. elasticidad	0,017	0,018	0,128	0,012	0,020	0,090
Promedio	0,023	0,016	0,086	0,076	0,013	0,060
<b>Morfológicas</b>						
Biomasa hoja	0,195	0,070	0,391	0,028	0,063	0,379
Biomasa de tallo	0,135	0,070	0,303	0,002	0,103	0,371
Biomasa de raíces	0,081	0,062	0,018	0,006	0,022	0,170
Promedio	0,137	0,046	0,237	0,012	0,062	0,306

## DISCUSION Y CONCLUSIONES

La restricción hídrica durante la etapa de plantación produjo una disminución significativa en la biomasa de ambas especies. La reducción en la acumulación de biomasa (especialmente de hojas y tallos) y en el crecimiento en plantas de eucalipto sometidas a restricción de riego es una respuesta conocida (Osorio *et al.*, 1998; Lemcoff *et al.*, 2002; Guarnaschelli *et al.*, 2003; Guarnaschelli *et al.*, 2006).

Sin embargo, las prácticas de aclimatación aplicadas en la etapa de vivero, tendientes a disminuir ese efecto, mostraron resultados diferentes entre *E. camaldulensis* y *E. globulus*. Al término de esa etapa la restricción hídrica no afectó la biomasa en los plantines de *E. globulus*, y si bien disminuyó la biomasa de los tallos, las hojas y las raíces en las plantas de *E. camaldulensis*, en las plantas Ev de dicha especie se observó una mayor alocación relativa hacia las raíces, siendo este tipo de respuesta similar a la observada por Pereira y Chaves (1993).

También se observó respuestas de aclimatación fisiológica. En concordancia con resultados de otros autores (Tuomela, 1997; Guarnaschelli *et al.*, 2001; Lemcoff *et al.*, 2002; Merchant *et al.*, 2007) se observó ajuste osmótico en ambas especies de eucalipto y, además, un endurecimiento de la pared celular en *E. camaldulensis*. La capacidad de realizar ajuste osmótico puede considerarse una respuesta de aclimatación a la sequía (Geiger y Servaites, 1991) permitiendo mantener la presión de turgencia para mantener los estomas abiertos y admitir el

ingreso de dióxido de carbono para la fotosíntesis (Nilsen y Orcutt, 1996). Un mayor módulo de elasticidad estabiliza el contenido hídrico y ayuda a mantener la diferencia entre los potenciales agua del suelo y de la planta favoreciendo la absorción de agua sin cambios significativos en el contenido hídrico de los tejidos (Nilsen y Orcutt, 1996). En este trabajo las plantas de *E. globulus* solo mostraron una aclimatación fisiológica derivada de la realización de ajuste osmótico en contraste con trabajos previos (Guarnaschelli *et al.*, 2003; Guarnaschelli *et al.*, 2006). No siempre se observa diferencias en las variables hídricas en plantas de *E. globulus* regadas y no regadas, y respuestas como el ajuste osmótico y/o elástico no son consistentes en esta especie (White *et al.*, 1996), dependiendo de la subespecie (Wang *et al.*, 1988), de la época del año (Correia *et al.*, 1989) o el clon analizado (Osorio *et al.*, 1998). En este ensayo, se produjo ajuste osmótico y este resultado es contrario al encontrado por Wang *et al.* (1988) con la misma procedencia (Flinders Island). Correia *et al.* (1989) tampoco observaron efecto de la fertilización en las variables hídricas ante una situación de sequía en plantas de *E. globulus*.

En ningún caso se observó, en esta etapa, efecto de la mayor dosis de K. En relación a lo anterior, los mayores índices de plasticidad como respuesta a la restricción hídrica con relación a los derivados del agregado de K indican también que el régimen de riego tuvo más impacto sobre los atributos de las plantas evaluados en este estudio. A su vez, y en general, los valores de los índices resultaron mayores en *E. camaldulensis* que en *E. globulus*. La plasticidad fenotípica es una característica variable entre especies (Valladares *et al.*, 2005; Castro-Díez *et al.*, 2006; Guarnaschelli *et al.*, 2012), entre poblaciones de una misma especie (Guarnaschelli *et al.*, 2001; Guarnaschelli *et al.*, 2006) y dependiente del gradiente de recursos disponibles para las plantas (Valladares *et al.*, 2002).

