

EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO Y ESTADO NUTRICIONAL DE HÍBRIDOS INTERESPECÍFICOS DE *Eucalyptus* SOMETIDOS A ESTRÉS POR ANEGAMIENTO Y SALINIDAD

ANA MARÍA LUPI^{1*}; PABLO SANTIAGO PATHAUER²; VICTORIA NETTO³ & EDUARDO PABLO CAPPÀ²

Recibido: 30-03-16

Recibido con revisiones: 26-09-16

Aceptado: 06-10-16

RESUMEN

Se realizó un experimento en condiciones controladas durante 90 días para estudiar la respuesta de dos combinaciones híbridas de *Eucalyptus* (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* y *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus tereticornis*), sometidos al efecto de 3 niveles de agua (A): 1) riego normal; 2) ciclos de 30 días de anegamiento seguido de 15 días de riego normal y 3) napa de agua permanente. A su vez, los tratamientos A2 y A3 se combinaron con 3 niveles de salinidad (CE): < 4 (control), 6 y 12 dS m⁻¹. Quincenalmente se midió la altura y el diámetro del cuello de las plantas y se registró la mortalidad. A los 83 días se determinó materia seca en hojas, ramas y tallos, la concentración de macronutrientes foliares y se caracterizó la fertilidad del suelo de las macetas. El crecimiento de las plantas y la materia seca disminuyó significativamente con el aumento de la salinidad asociada a la inundación y la napa salina alta. La concentración foliar de Na aumentó y descendió la de K en los tratamientos con salinidad (moderada y alta). El efecto sobre el crecimiento y la biomasa fue menos adverso cuando la solución no fue salina. La solución salina agregada al suelo desplazó las bases intercambiables (Ca+Mg) y aumentó el Na y el PSI, pero la CE del suelo no superó los 4 dS m⁻¹. El híbrido *E. grandis* x *E. camaldulensis* mostró mayores crecimientos, concentraciones foliares y biomasa en comparación con *E. grandis* x *E. tereticornis*. La menor tolerancia de este híbrido también se evidenció por la mortalidad más temprana.

Palabras clave. Estrés múltiple, tolerancia a sal, inundación, *Eucalyptus*, condiciones controladas.

EVALUATION OF GROWTH AND NUTRITIONAL STATUS OF INTERSPECIFIC HYBRIDS OF *Eucalyptus* SUBJECTED TO WATERLOGGING AND SALINITY STRESS

ABSTRACT

An experiment was conducted under controlled conditions during 90 days to study the fortnightly response of two *Eucalyptus* hybrids (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* and *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus tereticornis*), subject to the effect of 3 water levels A: 1) normal watering; 2) cycles of 30 days of waterlogging followed by 15 days of normal irrigation; and 3) water table. At the same time, A2 and A3 treatments were combined with salinity levels (EC): <4 (control), 6 and 12 dS m⁻¹. Biweekly total plant height and neck diameter were measured and mortality was recorded. After 90 days, leaf, branch and stem dry matter was determined along with foliar macronutrient concentration and soil fertility characterization in the pots. Plant growth and biomass significantly decreased with increasing salinity associated to flooding and high salty water table. Na foliar concentration increased whereas K decreased in treatments with moderate to high salinity. The effect on growth and biomass was less adverse when the solution was not saline. Saline solution added to the soil displaced exchangeable bases (Ca + Mg) and increased Na and PSI, but soil EC did not exceed 4 dS m⁻¹. The hybrid *E. grandis* x *E. camaldulensis* showed higher growth, foliar concentration and biomass compared with *E. grandis* x *E. tereticornis*. This lower tolerance was also evidenced by earlier mortality.

Key words. Multiple stress, salt tolerance, waterlogging, *Eucalyptus*, controlled conditions.

1. Instituto de suelos (IS), CIRN, INTA Castelar, Los Reseros y Las Cabañas (1686), Hurlingham, Buenos Aires, Argentina.

2. Instituto de Recursos Biológicos (IRB), CIRN, INTA Castelar.

3. Estudiante FAUBA.

* Autor de contacto: lupi.ana@inta.gob.ar

INTRODUCCIÓN

Argentina es el tercer país con mayor superficie de suelos salinos y alcalinos del mundo, encontrándose distribuidos en la planicie Chaco- Pampeana (Taboada, 2009). Las estimaciones realizadas a partir del mapa de suelos escala 1:500.000, indican que en las provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba, Entre Ríos, La Pampa y San Luis existen aproximadamente unos 11,6 millones de hectáreas afectadas por algún grado de alcalinidad (con exceso de sales y/o sodio), muchas veces con exceso de agua (Moscatelli *et al.*, 2000). Estas tierras marginales para la agricultura, tienen un potencial uso para la producción forestal. Sin embargo, el establecimiento de cultivos forestales en estos ambientes con presencia de múltiples limitantes en forma combinada o secuencial, requiere conocer cuáles son las especies tolerantes que pudieran sostener crecimientos económicamente rentables y sean ambientalmente sostenibles.

De la gran cantidad de especies que pertenecen al género *Eucalyptus* existen algunas que se adaptan a ambientes adversos. El *E. tereticornis* y el *E. camaldulensis*, exhiben buena tolerancia a condiciones de estrés por salinidad, bajas temperaturas, sequía e inundación prolongada (Donaldson *et al.*, 1983; Farrell *et al.*, 1996; NiKnam & McComb 1999; Nasim *et al.*, 2007ab; El-Juhany *et al.*, 2008; Johnson *et al.*, 2009). Como la tolerancia a la salinidad u otras limitantes puede ser incompatible con otras características deseables para los bosques cultivados (alta tasa de crecimiento, calidad de madera), suele recurrirse al desarrollo de material híbrido que permite obtener nuevos genotipos con las características deseables de las especies en cruzamiento.

En la Argentina y dentro del género *Eucalyptus*, el *E. grandis* es la especie de mayor valor comercial, mayor superficie implantada (Subsecretaría de Desarrollo Foresto-Industrial del Ministerio de Agroindustria, 2016) y mayor adaptabilidad a las condiciones ecológicas de la región mesopotámica (Marcó, 2016). *E. camaldulensis* y *E. tereticornis* también se cultivan en la Argentina y son especies más rústicas (Pardos, 2007), poseen menor crecimiento que *E. grandis* pero muestran una amplia adaptabilidad a una gama importante de sitios, mayor distribución geográfica, con buena tolerancia a frío y un tipo de madera muy apto para diversos usos (Marcó, 2016). Estas características condujeron al inicio de un programa de cruzamientos controlados para desarrollar híbridos interespecíficos (Marcó, 2016). El potencial de uso de los nuevos

híbridos podría extenderse a una gran superficie de suelos disponibles a nivel nacional con moderadas restricciones; aspecto que fue escasamente evaluado.

La salinidad es uno de los factores limitantes del crecimiento y la productividad de los cultivos (Gupta & Huang, 2014). Altas concentraciones de sales en el suelo alteran la capacidad de las raíces para extraer el agua y altas concentraciones de sales dentro de la planta puede ser tóxico, resultando en una inhibición de muchos procesos fisiológicos y bioquímicos, tales como la absorción y asimilación de nutrientes (Munns & Termat, 1986; Munns, 2002, Bosco de Oliveira *et al.*, 2013). En algunos suelos la salinidad va acompañada por condiciones de anegamiento. Esto sucede, por ejemplo, en diferentes subregiones de la provincia de Buenos Aires en una superficie importante de tierras con aptitud ganadero-agrícolas o ganaderas, localizadas adyacentes a vías de escurrimiento o sectores cóncavos encharcables (Sfeir, 2015). El anegamiento también induce a múltiples disfunciones fisiológicas en las plantas. Se inhibe la fotosíntesis y el transporte de los carbohidratos, se reduce la absorción de macronutrientes por la mortalidad de la raíz, la supresión del metabolismo de la raíz, se alteran los equilibrios hormonales en las plantas, generando reducciones en la tasa de crecimiento (Kozlowsky, 1997).

