

V.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.0 Superficie foliar

Los resultados obtenidos en la medición de la superficie foliar figuran en el ANEXO N°5.

Como se ve en la Figura 1, no hay una diferencia significativa en la superficie foliar de las distintas zonas en que se han dividido los brinzales escogidos. El primer tercio del sistema aéreo presenta un valor medio de 27,4 cm² frente a los 22,8 cm² obtenidos para el segundo tercio, y los 21,7 cm² de la zona más alta del tallo. Por lo tanto se puede decir que la superficie enterrada en cada tratamiento se mantiene de manera proporcional en las distintas partes en que se dividió la planta.

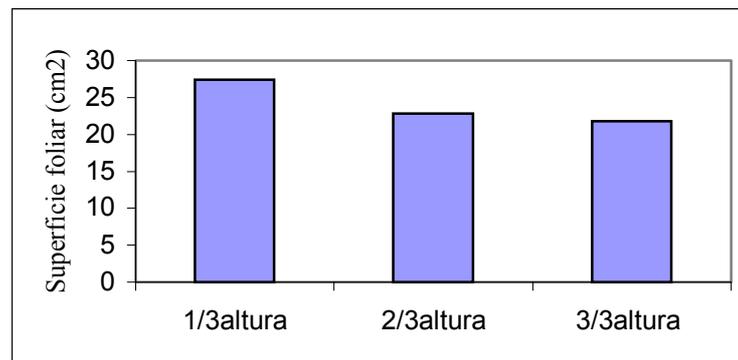


Figura 1. Superficie foliar. 1/3 altura: tercio bajo de la planta. 2/3 altura: tercio medio de la planta. 3/3 altura: tercio superior de la planta.

5.1 ENSAYO N°1: En Campo

5.1.1 Supervivencia en campo

Los resultados de supervivencia en campo figuran en el ANEXO N° 6 .

Tras aplicar el ANOVA de una vía para la supervivencia se observó que no existen diferencias significativas entre tratamientos de profundidad de plantación en campo.

Sin embargo, si estudiamos la evolución de esta variable en el tiempo (Figura 2) se observa una tendencia del tratamiento profundo a presentar valores menores con respecto al resto de tratamientos aunque las diferencias son pequeñas, oscilando entre el 8% y el 5% respectivamente.

A la vista de los resultados obtenidos, podemos afirmar que en campo el enterramiento de parte del sistema aéreo de *Pinus halepensis* Mill., no influye en la supervivencia de las plantas. Estos resultados coinciden con los obtenidos en ensayos anteriores para distintas especies de coníferas como *Pseudotsuga menziesii* (STROTHMANN, 1976), *Pinus sylvestris* (HUURI, 1978) o *Pinus taeda* (SLOCUM, 1951; SLOCUM & MAKI, 1956; SHIVER et al; 1990) donde no se observó ninguna diferencia significativa entre tratamientos de profundidad de plantación con respecto a la supervivencia. Sin embargo, no coinciden con los obtenidos para esta última especie en otros estudios realizados en suelos arenosos durante un año húmedo, en los que la tasa

de supervivencia para *Pinus taeda* se ve aumentada con la profundidad de plantación (KOSHI, 1960). A la misma conclusión se llegó con trabajos realizados con *Pinus elliotti* en tierras arenosas de Carolina (SHIPMAN & HATCHER, 1957; MCGEE & HATCHER, 1963) donde, tras cinco años de observación, se comprobó que existía cierta mejoría respecto a la supervivencia en las plantas con la mitad de su parte aérea enterrada y las enterradas hasta la yema apical, que con respecto a las enterradas al nivel del cuello de la raíz.

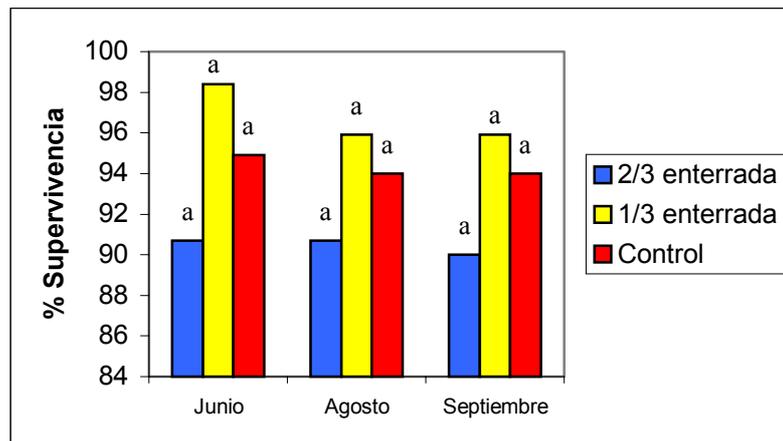


Figura 2. Evolución en el tiempo de la supervivencia en campo tras siete meses desde el momento de la plantación. Letras iguales indican que no existen diferencias significativas entre tratamientos según el test de Tukey ($p=0.05$).

5.1.2 Crecimiento en Campo.

Para estudiar el crecimiento en campo se tomaron datos sobre el incremento en altura, diámetro y biomasa, tanto aéreo como radical. Los valores finales obtenidos figuran en el ANEXO N° 7. En este caso se aplicó un análisis de varianza de una vía respecto al factor tratamiento de profundidad de plantación cuyo resultado final se refleja en la Tabla 1. Se observa que existen diferencias significativas entre tratamientos de profundidad de plantación para todas las variables del crecimiento, especialmente entre el control y el tratamiento más enterrado.

Tabla 1. Resultados del crecimiento en campo tras aplicar un ANOVA de una vía. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos de profundidad de plantación ($p=0.05$) según el test de Scheffe. ΔH_1 (cm): incremento de la altura en el mes de octubre. ΔD_1 (mm): incremento del diámetro a nivel del cuello de la raíz en el mes de octubre. ΔPSA (g): incremento de la biomasa aérea en el mes de noviembre. ΔPSR (g): incremento de la biomasa radical en el mes de noviembre.

Tratamiento	ΔH_1 (cm)	ΔD_1 (mm)	ΔPSA (g)	ΔPSR (g)
2/3 enterrada	15,02 b	4,79 b	36,627 b	3,479 b
1/3 enterrada	19,3 ab	5,83 b	49,834 ab	5,265 ab
Control	22,0 a	7,12 a	58,524 a	6,364 a

En el crecimiento en altura y en diámetro se alcanzaron los valores más bajos en el tratamiento más enterrado, cuya diferencia con respecto al control es de 7 cm en el incremento de la altura y de 2,33 mm en el del diámetro, lo que supone una disminución de casi un 32 % en el crecimiento de ambas variables.