En la etapa de plantación continuaron manifestándose diferencias en las respuestas de ambas especies y las prácticas de riego y fertilización aplicadas en la etapa de vivero tuvieron particular influencia en el comportamiento de las plantas de *E. camaldulensis* después del trasplante. Si bien la menor disponibilidad de agua durante la plantación disminuyó la biomasa aérea en esta especie, las mayores tasas de crecimiento aéreo y radical se observaron en plantines que habían sido sometidos a un período de restricción hídrica en vivero y que recibieron una mayor dosis de K. Los efectos positivos del agregado de K sobre respuestas morfológicas y fisiológicas en distintas especies fueron presentados por varios autores. En plantas de *E. globulus* el agregado de K produjo un descenso adicional en el potencial osmótico a turgencia plena (Guarnaschelli *et al.*, 2010 y 2012). En otros trabajos también se destaca el efecto del K mejorando la tolerancia a la sequía, la eficiencia en el uso del agua, en el crecimiento y la aclimatación de las plantas (Eakes *et al.*, 1991; Egilla *et al.*, 2005).

Dentro del sistema de producción forestal es muy importante que las plantas tengan una buena respuesta al trasplante, y en particular ante condiciones de baja disponibilidad hídrica, manifestada a través de sus tasas de crecimiento. En general, las plantas más pequeñas tienen TCR altas que luego tienden a disminuir. Por lo tanto, los plantines que fueron sometidos a restricción hídrica durante la etapa de vivero pueden tener mayores TCR simplemente debido a su menor tamaño al momento de trasplante.

Sin embargo una suma de respuestas fisiológicas y morfológicas podría explicar estas mayores tasas de crecimiento observadas en las plantas K1 y Ev de *E. camaldulensis* a partir de mejorar la disponibilidad de agua para las mismas; ajuste osmótico, el endurecimiento de las paredes celulares, una mayor proporción de biomasa destinada a raíces y mantenimiento de la conductancia estomática durante la etapa de restricción hídrica en la plantación.

Por otro lado, la tasa de crecimiento relativo también puede explicarse en función de un mayor rendimiento fotosintético (mayor TAN), mayor distribución relativa de fotosintatos hacia el área foliar (mayor RAF), o por combinación de ambas. En tal sentido, las plantas de *E. camaldulensis* K1 y Ev mostraron mayor TAN y mayor RAF.

En las condiciones de restricción hídrica durante la plantación, el área foliar específica no se modificó en *E. camaldulensis* y aumentó significativamente en *E. globulus*. En especies leñosas (entre ellas *Eucalyptus*) el área foliar específica muestra respuestas contrastantes ante condiciones de estrés hídrico. Puede disminuir (Pita y Pardos, 2001; Ngugi *et al.*, 2003) o bien aumentar

(Galmes *et al.*, 2005). El estrés hídrico disminuyó la alocaación relativa a hojas en ambas especies de manera similar a lo encontrado por Gindabaa *et al.* (2005), pero en contraste con esos autores se encontró un aumento en la alocaación relativa a raíz (cabe destacar que ya se había producido un aumento similar en *E. camaldulensis* en la etapa de vivero).

Tanto en la finalización de la etapa de vivero como en la de plantación los índices de plasticidad morfológica resultaron superiores a los fisiológicos en ambas especies. Galmes *et al.* (2005) postulan que los ajustes morfológicos se producirían solo en los estados tempranos de desarrollo de las plantas leñosas. Sin embargo, en otros trabajos, y en distintas especies, se reportan mayores índices de plasticidad fisiológica (Valladares *et al.*, 2000; Guarnaschelli *et al.*, 2010).

Para las condiciones de este ensayo y de acuerdo a los valores hallados para los índices de plasticidad, *E. camaldulensis* mostró mayores valores de ajuste morfológico que *E. globulus*. Estos resultados resultan contradictorios si se considera que en general se acepta que la plasticidad es mayor en plantas con ambientes más ricos en recursos (Grime *et al.*, 1986). En términos de precipitaciones la semilla de *E. camaldulensis* utilizada es de una zona con 452 mm anuales y la de *E. globulus* de una zona con 743. Sin embargo, Aikio y Markkola (2002) establecen lo contrario y para estos autores las plantas son más plásticas si proviene de ambientes con menos recursos. En ambientes ricos las plantas no necesitarían plasticidad para modificar su alocaación relativa; con recursos limitados un cambio de alocaación en concordancia con el recurso limitante puede conducir a incrementos en las tasas de crecimiento.