El efecto combinado de estrés por salinidad y anegamiento afecta el crecimiento y la sobrevivencia de las plantas en mayor medida que cada uno de ellos en forma individual y la magnitud de afectación varían de acuerdo al genotipo, especie, edad y el grado de la limitante (Läuchli & Epstein, 1990; Kozlowsky, 1997; Läuchli & Grattan, 2007). En este sentido, los estudios en condiciones controladas pueden resultar un mecanismo primario y efectivo para indagar sobre el comportamiento o patrón de respuesta de los nuevos materiales genéticos sometidos a estrés múltiple.

Dado que las características de los progenitores (*E. camaldulensis* y *E. tereticornis*) determinan diferencias en el comportamiento de los híbridos cuando son sometidos a estrés múltiple, se plantea como hipótesis que los híbridos *E. grandis* x *E. camaldulensis* serán más tolerantes que *E. grandis* x *E. tereticornis* por lo que presentarán mayores crecimientos y mejor estado nutricional a nivel foliar. El objetivo de este trabajo fue evaluar el crecimiento, la biomasa acumulada y los niveles nutricionales de los híbridos interespecíficos de *E. grandis* x *E. tereticornis* y *E. grandis* x *E. camaldulensis* sometidos a niveles de anegamiento y salinidad, en condiciones controladas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los híbridos fueron producidos en tubetes de 125 cm³ a partir de estacas obtenidas del banco clonal de INTA Castelar. A los 3 meses de edad las estacas fueron trasplantadas a macetas de 3 litros, perforadas en su base, que se llenaron con el suelo mezclado y homogenizado, obtenido a una profundidad de 0-20 cm del predio de INTA Castelar. A partir de fracciones de muestras de suelo tomadas de cada maceta se conformó una muestra compuesta que se secó al aire y se envió al laboratorio para su caracterización. El suelo de textura franco-limoso (Bouyoucos, 1962) presentó una concentración de carbono orgánico (CO) de 1,8% (Walkley-Black), el pH_{1:2,5 suelo/agua}: 6,23 (Potenciométrico), la concentración de fósforo disponible (P) fue de 43 ppm (Bray-Kurtz N° 1). En cuanto a las bases intercambiables, las concentración de calcio (Ca) intercambiable fue de 12,31 cmol_c kg⁻¹; el magnesio (Mg) intercambiable fue de 1,89 cmol_c kg⁻¹; el sodio (Na) intercambiable fue de 0,45 cmol_c kg⁻¹, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) fue de 19,8 cmol_c kg⁻¹. Tanto las bases intercambiables como la CIC se determinaron por el método de Acetato de amonio a pH 7.

Cada maceta con su correspondiente planta se dispuso dentro de un recipiente de 4 litros sin perforación, para generar los tratamientos de inundación o napa. Similar procedimiento se siguió en el tratamiento con riego normal o testigo, para uniformar condiciones ambientales. Las plantas se mantuvieron en esta condición por 30 días para asegurar su establecimiento. Transcurrido este período se dio inicio al experimento que se desarrolló por 83 días (entre el 7/11/2014 y el 30/1/2015) en un invernáculo cubierto con polietileno cristal de 150 micrones de espesor.

Tratamientos y diseño experimental

El experimento se desarrolló bajo un diseño en bloques completos al azar, con 5 repeticiones, donde se evaluaron 2 combinaciones híbridas (CH), con 3 niveles de agua (A) y 3 niveles de salinidad (CE), según se detalla a continuación en la Tabla 1.

Cada unidad experimental se conformó de 5 individuos (5 clones en cada combinación híbrida), los que se replicaron 5 veces. El empleo de 5 clones de cada híbrido brinda mayor robustez al análisis planteado a nivel de CH. En total al inicio del experimento se contó con 700 plantas.

La solución salina se preparó con sal comercial de mesa (NaCl) y se ajustaron en laboratorio los niveles de conductividad eléctrica deseados. Como testigo se tomó agua que se emplea en el riego habitual del invernáculo cuya CE es de 0,8 dS m⁻¹, nivel que no afecta la productividad de la mayoría de las especies vegetales (SCSA, 2008).

El día de inicio del experimento se realizó la primera medición para la caracterización morfológica de los plantines, en la cual se relevó el diámetro a nivel del cuello de las plantas (DAC) y altura total (Ht). El DAC se midió con calibre digital metálico de 0,01 mm de resolución, un error de indicación de ± 0,02 mm y un rango de medición de 0 a 150 mm. La altura se midió con regla graduada al mm con un nivel de precisión de lectura de 5 mm. Las mediciones se reiteraron cada 15 días y se realizó una apreciación visual del estado general de las plantas, cambios de coloración y relevamiento de mortandad de individuos. Se calculó el crecimiento absoluto (CA) según la siguiente ecuación.

Tabla 1. Tratamientos en evaluación.

Table 1. Treatments in evaluation.

Combinación híbrida (CH)	Nivel de agua (A)	Salinidad del agua (CE en dS/m)	Símbolo
<i>E. grandis</i> x <i>E. tereticornis</i> (GT)	Riego normal	0,8	T
	Maceta con agua hasta 1/3 de su altura	0,8	N
		6	N ₆
		12	N ₁₂
	30 días anegamiento, drenado y 15 días con riego.	0,8	I
		6	I ₆
12		I ₁₂	
<i>E. grandis</i> x <i>E. camaldulensis</i> (GC)	Riego normal	0,8	T
	Maceta con agua hasta 1/3 de su altura	0,8	N
		6	N ₆
		12	N ₁₂
	30 días anegamiento, drenado y 15 días con riego.	0,8	I
		6	I ₆
12		I ₁₂	

$$\text{Fórmula: } CA = C_f - c_i$$

dónde: C_f : Crecimiento al final de un período de medición, C_i : Crecimiento al inicio de un período de medición.

A los 30 días de iniciar el experimento, los tratamientos de inundación I, I_6 e I_{12} fueron drenados para pasar a un período de 15 días de riego normal. En este momento se colectó en vasos una porción del lixiviado de cada maceta (3 tratamientos x 5 individuos x 5 repeticiones x 2 CH). En total se obtuvieron 150 muestras que fueron refrigeradas y luego se determinó CE y pH.

Al final del experimento, las plantas vivas se separaron en los componentes hojas, ramas y tallo y se secaron en estufa a 60-65 °C hasta alcanzar peso constante. Se registró la materia seca (MS) de los componentes de cada individuo y se calculó por suma la materia seca aérea. De cada unidad experimental, formada por cada tratamiento de estrés y combinación híbrida, se preparó una muestra compuesta de hojas tomadas en forma proporcional de cada clon. Se determinó la concentración de N (destilación), P (espectrofotometría); K, Na, Ca, Mg (adsorción atómica). Se calculó la relación Na/K foliar como índice de tolerancia. La cantidad de nutrientes en hoja se calculó como producto de la concentración foliar del elemento por la materia seca del componente hoja.