Respecto a los incrementos en biomasa obtenidos tanto para el sistema aéreo como para el sistema radical, el tratamiento más profundo es el que alcanza los valores mínimos, registrando una disminución del 37% en el caso del incremento de masa aérea y del 45% en el caso del incremento de masa radical con respecto al tratamiento control. Por lo tanto, podemos afirmar que, con respecto al crecimiento en campo, los distintos tratamientos de profundidad de plantación influyen en el desarrollo de los brinzales siendo menores los resultados a medida que aumenta el nivel de enterramiento.

En ensayos realizados anteriormente con distintas especies se llegó a la misma conclusión que en este trabajo, como los realizados con *Pinus elliotti* (McGEE & HATCHER, 1963) o los obtenidos con *Pinus palustris* (BURNS, 1974) o *Pinus sylvestris* (HUURI, 1978).

En contraposición, también se han llevado a cabo experimentos en los que los resultados obtenidos difieren por completo con los expuestos anteriormente. Así, SLOCUM (1951) y SLOCUM & MAKI (1956) realizaron un primer ensayo con ejemplares de *Pinus taeda* plantados a distintas profundidades y obtuvieron como resultado final que los individuos más enterrados fueron los que mayor tasa de crecimiento presentaron. Incluso después de tres años transcurridos desde el momento de la plantación este resultado se mantuvo constante.

Sin embargo, no todos los experimentos que se han realizado con distintos niveles de profundidad de plantación han obtenido resultados tan significativos entre tratamientos. De hecho, KOSHI (1960) llegó a la conclusión de que, durante un año con humedad elevada y en suelos limosos, los ejemplares de *Pinus taeda* y de *Pinus elliotti* no presentaron diferencias significativas entre tratamientos con respecto al crecimiento aunque sí observó tendencia más positiva en los individuos más enterrados. Tampoco STROTHMANN (1976) obtuvo una clara diferenciación en los experimentos realizados con *Pseudotsuga menziesii* tras diez años, aunque sí observó que durante los tres primeros años los pies más enterrados presentaron cierta tendencia a crecer más en comparación con los otros tratamientos.

5.1.3 Capacidad de Regeneración Radical (CRR)

Los valores de la CRR figuran en el ANEXO N° 8.

Como se observa en la Figura 3, la producción media de raíces a los 41 días desde el momento de la plantación es significativamente mayor en el tratamiento en que no se enterró parte del sistema aéreo de la planta que en los tratamientos más enterrados, tanto en longitud como en biomasa.

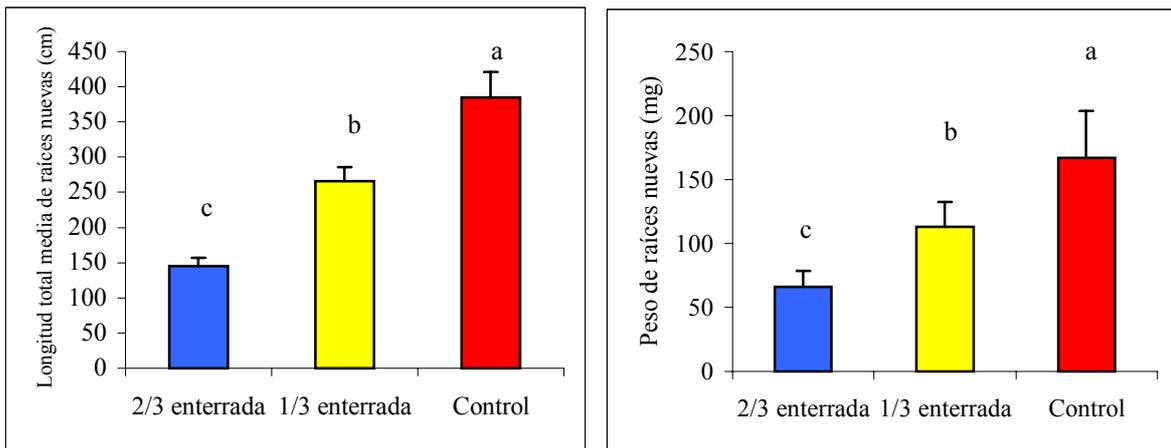


Figura 3. Resultados de longitud total media de raíces y de biomasa radical a los 41 días desde el momento de la plantación. Letras diferentes indican diferencias significativas según el test de Tukey ($p=0.05$).

Si estudiamos los valores obtenidos en el tratamiento Control vemos que la longitud total de raíces es de casi 4 m. y su biomasa de 167 mg. Comparando estos valores con los obtenidos en el tratamiento más profundo, vemos que la diferencia en la producción de raíces en el Control es casi el triple que en el 2/3 enterrada, y que la biomasa radical obtenida para este tratamiento no llega a alcanzar el 40% de la obtenida para el Control. Estas diferencias son muy importantes si tenemos en cuenta el poco tiempo que han permanecido las plantas en campo.

Por lo tanto, según los resultados obtenidos en el experimento, podemos concluir que la capacidad para producir raíces nuevas se ve considerablemente mermada por el enterramiento de la planta.

La capacidad de regeneración radical es un buen estimador del posterior éxito en campo de la plantación (SIMPSON, 1983). Esta teoría ha sido apoyada por ensayos llevados a cabo con distintas especies de coníferas como *Picea glauca* (BURDETT, *et al.* 1983) en el que se ha demostrado además, que la relación entre la CRR y el crecimiento en campo es independiente de la relación entre dicha variable y la supervivencia. Posteriormente estos datos fueron contrastados por SIMPSON (1995) y llegó a la conclusión de que, en *Picea glauca*, la supervivencia sí estaba relacionada directamente con la capacidad de la planta para producir nuevas raíces siempre y cuando superara un valor mínimo, pero no así el crecimiento.

RITCHIE (1984) matiza un poco más sobre esta teoría y especifica que el test de CRR sirve para conocer la resistencia de las planta a las heladas y al estrés y, en función de esta resistencia, el posterior éxito en campo. Esta teoría está apoyada por BURDETT (1987), según el cual el test de capacidad de regeneración radical sirve para conocer potencialmente el desarrollo en campo de la planta y su calidad, pues nos da a entender que si la planta es capaz de desarrollar un abundante sistema radical en un corto periodo de tiempo es porque presenta las condiciones fisiológicas adecuadas para adaptarse al nuevo medio.

Sin embargo en ensayos posteriores se ha observado que la relación directa entre el CRR y el éxito en campo varía en función de la especie con que se trabaja. De hecho, MATTSON (1991) llevó a cabo un experimento con *Pinus sylvestris* y *Picea abies* del que dedujo que, los resultados obtenidos con *Pinus sylvestris* presentaban una relación directa entre la CRR y el

éxito posterior en campo. Sin embargo *Picea abies* no, debido probablemente a las distintas estrategias para desarrollar el sistema radical entre especies. También se encontraron diferencias en los resultados de ensayos realizados con *Pseudotsuga menziesii* y *Pinus contorta* (SIMPSON *et al*, 1995) ya que se demostró que en el caso de *Pseudotsuga menziesii* no existía relación alguna entre el crecimiento o la supervivencia en campo y la capacidad de crecimiento de las raíces, mientras que en el de *Pinus contorta*, al igual que con *Picea glauca*, una vez obtenido un valor mínimo de CRR, sí se podía predecir con éxito el desarrollo en campo a partir de los trabajos realizados *a priori*.