El establecimiento de los plantines forestales es una etapa crítica que depende fuertemente de la disponibilidad de agua. Las plantas trasplantadas sufren un estrés fisiológico severo porque su capacidad de absorción de agua se ve fuertemente disminuida (Kozlowski y Pallardy, 2002). Es fundamental que las plantas manifiesten una buena respuesta al trasplante a través de sus tasas de crecimiento.

La información presentada sugiere que prácticas de manejo diferencial de recursos durante la etapa de vivero pueden generar respuestas de aclimataación con efectos beneficiosos post-trasplante. Así, períodos de baja disponibilidad de agua y una mayor disponibilidad de K mejoran el crecimiento de los plantines de eucalipto después del trasplante. Sin embargo, y considerando que en el caso de *E. globulus* las respuestas fueron distintas e inclusive sin diferencias significativas con los controles la aplicación de dichas prácticas culturales debería ajustarse en función de cada especie.

Los resultados de este trabajo aportan información que permitiría ajustar programas de fertilización y aclimataación a la sequía en vivero y destacan la necesidad de regular y/o adecuar las tareas de acuerdo a la especie en cuestión.

## REFERENCIAS

Aikio, S.; Markkola, A., 2002. Optimality and phenotypic plasticity of shoot-to-root ratio under variable light and nutrient availabilities. *Evol. Ecol.* 16: 67–76, 2002.

Burdett, A. N., 1990. Physiological processes in plantation establishment and the development of specification for forest planting stock, *Can. J. For. Res.* 20: 415–427.

Chamshama, S. A. and Hall, J. B., 1987. Effects of nursery treatments on *Eucalyptus camaldulensis* field establishment and early growth at Mafiga, Morogoro, Tanzania. *For. Ecol. Manage.* 21: 91-108.

Castro-Diez, P.; Navarro, J.; Pintado, A.; Sancho, L. G. and Maestro, M., 2006. Interactive effects of shade and irrigation on the performance of seedlings of three Mediterranean *Quercus* species. *Tree Physiol.*, 26: 389–400

Correia, M.; Torres, F. and Pereira, J., 1989. Water and nutrient supply regimes and the water relations of juvenile leaves of *Eucalyptus globulus*. *Tree Physiol.* 5: 459-475

Cozzo, D., 1995. Silvicultura de plantaciones maderables. Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires, Argentina

**Eakes, D. J.; Wright, R. D. and Seiler, R., 1991.** Potassium nutrition and moisture stress tolerance of *Salvia*. Hort. Science 26: 422,

**Egilla, J. N.; Davies, F. T. and Boutton, T. W., 2005.** Drought stress influences leaf water content, photosynthesis, and water-use efficiency of *Hibiscus Rosa sinensis* at three potassium concentrations. Photosynth. 43 (1): 135-140.

**Galmes, J.; Cifre, J.; Medrano, H. and Flexas, J., 2005.** Modulation of relative growth rate and its components by water stress in Mediterranean species with different growth forms. Oecol. 145: 21–31

**Garau, A. M.; Guarnaschelli, A. B.; Mema, V.; Pathauer, P. and Lemcoff, J. H., 2004.** Tissue water relations in Eucalyptus seedlings: Effects of species, K fertilization and drought. Conferencia Internacional IUFRO Eucalyptus in a Changing World. Aveiro, Portugal.

**Garau, A. M., 2012.** Los recursos forestales en el mundo y Argentina. C.I.F.A. Facultad Agronomía. UBA. 16 pgs.

**Geiger, D. and Servaites, J., 1991.** Carbon allocation and response to stress. Páginas 103-127 en H. Mooney, W. Winner y E. Pell, editores. Response of plants to multiple stresses. Academic Press, New York, USA.

**Gindabaa, J.; Rozanovb, A. and Negashc, L., 2005.** Photosynthetic gas exchange, growth and biomass allocation of two *Eucalyptus* and three indigenous tree species of Ethiopia under moisture deficit. For. Ecol. Manage. 205: 127–138

**Grime, J. P.; Crick, J. C. and Rincon, J. E., 1986.** The ecological significance of plasticity. In D.H. Jennings and A.J. Trewavas (eds) Plasticity in Plants pp. 5–29. Symposia of the Society for Experimental Biology No. 40. Company of Biologists, Cambridge.

**Guarnaschelli, A. B.; Lemcoff, J. H.; Prystupa, P. and Basci, S., 2003.** Responses to drought preconditioning in *Eucalyptus globulus* Labill. provenances. Trees 17: 501-509.