Al final del experimento se realizó un análisis del suelo de las macetas. Para esto se formó una muestra compuesta de cada unidad experimental, integrando de cada tratamiento los materiales genéticos (7 tratamientos x 5 repeticiones). Se determinó la concentración de CO, nitrógeno total (Nt) mediante Kjeldahl, fósforo disponible, $\text{pH}_{1:2,5 \text{ agua}}$, conductividad eléctrica (CE) en pasta, bases intercambiables y CIC. Se calculó el porcentaje de sodio intercambiable (PSI).

Para el análisis del efecto de los tratamientos se trabajó con las siguientes variables: 1. pH y CE del lixiviado de los tratamientos inundados (I , I_6 , I_{12}). 2. Mortalidad, 3. Crecimiento en DAC

y H_t (expresado en términos nominales), 4. Variables determinadas en el suelo de las macetas, 5. Concentración y cantidad de N, P, K, Ca, Mg, Na. 6. Materia seca en hojas, en tallos, en ramas y materia seca aérea. En primera instancia se verificó la normalidad de los datos y se realizó un análisis de varianza (ANVA). Se constató la no significancia de la interacción entre los efectos principales permitiendo el análisis de los factores por separado. Cuando el ANVA indicó diferencias significativas se compararon las medias utilizando el test de Tukey a un nivel de significancia del 5%. Se realizaron correlaciones entre variables del suelo y entre estas y la concentración de los distintos nutrientes determinados en hojas.

RESULTADOS

La conductividad eléctrica (CE) del lixiviado medida a los 30 días del experimento fue significativamente afectada ($P < 0,05$) por el nivel de salinidad del agua de riego, aumentando desde el lixiviado con agua de red en I hasta el tratamiento con agua de salinidad alta (I_{12}). Los valores fueron $I: 1,8 (\pm 0,77) \text{ dSm}^{-1} < I_6: 6,4 (\pm 1,13) \text{ dSm}^{-1} < I_{12}: 10,01 (\pm 1,02) \text{ dSm}^{-1}$. El pH del lixiviado en I fue de 8,33; significativamente mayor ($P < 0,05$) al de los lixiviados salinos ($I_6: 8,2 = I_{12}: 8,16$); quienes no presentaron diferencias entre ellos. La CE del lixiviado de las macetas que tenían el híbrido GT ($5,95 \pm 1,16 \text{ dSm}^{-1}$), fue significativamente menor ($P < 0,05$), al lixiviado de GC ($6,55 \pm 1,42 \text{ dSm}^{-1}$). Por su lado, el pH del lixiviado de las macetas con GC (8,2) fue significativamente menor ($P < 0,05$) al tratamiento GT (8,4).

En la Tabla 2 se muestra la evolución de la mortalidad de individuos por fecha de observación, considerando los días desde el inicio del experimento (DDIE). La manifestación de clorosis en hojas, necrosis en sus bordes extremos

Tabla 2. Evolución de la cantidad de individuos muertos según tratamiento.

Table 2. Evolution of the number of dead individuals according to the treatments.

DDIE	0	28	42	53	63	70	74	77	81
Tratamientos					GT N_6		GT I_{12}		GT I_{12}
				GT I_6				GT N_{12}	
		GT I_{12}	GT I_{12}		GC I_{12}	GT I_{12}	GT N_{12}		GC I_{12}
				GT N_{12}				GT I_{12}	
					GC N_{12}		GC I_6		GT I_6
IM _{ac}	0	2	4	9	15	17	23	25	30
% Mort GT	0	1	2,3	5,1	5,7	6,3	6,8	8	9,1
% Mort GC	0	0	0	0	2,8	2,8	5,7	5,7	7,4

Ref.: DDIE: días desde el inicio del experimento. IM_{ac}: individuos muertos expresado en forma acumulada.

y síntomas de estrés hídrico se visualizó a partir de los 18 DDIE. A los 28 DDIE comenzaron a registrarse las primeras muertes de individuos en la combinación híbrida GT del tratamiento I_{12} . A los 42 y 53 días sumaron individuos GT que correspondieron a I_{12} , I_6 y N_{12} . A los 63 días inicia la mortalidad de GC para los tratamientos de salinidad alta. Al final del experimento se contaron 30 plantas muertas de las cuales un 9% corresponde a GT y un 7,4% a GC.

En la Tabla 3 se muestra el crecimiento absoluto (CA) en Ht (cm), para los diferentes tratamientos de estrés y para los híbridos evaluados, hasta los 83 días. La Ht comenzó a ser afectada en forma significativa a partir de los 15 DDIE en I_{12} , N_{12} e I_6 . Los menores valores se presentaron en todo momento en I_{12} y en I_6 sin diferencias significativas ($P > 0,05$) entre ellos. El tratamiento I tampoco se diferenció de I_6 , pero sí lo hizo de I_{12} . Al comparar solamente los tratamientos con agua de riego no salina se observa que el CA de las plantas en N fue significativamente mayor ($P < 0,05$) a I. N y N_6 fueron similares hasta los 60 días a partir del cual comienza a decrecer el CA de las plantas sometidas a la napa salina intermedia. Los mayores CA en altura se presentaron en los tratamientos testigo y napa (N), las que fueron similares entre sí a lo largo del ciclo. En cuanto a los mate-

riales genéticos, el híbrido GC tuvo un mayor CA en altura en relación a GT en todo el ciclo en estudio.

El DAC también fue por los tratamientos de estrés. Los tratamientos comienzan a afectar el crecimiento a partir de los 30 días y se acentúan con el transcurso del tiempo. Los menores crecimientos ($P < 0,05$) se presentaron en N_{12} e I_{12} y los mayores en T, Napa (N) e inundación (I) (Fig. 1). En concordancia con lo observado para la Ht, los CA siempre fueron superiores en GC en comparación con GT (Fig. 2).

Al finalizar el experimento, la materia seca total aérea y la materia seca de cada componente fue significativamente ($P < 0,05$) afectada por los tratamientos de salinidad y anegamiento (Tabla 4). Las plantas del tratamiento I_{12} , I_6 y N_{12} presentaron las menores cantidades de MS total aérea. La MS en tallos fue afectada significativamente ($P < 0,05$) por I_{12} y en menor medida por I_6 , N_{12} y N_6 . La MS en ramas también fue afectada ($P < 0,05$) por I_{12} , siendo la MS en I_6 , N_{12} , N_6 e I una situación intermedia. Particularmente en el componente hojas, I_{12} acumuló menos MS, luego N_{12} e I_6 . En el caso de los tratamientos con napa salina, el N_{12} no se diferenció significativamente de I_6 independientemente del componente considerado. El tratamiento con napa de salinidad intermedia fue similar ($P > 0,05$) a la napa e inundación con agua no salina.

Tabla 3. Crecimiento absoluto en altura (cm) para los diferentes tratamientos de estrés y para los materiales genéticos.

Table 3. Absolute growth in height (cm) for the different stress treatments and genetic materials.