En nuestro caso podemos afirmar que, teniendo en cuenta que la planta más enterrada ha desarrollado hasta un 40% menos de biomasa radical con respecto al tratamiento menos enterrado, los resultados para la capacidad de regeneración radical obtenidos son coherentes, pues han pronosticado los resultados obtenidos para el crecimiento.

El hecho de que el crecimiento radical sea tan bajo en las plantas más enterradas podría dificultar el proceso de instalación de la planta al nuevo medio haciéndola más vulnerable en el momento en que el estrés hídrico sea más acusado.

5.1.3.1 Carbohidratos de reserva

Para conocer la variación del contenido de carbohidratos de reserva en las plantas después de permanecer 41 días en campo, se tomó como punto de referencia los datos obtenidos en el análisis realizado a los individuos caracterizados antes de la plantación. El análisis de carbohidratos se realizó para conocer la cantidad de sustancias de reserva que tenían las plantas a través de los datos de azúcares solubles y de almidón, tanto en el tallo como en la raíz. Los valores obtenidos aparecen en el ANEXO N° 9.

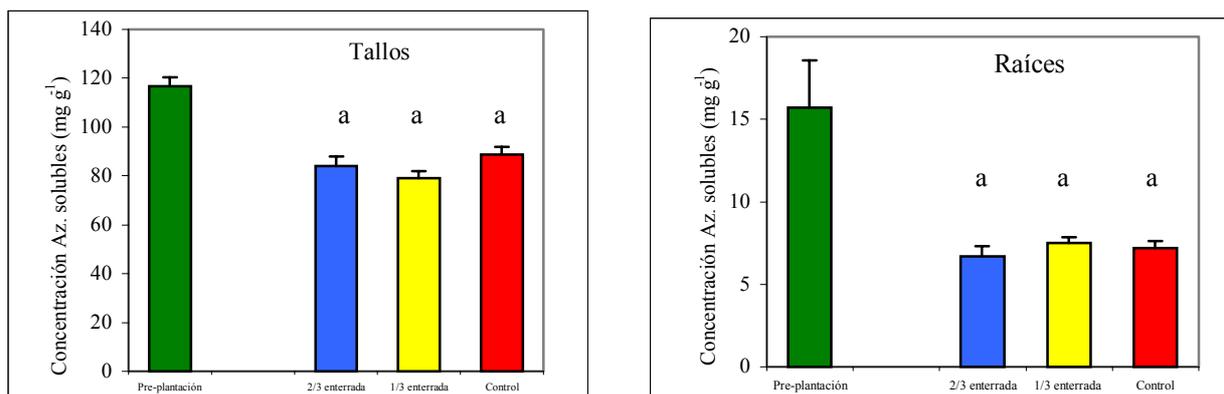


Figura 4. Resultados de las concentraciones de azúcares solubles en la parte aérea y radical de los distintos tratamientos de profundidad transcurridos 41 días desde el momento de la plantación. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p=0.05$) según el test de Tukey.

En la Figura 4 se reflejan la concentración de carbohidratos solubles existentes en el tallo y en la raíz. Este análisis se realizó para ver si el consumo de azúcares de la planta variaba enterrándola a distintas profundidades. Como se puede apreciar no ha habido diferencias

significativas entre tratamientos, pero la concentración de los azúcares solubles ha disminuido en todos los tratamientos en general con respecto a la concentración que presentaban las plantas de referencia especialmente en el sistema radical, donde la disminución es del 40-50% aproximadamente para todos los casos.

La concentración de carbohidratos de reserva en el tallo con respecto al de las plantas referencia no ha disminuido en ningún tratamiento, pero el control y 1/3 enterrada muestran una ganancia neta de almidón frente al tratamiento 2/3 enterrada, cuya concentración no ha variado. Por lo tanto podemos afirmar que la concentración de almidón en el tallo ha aumentado a medida que ha disminuido la profundidad de plantación. Sin embargo, en el sistema radical dicha concentración ha disminuido para todos los tratamientos en general, haciéndose más patente esta disminución cuanto más profundo es el tratamiento.

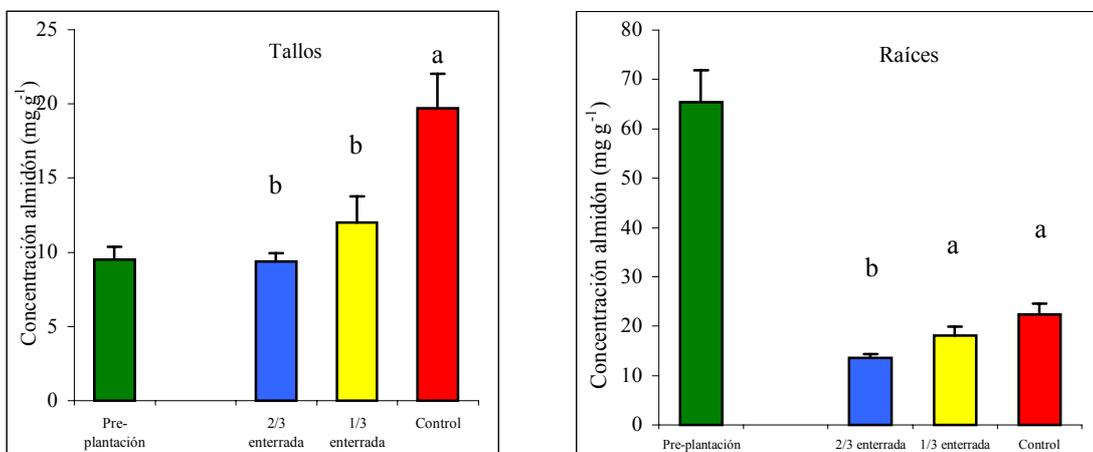


Figura 5. Resultados de la concentración de almidón de la parte aérea y radical de los distintos tratamientos de profundidad de plantación transcurridos 41 días desde el momento de la plantación. Letras diferentes indican diferencias significativas según el test de Tukey ($p=0.05$).

Estos resultados indican que, en un principio y en condiciones normales, las plantas de *Pinus halepensis* Mill. utilizan los carbohidratos producidos por la fotosíntesis y parte de los de reserva, siendo el uso de éstos más intenso en el tratamiento más enterrado.