**Guarnaschelli, A. B.; Prystupa, P. and Lemcoff, J. H., 2006.** Drought conditioning improves water status, stomatal conductance and survival of *Eucalyptus globulus* subsp. *bicostata*. Ann. For. Sci. 63: 941-950.

**Guarnaschelli, A. B.; Garau, A. M. y Caccia, F., 2006.** Respuestas al déficit hídrico y lumínico durante el establecimiento de *Salix*. Jornadas de Salicáceas. Buenos Aires.

**Guarnaschelli, A. B.; Ruiz Nuñez, J.; Chiavassa, J. A.; Fedotova, N. y Garau, A. M., 2010.** Aclimatación en vivero en plantas de *Eucalyptus* por restricción hídrica y fertilización potásica. XXIV Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia, Entre Ríos.

**Guarnaschelli, A. B.; Garau, A. M.; Caccia, F. D. and Cortizo, S. C., 2008.** Physiological responses to shade and drought in young Willow plants. 23rd Session of the International Poplar Commission. "Poplars, willows and people's wellbeing". Beijing, China.

**Guarnaschelli, A. B.; Chiavassa, J. A. y Garau, A. M., 2012.** Respuestas fisiológicas, resistencia al estrés y crecimiento de plantas de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus grandis* modificadas por potasio bajo condiciones de sequía. Congreso Latinoamericano de *Eucalyptus*. Pucón, Chile.

**Hunt, R., 1982.** Plant growth curves. The functional approach to plant growth analysis. University Park Press, Baltimore, Gran Bretaña.

**Kleiner, K. W.; Abrams, M. D. and Schultz, J. C., 1992.** The impact of water and nutrient deficiencies on the growth, gas exchange and water relations of Red Oak and Chestnut Oak. Tree Physiol 11:271–287

**Kozłowski, T. and Pallardy, S. G., 1997.** Physiology of woody plants. Second Edition. Academic Press, Nueva York.

**Kozłowski, T. T. and Pallardy, S. G., 2002.** Acclimation and adaptive responses of woody plants to environmental stresses. Bot. Rev. 68: 270-334.

**Lambers, H. and Poorter, H., 1992.** Inherent variation in growth rate between higher plants: A search for ecological causes and consequences. Adv. Ecol. Res. 23:187–261

**Landis, T. D., 1989.** Irrigation and water management. En Landis, T. D.; Tinus, R. W.; McDonald, S. E. y Barnett, J. P. The Container Tree Nursery Manual, vol. 4. Agric. Handbook. 674. Washington, D. C. USDA Forest Service: 1-39.

**Lemcoff, J; Guarnaschelli, A; Garau, A.; Basciali, M. and Ghersa, C., 1994.** Osmotic adjustment and its use as selection criterion in *Eucalyptus* seedlings. *Can. J. For. Res.* 24:2404-2408.

**Lemcoff, J; Guarnaschelli, A; Garau, A. and Prystupa, P., 2002.** Elastic and osmotic adjustment in rooted cuttings of several clones of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. from southeastern Australia after a drought. *Flora.* 197:134-142.

**Margolis, H. A. and Brand, D. G., 1990.** An ecophysiological basis for understanding plantation establishment. *Can.J.For.Res.* 20: 375-390.

**Marschner, H., 1995.** Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Ed. Academic Press, San Diego, California, USA.

**Mema, V.; Garau, A.; Guarnaschelli, A. y Lemcoff, J., 2003.** Fertilización de *Eucalyptus globulus* en vivero: Modificaciones morfológicas y fisiológicas inducidas por diferentes niveles de fertilización nitrogenada y potásica y su relación con la tolerancia al estrés hídrico en plantación. Primer Simposio Ibeoroamericano de *Eucalyptus globulus*. Montevideo, Uruguay.

**Merchant, A.; Callister, A.; Arndt, S.; Tausz, M. and Adams, M., 2007.** Contrasting physiological responses to water deficit in six *Eucalyptus* species. *Ann. Bot.* 100: 1507–1515.

**Nilsen, E. and Orcutt, D., 1996.** The physiology of plants under stress. Wiley, Nueva York.

**Ngugi, M. R.; Hunt, A.; Doley, D.; Ryan, P. and Dart, P., 2003.** Dry matter production and allocation in *Eucalyptus cloeziana* and *Eucalyptus argophloia* seedlings in response to soil water déficits. *New For.* 26: 187–200, 2003.