	0-15 días	0-30 días	0-45 días (LI)	0-60 días	0-75 días	0-83 días (LI)
Efecto de los tratamientos de estrés						
I_{12}	9,75 a	14,55 a	19,14 a	23,88 a	25,27 a	28,23 a
I_6	10,04 a	14,93 a	21,99 ab	28,44 ab	32,96 ab	34,99 ab
I	10,27 a	17,35 a	26,33 bc	36,43 bc	45,08 bc	50,65 bc
N_{12}	12,78 ab	24,13 b	32,42 c	36,17 c	39,58 cd	42,73 cd
N_6	13,95 bc	26,85 bc	38,93 d	44,96 d	49,56 d	54 d
N	14,69 bc	28,08 bc	40,43 de	49,53 de	59,95 e	67,13 e
T	16,35 c	31,47 c	45,87 e	54,03 e	62,08 e	66,46 e
Comportamiento del material genético						
GT	11,6 a	20,69 ^a	29,67a	36,1a	41,4 ^a	45,5 a
GC	13,49b	24,27b	34,65b	42,02b	48,45b	52,84 b

Ref: Para cada columna, letras diferentes indican diferencias significativas a $p < 0,05$. LI: periodo libre de inundación en los tratamientos I, I6 e I12. T: Riego normal con agua de vivero. N: Maceta con agua de vivero 1/3 de su altura. N_6 : Maceta con agua salina de CE de 6 dS m^{-1} , hasta 1/3 de su altura; N_{12} : Maceta con agua salina de CE de 12 dS m^{-1} , hasta 1/3 de su altura. I: 30 días anegamiento con agua de red, drenado y 15 días riego normal con agua de vivero. I_6 : 30 días anegamiento con agua salina de 6 dS m^{-1} , drenado y 15 días riego normal con agua de vivero. I_{12} : 30 días anegamiento con agua salina de 12 dS m^{-1} , drenado y 15 días riego normal con agua de vivero. GC: *E. grandis* x *E. camaldulensis*. GT: *E. grandis* x *E. tereticornis*.

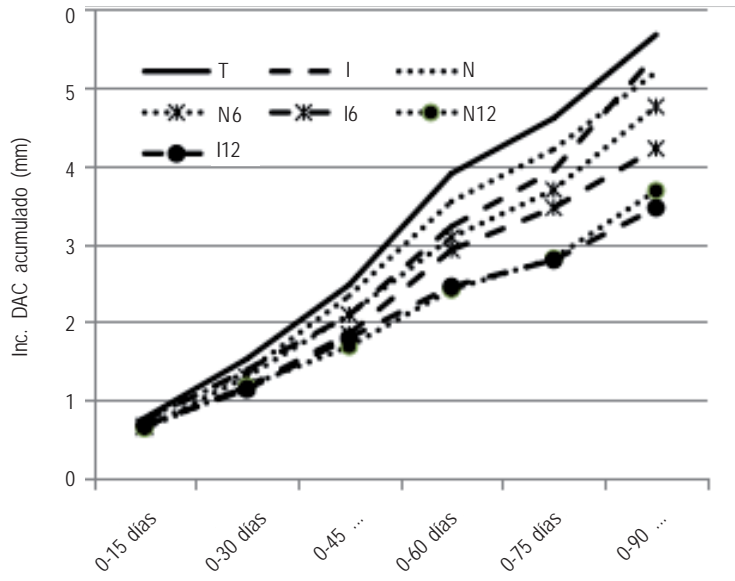


Figura 1.
Efecto de los diferentes tratamientos de estrés múltiple sobre el crecimiento en diámetro a la altura del cuello.

Figure 1.
Effect of different treatments of multiple stress on the diameter growth in root collar height.

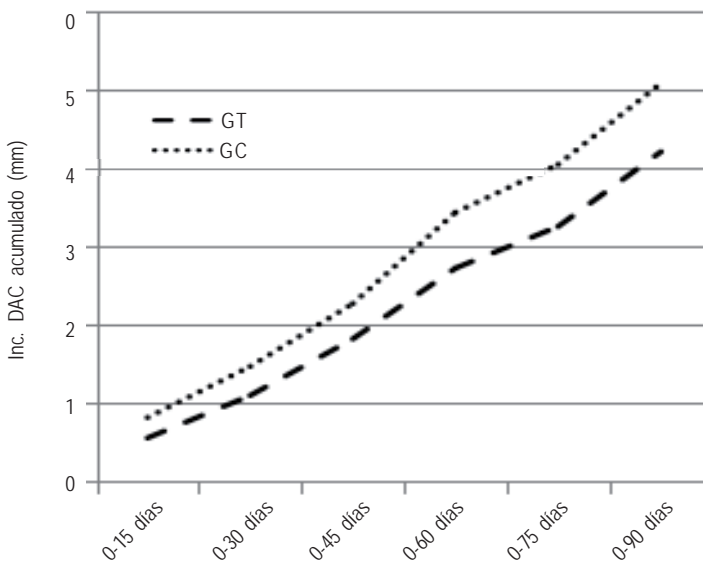


Figura 2.
Efecto de los diferentes materiales genéticos sometidos a estrés múltiple sobre el crecimiento en diámetro a la altura del cuello.

Figure 2.
Effect of different treatments of stress on the diameter growth in root collar height.

Ref.: T: Riego normal con agua del vivero. N: Maceta con agua del vivero hasta 1/3 de su altura. N₆: Maceta con agua salina de CE de 6 dS m⁻¹, hasta 1/3 de su altura; N₁₂: Maceta con agua salina de CE de 12 dS m⁻¹, hasta 1/3 de su altura. I: 30 días anegamiento con agua del vivero, drenado y 15 días riego normal con agua del vivero. I₆: 30 días anegamiento con agua salina de 6 dS m⁻¹, drenado y 15 días riego normal con agua del vivero. I₁₂: 30 días anegamiento con agua salina de 12 dS m⁻¹, drenado y 15 días riego normal con agua del vivero. GC: *E. grandis* x *E. camaldulensis*. GT: *E. grandis* x *E. tereticornis*.

Los tratamientos T, N e I no mostraron diferencias significativas en la cantidad de MS acumulada en todos los componente (Tabla 4) y presentaron valores superiores ($P < 0,05$) a los tratamientos salinos N₁₂, I₆ e I₁₂. Esta diferencia se observa con mayor claridad en el componente hojasy en biomasa total aérea. En relación a los materiales genéticos el híbrido GC acumuló más biomasa que GT (Tabla 4).

Al final del experimento, el suelo de las macetas presentó similares condiciones en relación a la CIC y a las concentraciones de CO, N total, P disponible, Mg y de K intercambiable. Las mayores concentraciones de Na y los más altos PSI se encontraron en los tratamientos de salinidad moderada y alta, sin diferencias entre ellos, independientemente sea napa o inundación. Los tratamientos con mayor crecimiento y biomasa (T, N e I), presentaron

la mayor concentración de Ca+Mg, el valor más alto de la suma de bases (Ca+Mg+K+Na) y el porcentaje de saturación de bases (Tabla 5).

Las concentraciones de nutrientes foliares no fueron significativamente afectadas ($P > 0,05$) por los tratamien-

tos y solo se halló diferencias ($P < 0,05$) en la concentración de Mg según los materiales genéticos, siendo mayor en GC.

En la Tabla 6 se brindan las cantidades de nutrientes foliares de cada tratamiento y cada combinación híbrida,

Tabla 4. Materia seca aérea total, en ramas, tallos y hojas (g pl⁻¹) para dos combinaciones híbridas sometidas a diferentes tratamientos de estrés múltiple.

Table 4. Total aerial dry matter, in branches, stems and leaves (gr pl⁻¹) for two hybrid combinations subjected to different multiple stress treatments.