Existen algunos trabajos que han relacionado la CRR y el consumo de hidratos de carbono por parte de la planta para desarrollar dichas raíces. Así, RITCHIE (1982) asegura que no existe relación alguna entre la producción de las nuevas raíces y los hidratos de carbono de reserva en ensayos realizados con *Pseudotsuga menziesii*, y afirma que éstas se forman a partir de los producidos por la fotosíntesis. Esta teoría se ve reforzada con los datos obtenidos de los ensayos realizados con *Picea abies* y *Pinus sylvestris* en los que se concluye que, al reducir la intensidad de la luz, la tasa de fotosíntesis también disminuye así como la producción de nuevas raíces (THOMPSON; PUTTONEN, 1991).

En un ensayo realizado con *Pinus banksiana* en el que se sometía a las plantas a bajos niveles de intensidad luminosa se demostró que en un principio las plantas consumían hidratos de carbono producidos por la fotosíntesis pero que, al disminuir la intensidad de la luz, las plantas tendieron a consumir los hidratos de carbono de reserva para producir las nuevas raíces

(NOLAND *et al*, 1995). También VAN DEN DRIESSCHE (1986) llegó a esta conclusión en *Pseudotsuga menziesii* y *Picea sitchensis*.

En contraposición a estas teorías, un experimento realizado con *Picea sitchensis* demuestra que esta especie recurre al consumo de los hidratos de carbono de reserva desde un principio para poder desarrollar nuevas raíces (PHILIPSON, 1988).

En nuestro ensayo con *Pinus halepensis* Mill. se observa que la reducción de la superficie foliar producida al enterrar parte del sistema aéreo de la planta, ocasiona un mayor consumo de las reservas de almidón puesto que el aporte de azúcares producidos mediante la fotosíntesis es disminuye, y un crecimiento menor del sistema radical. Los resultados obtenidos también indican que, aunque los tratamientos más enterrados consumen mayor cantidad de azúcares que las plantas control, no hacen uso masivo de los mismos a corto plazo para compensar el enterramiento.

Por lo tanto, los resultados de reducción de CRR y de la concentración de azúcares de reserva confirman una de las hipótesis planteadas en la introducción sobre el deterioro de la economía del carbono de la planta ligada al enterramiento.

5.2 ENSAYO N°2: En Invernadero

5.2.1 Supervivencia en Invernadero

Los resultados de la supervivencia en invernadero figuran en el ANEXO N° 10.

En la Tabla 2 se reflejan los resultados de aplicar un análisis de varianza de una vía, con respecto al factor profundidad de plantación y teniendo en cuenta cada tratamiento de riego individualmente, a los datos obtenidos para la supervivencia en invernadero.

Tabla 2. Resultados de aplicar un análisis de varianza de una vía a la variable supervivencia en invernadero tras siete meses desde el momento de la plantación. Letras diferentes reflejan diferencias significativas ($p=0.05$) en el test de Tukey. %S: porcentaje de supervivencia.

Tratamiento	Riego	%S Junio	%S Agosto	%S Septiembre
2/3 enterrada	Húmedo	100 a	100 a	93,7 a
1/3 enterrada	Húmedo	100 a	100 a	87,5 a
Control	Húmedo	100 a	95,3 a	85,9 a
2/3 enterrada	Seco	96,8 a	82,6 a	57,5 a
1/3 enterrada	Seco	100 a	76,4 a	52,5 a
Control	Seco	84,8 b	64,9 a	46,2 a

Como se puede observar, el porcentaje de supervivencia es mayor en el tratamiento de tipo de riego húmedo que en el seco a lo largo de todo el experimento, pero estas diferencias se

acentúan a partir del mes de agosto, momento en el que las condiciones de estrés hídrico y temperatura se hacen más duras en el invernadero.

Aunque en el tratamiento húmedo no hay diferencias significativas entre tratamientos de profundidad de plantación, la supervivencia presenta valores ligeramente superiores en el tratamiento más enterrado que en el resto. Estas diferencias se acentúan a medida que transcurre el tiempo. Así, en el mes de agosto, las plantas del tratamiento 2/3 enterrada presentan una supervivencia del 4,7% mayor que el tratamiento Control, mientras que en septiembre esta diferencia es de aproximadamente un 8,3%.

La supervivencia en el tratamiento seco decrece considerablemente a lo largo de todo el experimento. De hecho, tanto en el tratamiento más profundo como en el control, las diferencias obtenidas entre los datos del mes de septiembre y los del mes de junio son del 40% aproximadamente.

Solamente en los datos registrados en el mes de junio se observan diferencias significativas entre tratamientos de profundidad de plantación, siendo el tratamiento semiprofundo, con un 100% frente al 84,9% del tratamiento no enterrado, el que mayor supervivencia obtuvo.

Realizando un análisis de dos vías con respecto al factor profundidad de plantación y riego, y estudiando el *factor profundidad* dentro de los distintos tratamientos de riego (Figura 6), vemos que las diferencias de supervivencia entre los distintos tratamientos se encuentran muy cercanas entre sí en cada uno de los momentos analizados si bien, se observa una ligera tendencia a presentar mejor supervivencia el tratamiento más enterrado aunque sólo es estadísticamente significativa en el mes de agosto. En este mes, el tratamiento más enterrado presentó una supervivencia del 90,4% frente al 78,4% del tratamiento no enterrado.

Por lo tanto, se puede afirmar que no existen diferencias significativas para la supervivencia según los distintos tratamientos de profundidad de plantación aunque se observa una tendencia muy ligera a mejorar en el tratamiento 2/3 enterrada con respecto a los demás tratamientos.

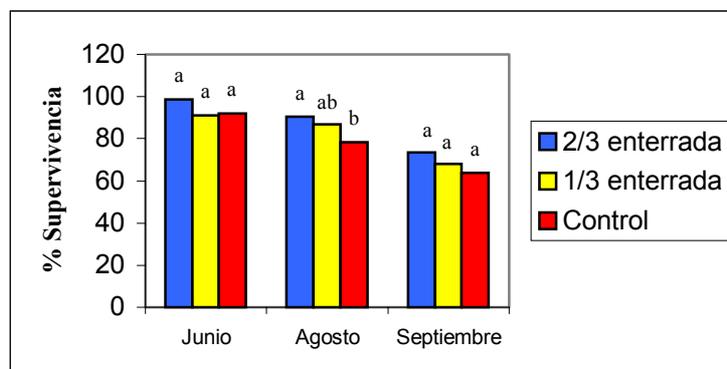


Figura 6. Resultado de la supervivencia en invernadero tras aplicar un ANOVA de dos vías con respecto al factor profundidad de plantación. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según el test de Tukey ($p=0.05$). S%: porcentaje de supervivencia.

Si estudiamos el *factor riego* (Tabla 3) observamos que existen diferencias significativas desde el momento en que comienzan a incrementarse la temperatura y la sequía en el periodo estival.

Tabla 3. Resultado de la supervivencia en invernadero tras aplicar un ANOVA de dos vías con respecto al factor riego. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según el test de Tukey ($p=0.05$). S%: porcentaje de supervivencia.