**Osório, J.; Osório, M. L.; Chaves, M. and Pereira, J. S., 1998.** Effects of water deficits on  $^{13}\text{C}$  discrimination and transpiration efficiency of *Eucalyptus globulus* clones. *Aust. J. Plant Physiol.*25: 645–653

**Pereira, J. S. and Chaves, M. M., 1993.** Plant water deficits in Mediterranean ecosystems. *In Water Deficits: Plant Responses from Cell to Community.* J. A. C. Smith y H. Griffiths, Eds. Bios Scientific Publishers, Oxford. Págs. 237-250

**Plante, E.; Garau, A. y Lemcoff, J. H., 2002.** Fertilización diferencial con potasio en vivero. Modificaciones morfológicas y fisiológicas en plantines de eucalipto. XI Reunión Latinoam. Fisiología Vegetal- XXIV Reunión Argentina de Fisiología Vegetal- I Congreso Uruguayo de Fisiología Vegetal.

**Pita, P. and Pardos, J., 2001.** Growth, leaf morphology, water use and tissue water relations of *Eucalyptus globulus* clones in response to water deficit. *Tree Physiol.* 21: 599-607.

**Reis, G.; Reis, M. e Maestri, M., 1988.** Crescimento e relações hídricas de mudas de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus camaldulensis* em tubetes sob tres regimes de irrigação. *Rev. Arbore* 12: 183-195.

**Sasse, J. and Sands, R., 1996.** Comparative responses of cuttings and seedlings of *Eucalyptus globulus* to water stress. *Tree Physiol.* 16: 287-294

**Schulte, P. and Hincley, T., 1985.** A comparison of pressure-volume curve data analysis technique. *Tree Physiol.* 2: 89-103

**Soriano, A., 1991.** Río de la Plata grasslands. Páginas 367-407 en R. Coupland, editor. *Ecosystems of the world. Natural Grasslands. Introduction and Western Hemisphere.* Elsevier. Amsterdam.

**Teixeira, P. C.; Moraes Gonçalves, J. L.; Arthur Junior, J. C. and Dezordi, C., 2008.** *Eucalyptus* sp. seedling response to potassium fertilization and soil water: Matéria seca e relações hídricas em mudas de *Eucalyptus* sp. em função da fertilização potássica e da umidade do solo. *Ciência Flor.*, 18 (1): 47-63

**Tuomela, K., 1997.** Leaf water relations in six provenances of *Eucalyptus microtheca*: A greenhouse experiment. *For. Ecol. Manage.* 92 (1-3): 1-10

**Valladares, F.; Wright, S. J.; Lasso, E.; Kitajima, K. and Pearcy, W., 2000.** Plastic phenotypic response to light of 16 congeneric shrubs from a Panamanian rainforest. *Ecol.* 81:1925–1936

**Valladares, F.; Chico, J. M.; Aranda, I.; Balaguer, L.; Dizengremel, P.; Manrique, E. and Dreyer, E., 2002.** The greater seedling high-light tolerance of *Quercus robur* over *Fagus sylvatica* is linked to a greater physiological plasticity. *Trees* 16: 395-403.

**Valladares, F.; Dobarro, I.; Sanchez-Gomez, D. and Percy, R., 2005.** Photoinhibition and drought in Mediterranean Woody saplings: scaling effects and interactions in sun and shade phenotypes. *Jour. Exper. Bot.*, 56: 483–494

**van den Driessche, R., 1991.** Influence of container nursery regimes on drought resistance of seedlings following planting. I. Survival and growth, *Can. J. For. Res.* 21: 555–565.

**van den Driessche, R., 1992.** Changes in drought resistance and root growth capacity of container seedlings in response to nursery drought, nitrogen and potassium treatments, *Can. J. For. Res.* 22: 740–749.

**von Wernich, M. y Lavado, R., 2001.** El potasio en viveros forestales de eucaliptos. *En Actas del Primer Simposio FAUBA-IPI-Fertilizar INTA.* Págs. 199-205.

**Wang, D.; Bachelard E. and Banks, J., 1988.** Growth and water relations of seedlings of two subspecies of *Eucalyptus globulus*. *Tree Physiol.* 4:129-138.

**White, D.; Beadle, C. and Worledge, D., 1996.** Leaf water relations of *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* and *E. nitens*: seasonal, drought and species effects. *Tree Physiol.* 16: 469-476.

**White, D.; Turner; N. and Galbraith, J., 2000.** Leaf water relations and stomatal behavior of four allopatric *Eucalyptus* species planted in Mediterranean southwestern Australia. *Tree Physiol.* 20:1157-1165