	Total	Ramas	Tallo	Hojas
	Tratamientos de estrés			
T	19,7 (1,15) b	3,08 (0,31) c	7,72 (0,53) b	8,90 (0,51) c
N	20,42 (1,68) b	3,14 (0,35) c	7,55 (0,73) b	9,73 (0,84) c
N ₆	18,04 (1,33) b	2,41 (0,26) bc	6,01 (0,47) ab	9,66 (0,66) c
N ₁₂	11,1 (0,81) a	1,69 (0,2) ab	3,48 (0,29) ab	5,93 (0,39) b
I	18,68 (2,42) b	2,12 (0,3) bc	7,64 (1,95) b	8,61 (0,87) c
I ₆	11,79 (1,77) a	1,36 (0,16) ab	4,94 (1,72) ab	5,49 (0,38) b
I ₁₂	6,13 (0,5) a	1,03 (0,14) a	2,13 (0,21) a	3,04 (0,25) a
CH				
GT	12,86 (0,86) b	1,64 (0,13) b	4,67 (0,55) b	6,56 (0,37) b
GC	17,38 (0,87) a	2,59 (0,16) a	6,61 (0,61) a	8,11 (0,35) a

Ref.: El valor entre paréntesis es el error estándar de la muestra. Para cada componente, letras diferentes indican diferencias significativas a un nivel significancia del 0,05. T: Riego normal con agua del vivero. N: Maceta con agua del vivero hasta 1/3 de su altura. N₆: Maceta con agua salina de CE de 6 dS m⁻¹, hasta 1/3 de su altura; N₁₂: Maceta con agua salina de CE de 12 dS m⁻¹, hasta 1/3 de su altura. I: 30 días anegamiento con agua del vivero, drenado y 15 días riego normal con agua del vivero. I₆: 30 días anegamiento con agua salina de 6 dS m⁻¹, drenado y 15 días riego normal con agua del vivero. I₁₂: 30 días anegamiento con agua salina de 12 dS m⁻¹, drenado y 15 días riego normal con agua del vivero. GC: *E. grandis* x *E. camaldulensis*. GT: *E. grandis* x *E. tereticornis*.

Tabla 5. Nivel de fertilidad del suelo en diferentes tratamientos de estrés múltiple al final del experimento.

Table 5. Soil fertility level in different treatments of multiple stress at the end of the experiment.

	pH	CE	PSB	PSI	SB	Ca+Mg	Na	Ca
		(dS m ⁻¹)	(%)	(%)		(Cmol kg ⁻¹)		
T	7,61 (0,27) bc	0,48 (0,27) a	90,78 (1,24) cd	1,99 (0,18) a	20,54 (0,93) abc	18,79 (0,95) bc	0,44 (0,06) a	17,1 (1,92) abc
N	7,68 (0,20) bc	0,68 (0,32) ab	88,49 (1,76) bcd	2,2 (0,14) ab	21,22 (1,1) bc	19,4 (1,13) bc	0,52 (0,05) ab	17,72 (2,41) bc
I	7,94 (0,16) c	0,20 (0,00) a	92,29 (0,79) d	2,16 (0,17) a	23,67 (0,79) c	21,82 (0,75) c	0,56 (0,14) abc	20,08 (1,65) c
N ₆	7,31 (0,19) ab	3,16 (1,89) abcd	85,4 (1,52) abc	3,52 (0,26) bc	18,9 (0,83) ab	16,66 (0,71) ab	0,78 (0,19) acd	15,14 (1,58) ab
N ₁₂	7,14 (0,11) a	3,88 (1,27) d	85,19 (1,83) abc	3,93 (0,42) c	18,68 (0,82) ab	16,5 (0,81) ab	0,86 (0,17) d	14,97 (1,82) ab
I ₆	7,21 (0,14) a	1,97 (0,52) abc	81,87 (0,61) a	3,21 (0,24) c	17,16 (0,58) a	15,26 (0,59) a	0,67 (0,08) abcd	13,75 (1,25) a
I ₁₂	7,37 (0,15) ab	2,48 (1,08) abcd	83,03 (1,45) ab	3,24 (0,16) c	19,05 (0,29) ab	16,82 (0,23) ab	0,74 (0,05) bcd	15,27 (0,49) ab

Ref.: pH en agua; CE: conductividad eléctrica (dS m⁻¹); PSB: Porcentaje de saturación de bases; SB: suma de bases; PSI: Porcentaje de sodio intercambiable. El valor entre paréntesis es el error estándar de la muestra. Para cada variable, letras diferentes indican diferencias significativas a un nivel significancia del 0,05. T: Riego normal con agua del vivero. N: Maceta con agua del vivero hasta 1/3 de su altura. N₆: Maceta con agua salina de CE de 6 dS m⁻¹, hasta 1/3 de su altura; N₁₂: Maceta con agua salina de CE de 12 dS m⁻¹, hasta 1/3 de su altura. I: 30 días anegamiento con agua del vivero, drenado y 15 días riego normal con agua del vivero. I₆: 30 días anegamiento con agua salina de 6 dS m⁻¹, drenado y 15 días riego normal con agua del vivero. I₁₂: 30 días anegamiento con agua salina de 12 dS m⁻¹, drenado y 15 días riego normal con agua del vivero. GC: *E. grandis* x *E. camaldulensis*. GT: *E. grandis* x *E. tereticornis*.

al final del experimento. Las cantidades de nutrientes fueron afectadas significativamente ($P < 0,05$) por los tratamientos. Independientemente del nutriente considerado, el I₁₂ acumuló la menor cantidad. Dentro de los tratamientos napa también se aprecia una disminución ($P < 0,05$) en la cantidad de Ca, Mg y K con la salinidad alta. La napa de salinidad intermedia se comportó como la napa no salina. Las cantidades de nutrientes fueron similares en T, N e I. La cantidad de Ca, Mg y P fue mayor en N₆ respecto de I₆. El K descendió significativamente ($P < 0,05$) con el aumento de la salinidad en los tratamientos inundados. En cuanto a las CH, solo se hallaron diferencias ($P < 0,05$) en la cantidad de Mg, K, Na y P siendo mayor e GC.

La relación Na/K no fue modificada por los tratamientos ($P > 0,05$) y varió desde 0,18 en N hasta 0,32 en N₆. Tam-

poco se hallaron diferencias entre los híbridos ($P > 0,05$), alcanzando un valor de 0,25 para GC y 0,26 para GT.

DISCUSIÓN

El pH del lixiviado cambió significativamente con los tratamientos; sin embargo entendemos que en términos nominales no serían determinantes desde el punto de vista biológico. A diferencia del I6, la CE del lixiviado del I12 fue algo inferior a la CE de la solución de riego, posiblemente debido a que iones de Na ocuparon sitios de intercambio en el suelo. Del mismo modo se considera poco relevante las diferencias estadísticas halladas a nivel de CH en cuanto al pH.

La sobrevivencia es un indicador importante para la selección de materiales tolerantes a suelos salinos (Marcar

Tabla 6. Cantidad de nutrientes foliares por tratamiento y por híbrido intra-específico al final del experimento.
Table 6. Foliar nutrients by treatment and intra-specific hybrid at the end of the experiment.