	%S Junio	%S Agosto	%S Septiembre
SECO	93,8 a	74,6 b	52,0 b
HÚMEDO	100 a	98,4 a	89,0 a

A partir del mes de agosto comienza a haber diferencias significativas entre tratamientos, puesto que en el húmedo se alcanza un valor de supervivencia del 98,4% frente al 74,6% que se alcanza en el tratamiento seco. Estas diferencias se hacen más notables en el mes de septiembre, después del periodo de mayor estrés, donde el tratamiento húmedo presenta una supervivencia del 37% superior al tratamiento seco.

No se ha observado ningún tipo de interacción entre los distintos tratamientos de profundidad de plantación y de riegos mediante el ANOVA de dos vías.

Por lo tanto se puede afirmar que los distintos tratamientos de riegos han tenido una mayor influencia en la supervivencia de los brinzales de *Pinus halepensis* Mill. que los diferentes tratamientos de profundidad de plantación.

5.2.2 Crecimiento en Invernadero

Los valores alcanzados por las plantas con respecto al crecimiento en el ensayo realizado en el invernadero aparecen en el ANEXO N° 11.

Los resultados obtenidos de aplicar el análisis de varianza de una vía, con respecto al factor tratamiento analizando cada nivel de riego por separado, a las distintas variables que caracterizan el crecimiento de las plantas en invernadero están reflejados en la Tabla 4.

En los dos registros de incremento de la altura se puede apreciar que, salvo en el caso del tratamiento en que no se entierra parte del sistema aéreo, hay cierta mejoría en el tratamiento húmedo con respecto al seco.

En el tratamiento húmedo existen diferencias significativas entre tratamientos de profundidad de plantación. Así, el 2/3 enterrada presentó los valores más elevados frente al resto de tratamientos en el incremento de la altura en el mes de marzo (ΔH_1), pues en un mes creció 3,37 cm frente a los 1,98 cm registrados en el Control. Los valores obtenidos para el incremento de altura en el mes de octubre (ΔH_2) fueron muy parecidos, pues el tratamiento profundo seguía

siendo el que alcanzó los valores mayores respecto al resto, pero en este caso la diferencia con el Control fue de 7,76 cm.

Tabla 4. Resultados de aplicar un análisis de varianza de una vía a los datos obtenidos para el crecimiento en invernadero. Letras diferentes reflejan diferencias significativas ($p=0.05$) en el test de Scheffe. ΔH_1 (cm): incremento de la altura en el mes de marzo. ΔH_2 (cm): incremento de la altura en el mes de octubre. ΔD_2 (mm): incremento del diámetro a nivel del cuello de la raíz en el mes de octubre. ΔPSA (g): incremento de la biomasa aérea en el mes de octubre. ΔPSR (g): incremento de la biomasa radical en el mes de octubre.

Tratamiento	Riego	ΔH_1 (cm)	ΔH_2 (cm)	ΔD_2 (mm)	ΔPSA (g)	ΔPSR (g)
2/3 enterrada	Húmedo	3,37 a	13,7 a	0,89 a	1,40 ab	1,06 a
1/3 enterrada	Húmedo	2,59 b	9,31 b	0,68 b	1,64 a	1,28 a
Control	Húmedo	1,98 c	5,94 c	0,88 a	1,02 b	1,06 a
2/3 enterrada	Seco	3,49 a	14,36 a	1,09 a	1,35 a	0,58 a
1/3 enterrada	Seco	2,67 b	9,59 b	1,09 a	1,66 a	1,00 a
Control	Seco	1,72 c	5,68 c	1,00 a	0,43 a	0,90 a

En el tratamiento seco, de nuevo se observan diferencias entre los distintos tratamientos de profundidad de plantación para los incrementos en altura. Tanto para ΔH_1 como para ΔH_2 , los máximos valores fueron alcanzados por el tratamiento 2/3 enterrada, aunque en el segundo caso la diferencia con respecto al valor obtenido en el Control fue más acentuada (8,68 cm).

En cuanto al incremento en diámetro, se observa cierta mejoría en el tratamiento seco con respecto al húmedo, aunque no existen diferencias significativas en los resultados obtenidos para los distintos niveles de enterramiento. Sin embargo en el tratamiento húmedo sí hay diferencias significativas, pues el tratamiento semiprofundo es el que menor valor alcanza con una diferencia de 0,21 mm respecto al más enterrado.

No se observan diferencias significativas en el incremento de biomasa aérea en el tratamiento seco con respecto a los tratamientos de profundidad de plantación. Aún así, el tratamiento semiprofundo crece 1,66 g frente a los 0,43 g del tratamiento no enterrado. Esta diferencia se debe a que el tamaño de la muestra en el tratamiento seco es muy pequeña y hay mayor variación en los datos. En el tratamiento húmedo aparecen diferencias significativas entre tratamientos de profundidad de plantación, siendo el incremento de la biomasa aérea en el tratamiento semiprofundo de 1,64 g frente a 1,02 g en el control.

En el incremento de biomasa radical, no se observan diferencias significativas entre tratamientos de profundidad de plantación dentro del tratamiento húmedo, aunque el semiprofundo crece 1,28 g frente al 1,06 g que crecen los otros dos tratamientos. Dentro del tratamiento seco tampoco se observan diferencias significativas, pero de nuevo es el tratamiento semiprofundo el que alcanza los valores más altos. Sin embargo, si comparamos el valor alcanzado por el tratamiento profundo en el tratamiento húmedo con el alcanzado en el tratamiento seco, vemos que el valor de su peso radical disminuye hasta casi en un 45%.

En el ANOVA de dos vías aplicado a estas variables y con respecto a los *tratamientos de profundidad de plantación* dentro de los riegos de (Tabla 5) podemos ver que existen diferencias significativas entre estos tratamientos en todas las variables salvo en el incremento del diámetro en el cuello de la raíz.

Tabla 5. Resultado del crecimiento en invernadero tras aplicar un ANOVA de dos vías con respecto a la profundidad de plantación. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según el test de Scheffe ($p=0.05$). ΔH_1 (cm): incremento de la altura en el mes de marzo. ΔH_2 (cm): incremento de la altura en el mes de octubre. ΔD_2 (mm): incremento del diámetro a nivel del cuello de la raíz en el mes de octubre. ΔPSA (g): incremento de la biomasa aérea en le mes de octubre. ΔPSR (g): incremento de la biomasa radical en le mes de octubre.

Tratamiento	ΔH_1	ΔH_2	ΔD_2	ΔPSA (g)	ΔPSR (g)
2/3 enterrada	3,43 a	13,99 a	0,99 a	1,38 ab	0,92 a
1/3 enterrada	2,63 b	9,4 b	0,86 a	1,65 a	1,18 a
Control	1,85 c	5,8 c	0,93 a	0,84 b	1,01 a

Existen diferencias significativas entre tratamientos de profundidad de plantación en el incremento en altura registrado en marzo (ΔH_1), siendo el tratamiento profundo el que alcanza los valores más elevados. Estas diferencias cobran mayor importancia si tenemos en cuenta que sólo transcurrió un mes desde el momento de la plantación y que el tratamiento 2/3 enterrada alcanzó un valor superior en 1,58 cm respecto al Control.

También existen diferencias significativas entre tratamientos de profundidad de plantación en la variable del crecimiento en altura medido después del verano (ΔH_2), pero dichas diferencias se acentúan aún más entre el tratamiento más enterrado y el no enterrado, pues éste último creció un 58,5% menos que el primero.

En el incremento del diámetro no se encuentran diferencias significativas entre los tratamientos de profundidad de plantación ni tampoco ninguna tendencia de unos frente a otros.

Respecto al incremento de biomasa aérea sí existen diferencias significativas, registrando el tratamiento semiprofundo un aumento de 1,65 g frente a los 0,84 g del tratamiento no enterrado. En el incremento de la biomasa radical no existen diferencias significativas respecto tratamientos de profundidad de plantación, pero se nota una ligera mejoría en el tratamiento semiprofundo que en los demás.

Los resultados de aplicar un ANOVA de una vía a los valores totales alcanzados por los individuos en invernadero para la altura, el diámetro en el cuello de la raíz, el coeficiente de esbeltez, el peso seco aéreo y radical y su ratio, se reflejan en la Tabla 6.

Tabla 6. Resultados de aplicar un ANOVA de una vía a los valores totales alcanzados por los individuos en el invernadero. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según el test de Scheffe ($p=0.05$). Hf: altura final en el mes de octubre. Df: diámetro final en el mes de octubre. Coef. Esbeltez: (Hf/Df) coeficiente de esbeltez en el mes de octubre. PSA: peso seco aéreo en el mes de octubre. PSR: peso seco radical en el mes de octubre. PSA/PSR: relación entre el peso seco aéreo y el radical en el mes de octubre.

Tratamiento	Hf (cm)	Df (mm)	Coef.Esbeltez	PSA (g)	PSR (g)	PSA/PSR
2/3 enterrada	21,47 a	2,49 a	5,76 a	3,65 ab	2,77 a	1,32 a
1/3 enterrada	17,11 b	2,21 a	4,74 b	3,91 a	2,86 a	1,29 a
Control	13,37 c	2,07 a	3,64 c	3,10 b	3,03 a	1,09 b

Los valores de la altura total nos indican que existen diferencias significativas entre tratamientos de profundidad de plantación, siendo el más profundo el que alcanza los valores más altos. Así alcanza una longitud total de 21,47 cm frente a los 13.37cm alcanzados por el tratamiento no enterrado, lo que supone una diferencia de casi el 40%.

En el diámetro no se observan diferencias significativas entre tratamientos pero si estudiamos los datos obtenidos para el coeficiente de esbeltez, vemos que los tratamientos con parte del sistema aéreo enterrado presentan valores mayores que el no enterrado. Esto se traduce en un desequilibrio morfológico del sistema aéreo de la planta, puesto que la altura alcanzada por el tallo no es proporcional con respecto a las dimensiones adquiridas en el diámetro.

Los datos obtenidos para la biomasa aérea reflejan diferencias significativas entre los tratamientos enterrados y el superficial, siendo mayores los valores obtenidos en los tratamientos 2/3 enterrada y 1/3 enterrada, que en el control. Sin embargo estas diferencias no se mantienen en el peso seco radical alcanzado en el mes de octubre. Estos datos corroboran la desproporción entre el sistema aéreo y radical en los tratamientos con parte del tallo enterrado.

Si estudiamos la relación entre el peso seco aéreo y el del peso seco radical vemos que, en los tratamientos con parte de sus sistema aéreo enterrado, la producción de biomasa aérea ha sido superior que la producción de biomasa radical ($\Delta PSA / \Delta PSR > 1$).

En el ANOVA de dos vías aplicado al crecimiento en invernadero teniendo en cuenta los distintos *tratamientos de riegos* respecto a los de profundidad de plantación (Tabla 6) podemos observar que existen diferencias significativas en el incremento del diámetro (ΔD_2) y en el incremento de la biomasa radical (ΔPSR).

No se observan diferencias significativas entre los distintos tratamientos de riego para la variable del crecimiento aéreo (ΔH_1 y ΔH_2) y el incremento de la biomasa aérea (ΔPSA) aunque se nota cierta mejoría en el tratamiento seco frente al húmedo.

En el incremento del diámetro ΔD_2 sí se observan diferencias significativas siendo el tratamiento seco quien alcanza los valores mayores con una diferencia de 0,25 mm frente al húmedo.

Tabla 7. Resultado del crecimiento en invernadero tras aplicar un ANOVA de dos vías respecto a los tratamientos de riego. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según el test de Scheffe ($p=0.05$). ΔH_1 (cm): incremento de la altura en el mes de marzo. ΔH_2 (cm): incremento de la altura en el mes de octubre. ΔD_2 (mm): incremento del diámetro a nivel del cuello de la raíz en el mes de octubre. ΔPSA (g): incremento de la biomasa aérea en el mes de octubre. ΔPSR (g): incremento de la biomasa radical en el mes de octubre.

Tratamiento	ΔH_1 (cm)	ΔH_2 (cm)	ΔD_2 (mm)	ΔPSA (g)	ΔPSR (g)
Seco	2,63 a	10,2 a	1,07 a	1,22 a	0,85 b
Húmedo	2,65 a	9,84 a	0,82 b	1,36 a	1,14 a

Respecto al incremento de la biomasa radical, existen diferencias significativas entre tratamientos de riegos siendo el tratamiento seco el que menos crece (25% menos) en comparación con el húmedo.

En los resultados obtenidos de aplicar el ANOVA de dos vías se observa que no existe interacción entre los tratamientos de riego y los de profundidad de plantación para las variables del crecimiento.

Según los resultados obtenidos en el invernadero, si realizamos un estudio global de las variables del crecimiento en los distintos tratamientos de profundidad de plantación se observa que, en general, se produce un incremento tanto en altura como en diámetro en todos los tratamientos. Sin embargo este crecimiento está descompensado en el tratamiento más enterrado, puesto que el incremento en altura es mucho mayor proporcionalmente que en diámetro. Estos resultados nos indican que la planta, ante la situación de estrés provocada por la disminución de su superficie productora y la baja intensidad de la radiación existente en el invernadero, realiza un mayor esfuerzo para aumentar su superficie foliar y buscar una mayor cantidad de luz, lo que se traduce en una descompensación en el sistema aéreo llegando a provocar su ahilamiento.