	N	Ca	Mg	K	Na	P
	g pl ⁻¹					
	Efecto de los tratamientos de estrés					
T (n = 10)	0,1247 (0,017) ab	0,0795 (0,0059) cd	0,01462 (0,0014) c	0,078 (0,0097) bc	0,0163 (0,0023) ab	0,0505 (0,0064) bc
N (n = 10)	0,1516 (0,031) b	0,0872 (0,0092) d	0,01511 (0,0018) c	0,0936 (0,0012) c	0,0205 (0,0039) b	0,0474 (0,0044) bc
N ₆ (n = 10)	0,1343 (0,027) b	0,0883 (0,010) d	0,01436 (0,00087) c	0,0754 (0,0056) bc	0,0199 (0,0030) b	0,0581 (0,0076) c
N12 (n = 10)	0,0727 (0,0111) ab	0,0517 (0,0026) abc	0,00827 (0,00089) ab	0,0511 (0,0056) ab	0,014 (0,002) ab	0,0329 (0,0038) ab
I (n = 10)	0,1365 (0,0270) b	0,0758 (0,0062) bcd	0,01337 (0,00170) bc	0,0869 (0,0123) c	0,0206 (0,0038) b	0,0453 (0,0059) bc
I6 (n = 10)	0,079 (0,012) ab	0,0507 (0,0045) ab	0,00829 (0,00073) ab	0,0503 (0,0053) ab	0,0131 (0,0015) ab	0,0314 (0,0027) Ab
I12 (n = 10)	0,0401 (0,0087) a	0,027 (0,0026) a	0,00459 (0,00055) a	0,026 (0,0030) a	0,0064 (0,00086) a	0,0184 (0,0018) a
	Comportamiento de los materiales genéticos					
GT (n = 35)	0,0968(0,13) a	0,0612(0,0051) a	0,0103 (0,00098) b	0,0601 (0,0058) a	0,01(0,0014) a	0,034972 (0,00267) a
GC (n = 35)	0,1143 (0,012) a	0,0703 (0,0047) a	0,0122 (0,00082) b	0,0717 (0,0056) b	0,02(0,0017) b	0,04616 (0,0037) b

Ref.: Para cada elemento, letras diferentes indican diferencias significativas a un nivel de significancia del 0,05. T: Riego normal con agua del vivero. N: Maceta con agua del vivero hasta 1/3 de su altura. N₆: Maceta con agua salina de CE de 6 dS m⁻¹, hasta 1/3 de su altura; N₁₂: Maceta con agua salina de CE de 12 dS m⁻¹, hasta 1/3 de su altura. I: 30 días anegamiento con agua del vivero, drenado y 15 días riego normal con agua del vivero. I₆: 30 días anegamiento con agua salina de 6 dS m⁻¹, drenado y 15 días riego normal con agua del vivero. I₁₂: 30 días anegamiento con agua salina de 12 dS m⁻¹, drenado y 15 días riego normal con agua del vivero. GC: *E. grandis* x *E. camaldulensis*. GT: *E. grandis* x *E. terebinthifolia*.

et al., 2003). Los tratamientos T, N e I no registraron mortalidad de individuos en ninguna de las CH, sugiriendo que frente a condiciones de inundación no salina ambas especies son tolerantes a períodos superiores a los evaluados en este experimento. La mortalidad aumentó en el orden $N_{12} < I_6 < I_{12}$. La sobrevivencia fue del 91% para GT y 92,5% GC. Estos valores en principio no marcarían diferencias importantes, sin embargo, los materiales GT inician la mortalidad a los 30 días de iniciar el experimento, mientras que en GC los hacen a los 60 días. Los individuos GC presentarían mecanismos más eficientes para sostener su sobrevivencia por un mayor período ya que en condiciones de alta salinidad e inundación pudieron continuar creciendo. Este comportamiento de verificarse en condiciones de campo representaría un signo importante de tolerancia a condiciones de estrés múltiple en períodos de estrés relativamente cortos. La mayor tolerancia a la salinidad en condiciones de campo de *E. camaldulensis* donde la salinidad en suelos de 8-31 dS m⁻¹ también fue reportada por Dan & Dickinson (1995) y Akhtar *et al.* (2008).

El efecto de la salinidad se manifestó en forma progresiva. Las variables morfológicas relevadas DAC y Ht y la materia seca fueron sensibles a diferentes tratamientos de estrés (Qureshi *et al.*, 2000; Arshi *et al.*, 2002; Isla *et al.*; 2004). El crecimiento en altura fue afectado en mayor medida por el anegamiento mientras que el DAC fue más afectado por la salinidad.

Los crecimientos absolutos y la materia seca de los híbridos fueron afectados en mayor medida por la combinación alta salinidad e inundación en relación al efecto único de la inundación (Isla *et al.*, 2004). El efecto depresor de la napa fue menor a la inundación. La combinación de la napa con salinidad alta afecta negativamente en comparación a la napa no salina o de salinidad media. El efecto negativo de N_{12} fue similar a I_{12} en los componentes de la MS aérea, tallos y ramas. Por el contrario, la MS en hojas fue menos afectada que en I_{12} .

El anegamiento como único factor de estrés afecta adversamente el crecimiento de tallos y la longitud de entrenudos, suprime la formación y la expansión de hojas y genera una prematura senescencia foliar (Kozlowsky, 1997). Los tratamientos N e I presentaron un patrón similar con el aumento de la salinidad aunque la magnitud de la afectación fue menor en N. El tratamiento I afectó el crecimiento a partir de los 15 DDIE y a partir de los 45 días se suma el efecto de la salinidad cuando en I_{12} disminuye su CA en relación a I. Las plantas de menores dimen-

siones, en todo momento se encontraron en I_{12} y en I_6 sin diferencias significativas entre ellos. Los CA de N y T fueron similares en todo el ciclo del estudio y superiores a los demás tratamientos. En el tratamiento N, la presencia de un reducido volumen de suelo libre de agua permitió sostener crecimientos similares a T. Los tratamientos N, N_6 y N_{12} , no fueron significativamente diferentes durante los primeros 30 DDIE, pero la salinidad alta afectó el CA en Ht a partir de los 45 DDIE y la salinidad media a partir de los 75 DDIE. Al final del estudio los CA en Ht de N_{12} y N_6 fue 1,5 veces y 1,2 menor a N, respectivamente. La napa de salinidad intermedia afectó el CA de Ht en comparación a la napa no salina. Los tratamientos con menor crecimiento en DAC fueron I_{12} y N_{12} . Esta diferencia comenzó a observarse desde los 30 DDIE. Los tratamientos N_6 e I_6 arrojaron valores intermedios y no se diferenciaron entre ellos. Los tratamientos T, N e I, con los mayores crecimientos, se diferenciaron del resto. En cuanto a los materiales genéticos, el híbrido GC tuvo un mayor CA en Ht y en DAC, en relación a GT en todo el ciclo en estudio.

La similitud en la MS acumulada en los tratamientos T, N, I e N_6 , refleja la tolerancia de los híbridos a niveles de CE de 6 dS m⁻¹. I_{12} fue el tratamiento con mayor afectación sobre todos los componentes de la MS.