Por otro lado, las plantas con parte de su tallo enterrado también presentan un mayor crecimiento en la biomasa aérea en comparación con el tratamiento no enterrado. Esta diferencia no se mantiene en el caso del incremento del sistema radical, puesto que todos los tratamientos crecen por igual, lo que provoca en la planta un desequilibrio morfológico avalado por los valores obtenidos en el ratio PSA/PSR, ya que son mayores que la unidad.

En el invernadero, al ser considerablemente menor la radiación disponible para la planta, la economía de carbono podría deteriorarse más rápida e intensamente que en campo. Este posible fuerte deterioro del balance de carbono de las plantas podría desencadenar un uso masivo de los azúcares de reserva para compensar el enterramiento y devolver a la planta su equilibrio, que se vería reflejado en un crecimiento de la parte aérea fundamentalmente en comparación con la parte radical. En el campo esta situación tan extrema probablemente no haya sucedido porque el deterioro de la economía de carbono no es tan intenso, ya que la radiación solar es mayor y las temperaturas ambientales alcanzadas menores. Estos resultados coinciden con los obtenidos por VALIO (1999) en un ensayo realizado con *Trema micrantha* L. en el que se demostró que, bajo una reducción de intensidad luminosa y ante una descompensación en el sistema aéreo, el crecimiento de la parte aérea de los individuos fue mayor que el del sistema radical.

Respecto a los resultados obtenidos de aplicar el ANOVA de dos vías teniendo en cuenta el factor riego, nos llevan a pensar que las plantas crecen más en el sistema aéreo dentro del tratamiento seco debido principalmente a la disminución de la supervivencia a lo largo del tiempo dentro de los contenedores. De hecho, el aumento en el crecimiento aéreo dentro del tratamiento seco se aprecia en la medida registrada en el mes de octubre, cuando gran parte de los individuos sometidos a este tratamiento ya habían muerto, mientras que en la medida del crecimiento tomada en marzo es el tratamiento húmedo el que presenta un valor mayor del crecimiento aéreo. Al disminuir el número de individuos por contenedor, la competencia entre ellos es menor y esto se ve reflejado en una tasa de crecimiento mayor.

Por lo tanto podemos concluir que los distintos tratamientos de profundidad de plantación sólo influyen en el crecimiento aéreo de los brinzales de *Pinus halepensis* Mill. mientras que los distintos tratamientos de riego sólo influyen en el crecimiento radical.

5.2.3 Potencial Hídrico en Invernadero

Los valores obtenidos para el potencial hídrico aparecen en el ANEXO N° 12.

En los resultados obtenidos de aplicar un ANOVA de una vía, con respecto al factor tratamiento y analizando separadamente los niveles de riegos, para el potencial hídrico (Tabla 7) se observa que, salvo en el mes de septiembre, los valores absolutos obtenidos en el tratamiento seco son más negativos que los obtenidos en el húmedo.

En el mes de junio no se observan diferencias significativas entre los tratamientos de profundidad de plantación, ni en el tratamiento seco ni en el húmedo. Sin embargo en todos los casos dentro del tratamiento seco las plantas alcanzan valores del potencial que rondan en torno al punto de pérdida de turgencia de *Pinus halepensis* Mill., establecido en $-2,2$ MPa (VILLAR SALVADOR, *et al*, 1997), siendo los valores más negativos los correspondientes a las enterradas a 1/3 de su altura, mientras que en el tratamiento húmedo, es el 2/3 enterrada el que alcanza dicho mínimo para Ψ_0 .

Tabla 8. Resultados de aplicar un análisis de varianza de una vía a los datos obtenidos para el potencial hídrico en invernadero. Letras diferentes reflejan diferencias significativas ($p=0.05$) en el test de Scheffe. Ψ_0 : Potencial hídrico de madrugada. Ψ_1 : Potencial hídrico de mediodía. Unidades: MPa.

Tratamiento	Riego	MARZO		JUNIO		SEPTIEMBRE	
		Ψ_0	Ψ_1	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_0	Ψ_1
2/3 enterrada	HÚMEDO	-1,10 a	-1,38 a	-1,11 a	-1,99 a	-3,39 a	-4,41 a
1/3 enterrada	HÚMEDO	-0,99 a	-1,23 a	-0,94 a	-1,92 a	-3,59 a	-4,02 a
Control	HÚMEDO	-0,86 a	-1,20 a	-0,99 a	-2,00 a	-3,03 a	-4,25 a
2/3 enterrada	SECO	-1,32 a	-1,42 a	-2,30 a	-2,95 a	-1,27 a	-2,28 a
1/3 enterrada	SECO	-0,95 b	-1,22 a	-2,46 a	-2,99 a	-1,59 a	-2,53 a
Control	SECO	-0,89 b	-1,23 a	-2,35 a	-2,93 a	-1,36 a	-2,41 a

En el mes de marzo aparecen diferencias significativas en el potencial de madrugada dentro del tratamiento de riego seco, siendo el tratamiento más profundo el que alcanza los valores más negativos de $-1,32$ MPa frente a los $-0,89$ MPa del tratamiento no enterrado.

En el mes de septiembre se observa un cambio rotundo en los datos registrados. En este caso los valores más negativos del potencial hídrico se observan en el tratamiento húmedo mientras que los menos negativos se observan en el tratamiento seco. No se observan sin embargo diferencias significativas entre los distintos tratamientos de profundidad de plantación aunque en el tratamiento húmedo es el más profundo el que tiende a registrar los valores peores, y en el tratamiento seco es el tratamiento semiprofundo.

Del ANOVA de dos vías aplicado al potencial hídrico teniendo en cuenta los *tratamientos de profundidad* dentro de los niveles de riegos se obtiene la Tabla 8.

Tabla 9. Resultado del potencial hídrico invernadero tras aplicar un ANOVA de dos vías respecto al tratamiento de profundidad. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según el test de Scheffe ($p=0.05$). Ψ_0 : Potencial hídrico de madrugada. Ψ_1 : Potencial hídrico de mediodía. Unidades: MPa.

Tratamiento	MARZO		JUNIO		SEPTIEMBRE	
	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_0	Ψ_1
2/3 enterrada	-1,20 a	-1,40 a	-1,71 a	-2,47 a	-2,21 a	-3,22 a
1/3 enterrada	-0,97 b	-1,22 a	-1,70 a	-2,45 a	-2,48 a	-3,19 a
Control	-0,87 b	-1,22 a	-1,67 a	-2,46 a	-1,98 a	-3,23 a

En el mes de marzo se observa que existen diferencias significativas entre tratamientos en el potencial hídrico de madrugada, siendo el más profundo el que registra los valores más negativos. Esto puede ser debido a que es el tratamiento que más sufre, pues la descompensación entre la parte aérea y la radical es mayor con respecto a los demás tratamientos, y el tiempo transcurrido desde el momento de la plantación hasta el de la medida del potencial no ha sido el suficiente para que las plantas se adapten al nuevo cambio. Sin embargo estas diferencias no son muy acentuadas ya que todavía las condiciones hídricas no son muy extremas y los valores alcanzados no son muy negativos.