Debido al consumo de agua de las plantas, el agua de las macetas de los tratamientos salinos debió reponerse muy frecuentemente durante los primeros 45 días del experimento; similar a los tratamientos no salinos. Sin embargo, la reposición disminuyó con el tiempo e inclusive, en los últimos 15-20 días no fue necesario hacerlo. La reducción en el consumo de agua indica la disminución de la transpiración, cambios en la apertura estomática y reducción de la actividad fotosintética (van der Moezel *et al.*, 1989; Rodríguez de Souza *et al.*, 2015), que se traduce en pérdidas de crecimiento y menor acumulación de biomasa aérea. Cuando se compara T versus I_{12} se observa que la MS en hojas y ramas fue menos afectada que la MS en tallo (2,9; 2,99 y 3,6 veces mayor a T, respectivamente). La afectación a nivel de MS de tallo principal podría alterar la conductividad hidráulica comprometiendo el transporte de agua y la actividad a nivel de hojas. Ante esta situación se plantea, por un lado, la reducción del número y biomasa de hojas como una estrategia para soportar el estrés hídrico generado por la alta salinidad, ya que reducirá el área de la transpiración logrando una mayor supervivencia o aumentando el período de permanecer con vida. Por otro lado, el desarrollo de hojas dependen del suministro de agua y

ante esta restricción, debido a la presencia de agua salina, son afectados los metabolismos (disminuye la disponibilidad de hidratos de carbono u hormonas de crecimiento para las regiones meristemáticas) que intervienen en la formación y desarrollo de nuevas hojas y con ello el crecimiento (Kozlowsky, 1997; Ashraf & Sarwar, 2002; de Souza *et al.*, 2015).

La mayor tolerancia de GC permitió sostener el área foliar fotosintética por un mayor período y tener mayores crecimientos (Lauchli & Grattan, 2007). La mayor plasticidad de GC puede ser atribuida a que la especie pura *E. camaldulensis* tolera condiciones de media a alta concentración de sal y anegamiento como los indicaron Niknam & McComb (1999) y Johnson *et al.* (2009). En algunas especies como Casuarina, se atribuyó la mayor tolerancia a la inundación a un incremento en el porcentaje de aerénquimas en la raíz (Van Der Moezel *et al.*, 1989; Kozlowsky, 1997; Isla *et al.*, 2014). Nuestra observación no sería coincidente con Reis Mendonça (2007), quienes indican que *E. tereticornis* tolera mayores niveles de salinidad que *E. camaldulensis*.

Las mejores condiciones de fertilidad de suelo en T, N e I lograron generar los mayores CA y la mayor acumulación de materia seca. En los tratamientos de menor crecimiento, mayor mortalidad y menor acumulación de MS (I_{12} , I_6 y N_{12}), el suelo presentó la mayor concentración de Na, mayor PSI y mayor CE. Las relaciones analizadas indican que el aumento de la CE del suelo se explicó a partir del aumento en la concentración salina de la solución aplicada ($r = 0,86$; $P < 0,05$). La menor CE del lixiviado, en comparación a la solución salina, de las macetas del tratamiento I_{12} expresa que parte del Na de la solución de riego ocupó sitios de intercambio del suelo aumentando el PSI ($r = 0,98$; $P < 0,05$) y desplazando los iones Ca y Mg ($r = -0,61$; $P < 0,05$). Este desplazamiento de bases puede ser el responsable de la caída del pH y la CE del lixiviado. Parte del Na pudo pasar a la planta y la restante permaneció en la solución cuando se interrumpió la absorción de agua y se descartó al final de ensayo. Si bien al final del experimento el suelo de los tratamientos salinos muestran mayores niveles de salinidad en comparación con T, N e I; en ninguno de los casos superó los 4 dS m^{-1} y el pH no alcanzó el valor de 8, valor determinado en el lixiviado.

Al comparar las concentraciones foliares no pudimos verificar cambios en los niveles de Na en los tratamientos salinos. Es posible que se deba a un efecto confundido ya que se trabajó a nivel de combinación híbrida (mezcla de

5 clones). Esto podría estar enmascarando las diferencias en las concentraciones foliares de nutrientes que presentaron una alta variabilidad. Sin embargo, hallamos cierta asociación significativa ($r = 0,63$; $P < 0,05$), entre la concentración de Na en el suelo y la concentración foliar de este elemento (Isla *et al.*, 2014). Además, la concentración foliar de K se correlacionó parcialmente y en forma negativa con la concentración foliar de Na ($r = -0,58$; $P < 0,05$).

De esto se desprende que la salinidad alta limitó la absorción de nutrientes como el K, por la inhibición generada por el Na. El K es un elemento esencial para el crecimiento y desarrollo y niveles no adecuados resultan en una menor productividad y puede incluso conducir a la muerte (James *et al.*, 2011). Su menor absorción habría afectado procesos metabólicos involucrados en el mantenimiento de los niveles hídricos óptimos a nivel celular, en la acumulación, translocación de carbohidratos y la regulación de la apertura estomática (Nabil & Coudrest, 1995; Talbott & Zeiger, 1996). La relación Na/K foliar suele ser tomada como un índice de tolerancia a la salinidad, siendo mayor la tolerancia cuando disminuye la relación. En este trabajo, esta variable no cambió a nivel de materiales genéticos.

El estudio en condiciones controladas resultó apropiado para analizar patrones primarios de respuesta ya que permiten trabajar en un área pequeña, tener una alta repetitividad de tratamientos, controlando los factores en evaluación. Sin embargo, la tolerancia a la salinidad de algunas especies de *Eucalyptus* obtenida a partir de los resultados de experimentos en CC no siempre se corresponde linealmente con las repuestas obtenidas en condiciones de campo (Lauchlin & Grattan, 2007).

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en que se realizó el experimento se puede concluir que:

Los híbridos interespecíficos fueron afectados negativamente en sus parámetros morfológicos y nutricionales al ser sometidos a estrés múltiple (anegamiento x salinidad). La tolerancia de los híbridos testeados fue mayor cuando se sometieron solamente al estrés por anegamiento.

El híbrido *E. grandis* x *E. camaldulensis* es más tolerante a condiciones de estrés múltiple; mostró mayor crecimiento, acumuló mayor biomasa y resistió por mayor tiempo a la mortalidad en comparación al *E. grandis* x *E. tereticornis*.

La combinación híbrida de *E. grandis* x *E. camaldulensis* toleró niveles de salinidad de 6 dS m⁻¹ y ambas combinaciones híbridas fueron fuertemente afectados a niveles de salinidad de 12 dS m⁻¹. Los tratamientos no salinos no afectaron la biomasa total acumulada, presentando una performance similar al tratamiento con riego normal.

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto Componente 2 Plantaciones Forestales Sustentables del Proyecto Manejo sustentable de los Recursos Naturales BIRF 7020 AR y al Programa de Mejoramiento Genético por medio del cual se generaron lo híbridos y el financiamiento de las actividades del experimento. Al personal de apoyo del IRB Bosques cultivados.