En junio se observa un aumento en los valores obtenidos para el potencial hídrico para todos los tratamientos en general pero ninguno de ellos destaca significativamente con respecto a los demás. En el potencial de mediodía se supera el límite establecido para esta especie en los tres tratamientos, por lo que podemos decir que el nivel de estrés al que está sometido la planta comienza a adquirir unas cierta dureza.

Sin embargo en septiembre, después del periodo estival, las condiciones a las que están sometidas las plantas son muy estresantes y esto se refleja en los valores obtenidos al medir el potencial hídrico. No hay diferencias significativas, pero el tratamiento semiprofundo es el más estresado con respecto al potencial hídrico de madrugada, alcanzando un valor de $-2,48$ MPa.

En general podemos decir que el enterramiento de las plantas a mayor o menor profundidad no mejora su estado hídrico al menos en las condiciones establecidas en este ensayo.

Dicho de otra forma, la mayor profundidad de enterramiento no ayuda a la planta a superar mejor etapas de sequía.

La tabla que resulta de aplicar un análisis de varianza de dos vías (Tabla 9) teniendo en cuenta los *tratamientos de riegos* dentro de los distintos tratamientos de profundidad de plantación es la siguiente:

Tabla 10. Resultado del potencial hídrico en invernadero tras aplicar un ANOVA de dos vías respecto al riego. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según el test de Scheffé ($p=0.05$). Ψ_0 : Potencial hídrico de madrugada. Ψ_1 : Potencial hídrico de mediodía. Unidades: MPa.

Tratamiento	MARZO		JUNIO		SEPTIEMBRE	
	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_0	Ψ_1
SECO	-1,03 a	-1,29 a	-2,37 a	-2,95 a	-1,41 b	-2,41 b
HÚMEDO	-0,98 a	-1,27 a	-1,01 b	-1,97 b	-3,36 a	-4,19 a

Como se puede observar en el mes de marzo no se existen diferencias significativas entre riegos, pues todavía no se habían dado las circunstancias hídricas estresantes para ello. Sin embargo, en el mes de junio las condiciones hídricas a las que están sometidas las plantas son más duras y este hecho se refleja en los valores obtenidos para el potencial. De hecho, existen diferencias significativas entre tratamientos, pues en el tratamiento seco se han obtenido unos valores negativos de $-2,37$ MPa frente a los $-1,01$ MPa registrados en el tratamiento húmedo para el potencial hídrico de madrugada.

En septiembre se observa un cambio en la evolución de los valores para los distintos tratamientos pues, además de existir diferencias significativas entre tratamientos de riegos, es el tratamiento húmedo el que presenta mayor estrés llegando a alcanzar en el potencial de mediodía valores de $-4,19$ MPa, es decir, 2 puntos más negativos que el mínimo valor del punto de pérdida de la turgencia para esta especie ($-2,2$ MPa). Esto puede ser debido a que el número de individuos vivos en el tratamiento húmedo es mayor que en el seco y, por lo tanto, hay mayor competencia por el agua. Además sus dimensiones también son mayores por lo que su capacidad de absorción se ve incrementada.

No hay interacción entre los tratamientos de profundidad de plantación y los de riego para la variable potencial hídrico.

En este caso los diferentes tratamientos de riego sí han ejercido una mayor influencia en el potencial hídrico registrado en las plantas, más que los tratamientos de profundidad de plantación.

Teniendo en cuenta todos los resultados obtenidos, desde el momento de la plantación hasta el momento previo al periodo estival las medias obtenidas para los distintos tratamientos en

la supervivencia fueron muy semejantes, debido probablemente a que todavía la planta no había sufrido las condiciones de estrés hídrico y temperatura alcanzados en el mes de agosto.

Sin embargo, desde el momento en que se hace notable dicho estrés producido por las altas temperaturas alcanzadas en verano y el alto nivel de evapotranspiración, se aprecia una cierta mejoría en la supervivencia del tratamiento más enterrado con respecto al resto de tratamientos. Esto puede ser debido a que, al disminuir parte de la superficie de transpiración mejoramos las condiciones hídricas de la planta y facilitamos su asentamiento. Además, la competencia que puede existir por el agua dentro de los contenedores en este tratamiento es menor, ya que están enterrados más profundamente y la alta capacidad de drenaje de la arena debía permitir que el agua llegase a las zonas más bajas antes de que los individuos plantados a niveles más superficiales la consumieran.

BRISSETTE (1989) obtuvo los mismos resultados en un ensayo realizado con *Pinus taeda* bajo condiciones semejantes a las de este ensayo donde los individuos se plantaron en arena, sustrato cuyo nivel de drenaje es muy elevado, y en invernadero, donde las condiciones de humedad y temperatura son más duras que en campo. También McGEE *et al* (1963) obtuvo resultados semejantes en un experimento realizado con *Pinus elliotti* en terrenos arenosos de Carolina en los que los tratamientos con parte del sistema aéreo enterrado favorecen la supervivencia.

Sin embargo, también hay ensayos en los que los resultados obtenidos discrepan con los de este trabajo puesto que se comprobó que la supervivencia disminuye notablemente en los tratamientos con parte del sistema aéreo enterrado en comparación con los individuos plantados al nivel del cuello de la raíz (BEYELER, 1996; BURNS, 1974; KOSHI, 1960; HUURI, 1978).

Respecto al crecimiento en invernadero, los resultados finales reflejan una cierta mejoría en los tratamientos con parte del sistema aéreo enterrado. Estos resultados coinciden con los obtenidos por SLOCUM (1951, 1956) al realizar un ensayo con *Pinus taeda* en un terreno con alta capacidad de drenaje donde el crecimiento fue mayor en las plantas sometidas a tratamiento de profundidad de plantación. Esta mejoría se mantuvo incluso cinco años después del momento de la plantación. KOSHI (1960) realizó otro ensayo de profundidad de plantación con *Pinus elliotti* y *Pinus taeda* sobre suelos arenosos y también comprobó que, aunque no existían diferencias significativas entre tratamientos, las plantas enterradas crecieron más. Por otro lado, STROTHMANN (1976) llegó a la conclusión de que en un principio, las plantas de *Pseudotsuga menziesii* sometidas a diferentes profundidades de plantación presentaban una cierta mejoría en campo en los primeros años de vida pero posteriormente no se observaron diferencias entre las superficiales y el resto.

Puesto que las condiciones a las que se vieron sometidas las plantas en el invernadero con respecto a la intensidad de la luz, la temperatura, la humedad y la competencia entre individuos eran muy especiales, los resultados obtenidos no se pueden extrapolar a la situación desarrollada en campo puesto que difícilmente se combinan todos estos condicionantes de forma espontánea en la naturaleza.