BIBLIOGRAFÍA

- Akhtar, J; ZA Saqib; RH Qureshi; MA Haq; MS Iqbal & NE Marcar. 2008. The effect of spacing on the growth of *Eucalyptus camaldulensis* on salt-affected soils of the Punjab, Pakistan. *Canadian Journal of Forest Research* 38: 2434-2444.
- Arshi, A; MZ Abdin & M Iqbal. 2002. Growth and metabolism of Senna as affected by salt stress. *Biologia Plantarum* 45: 295-298.
- Bosco de Oliveira, A; NL Mendes Alencar & E Gomes-Filho. 2013. Comparison between the water and salt stress effects on plant growth and development, Responses of organisms to water stress, Sener Akinci (ed), In: Tech <http://www.intechopen.com/books/responses-of-organisms-to-water-stress/comparison-between-the-water-and-salt-stress-effects-on-plant-growth-and-development>. Consultado en 27/9/2016.
- Dan, S & GR Dickinson. 1995. Salinity effects on tree growth, root distribution and transpiration of *Casuarina cunninghamiana* and *Eucalyptus camaldulensis* planted on a saline site in tropical north Australia. *Forest Ecology and Management* 77(1-3): 127-138.
- Donaldson, DR; JK Hasey & WB Davis. 1983. *Eucalyptus* out-perform other species in salty, flooded soils. *Calif. Agr.* 37(9&10): 20-21.
- El-Juhany, LI; IM Aref & AIM Ahmed. 2008. Response of *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus microtheca* and *Eucalyptus intertexta* seedlings to Irrigation with Saline Water. *World Journal of Agricultural Sciences* 4(5): 825-834.
- Farrell, RCC; DT Bell; K Akilan & J KMarshall. 1996. Morphological and physiological comparisons of clonal lines of *Eucalyptus camaldulensis*. Responses to waterlogging/salinity and alkalinity. *Austral. J. Plant Physiol.* 23: 509-518.
- Gupta, B & B Huang. 2014. Mechanism of Salinity Tolerance in Plants: Physiological, Biochemical, and Molecular Characterization. Review Article. *International Journal of Genomics* 2014: 1-19.
- Isla, R; M Guillen & R Aragues. 2014. Response of five tree species to salinity and waterlogging: shoot and root biomass and relationships with leaf and root ion concentrations. *Agroforest Syst.* 88: 461-477.
- James, RA; C Blake; CS Byrt & R Munns. 2011. Major genes for Na⁺ exclusion, Nax1 and Nax2 (wheatHKT1;4 and HKT1;5), decrease Na⁺ accumulation in bread wheat leaves under saline and waterlogged conditions. *Journal of Experimental Botany* 62(8): 2939-2947.
- Johnson, I; R Coburn & C Barton. 2009. Tree planting to control salinity. PRIMEFACT 983. 8p. www.dpi.nsw.gov.au/primefacts. Consultado el 1/9/2016.
- Kozlowski, TT. 1997. Responses of woody plants to flooding and salinity. *Tree Physiology Monograph* N° 1. 29 p.
- Läuchli, A & SR Grattan. 2007. Plant growth and development under salinity stress. MA Jenks; PM Hasegawa & SM Jain (eds). *Advances in Molecular Breeding Toward Drought and Salt Tolerant Crops*. Capitulo 1. 1-32. Springer Netherlands.
- Marcar, NE; DF Crawford; AKMA Hossain & AT Nicholson. 2003. Survival and Growth of tree species and provenances in response to salinity on a discharge site. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 43: 1293-1302.
- López, JA; M Marcó; L Harrand; P Pathauer; MN García; AJ López; J Oberschelp; C Vera Bravo; E Cappa; C Acuña & P Villalba . 2016. Subprograma *Eucalyptus* y otras latifoliadas (*Corimbia* y *Grevilea*). En: M Marcó & CI Llavallol (eds). *Domesticación y mejoramiento de especies forestales*. 1ª Edición. Pp 47-84. Ministerio de Agroindustria. Unidad para el Cambio Rural- UCAR. CABA, Argentina. 422 p.
- Moscattelli, G; G Cruzate & L Lutters. 2001. Suelos alcalinos en el centro-este de la República Argentina Instituto de Suelos CRN INTA. 3ª International conference on land degradation and meeting of the IUSS subcommission c - soil and water conservation. Editor EMBRAPA.
- Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 25(2): 239-250.
- Munns, R & A Termaat. 1986. Whole-plant responses to salinity. *Australian Journal of Plant Physiology* 13: 143-160.
- Nabil, M & A Coudrest. 1995. Effects of sodium chloride on growth, tissue elasticity and solute adjustment in two *Acacia nilotica* subspecies. *Physiol. Plant.* 93: 217-224.
- Nasim, M; RH Qureshi; M Saqib; T Aziz; S Nawaz; J Akhtar; & M Anwar-ul-Haq. 2007a. Properties of salt affected soil under *Eucalyptus camaldulensis* plantation in field conditions. *Pak. J. Agri. Sci.* 44(3): 401-414.
- Nasim, M; RH Qureshi; T Aziz; M Saqib; S Nawaz; ShT & Sh Pervaiz. 2007b. Screening trees for salinity tolerance: a case-study with ten eucalyptus species. *Pak. J. Agri. Sci.* 44(3): 385-396.
- Niknam, SR & J McComb. 2000. Salt tolerance screening of selected Australian woody species - a review. *Forest Ecol. and Management* 139(1-2):1-19.
- Pardos, JA. 2007. Perspectiva fisiológica en la producción y mejora del Eucalipto (con énfasis en *Eucalyptus globulus* Labill). *Boletín del CIDEUS* 3: 7-55.
- Qureshi, TM; M Aslam; F Hussain & AY Ashraf. 2000. Performance of *Eucalyptus camaldulensis* under different types of Salt-Affected Soils. *International Journal Of Agriculture & Biology* 2(1-2): 45-47.
- Ramoliya, PJ & AN Pandey. 2002. Effect of increasing salt concentration on emergence, growth and survival of seedlings of *Salvadora oleoides* (Salvadoraceae). *J. Arid Environ.* 51: 121-132.
- Reis Mendonça, AVR; JG Carneiro; DG Barroso; RS Anderson; LA Rodrigues & TA Soares de Freitas. 2007. Características biométricas de mudas de *Eucalyptus* sp. sob estresse salino. *Árvore* 31(3): 365-372.

- Rodrigues de Souza, B; IAS Freitas; L Vinicius de Araujo; R Vanessa do Rosario & FS Matos. 2015. Growth of eucalyptus plants irrigated with saline water. *African Journal of Agricultural Research* 10(10): 1091-1096.
- Salter, J; K Morris; PCE Bailey & PI Boon. 2007. Interactive effects of salinity and water depth on the growth of *Melaleuca ericifolia* Sm. (Swamp paperbark) seedlings. *Aquatic Bot.* 86: 213-222.
- Sfeir, AJ. 2015. Provincia de Buenos Aires. *En: Casas R & G Albarracin (eds): El deterioro del suelo y del ambiente en Argentina. Erosión y degradación de Suelos. Tomo II, Parte 7. Pp 31. Fundación Ciencia, Educación y Cultura. FECIC 2. CABA, Argentina. 456 p.*
- Soil Science Society of America. 2008. Glossary of Soil Science Terms. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA. <http://blogs.upm.es/techenglish/wp-content/uploads/sites/53/2015/05/Soil-Science-glossary.pdf>. Consultado el 27/8/2016.
- Subsecretaria de desarrollo foresto-industrial del Ministerio de Agroindustria. 2016. <http://forestindustria.magyp.gob.ar/plantaciones-forestales>. Consultado el 27/8/2016.
- Taboada, M. 2009. Alteraciones de la fertilidad causadas por el hidromorfismo. *En: Taboada M & R Lavado (eds). Alteraciones de la fertilidad de los suelos. El halomorfismo, la acidez, el hidromorfismo y las inundaciones. Cap 4.1-43. EFA, Buenos Aires, Argentina. 160 pp.*
- Talbott, LD & E Zeiger. 1996. Central role for potassium and sucrose in guard cell osmoregulation. *Plant Physiology* 111: 1051-1057.
- Van Der Moezel, PG; LE Watson & DT Bell. 1989. Gas exchange responses of two Eucalyptus species to salinity and waterlogging. *Tree Physiology* 5: 251-257.