

# COMPARACION DEL APORTE HIDRICO POR CONDENSACION EN DOS TUBOS PROTECTORES DE DIFERENTE DISEÑO

Antonio D. del Campo<sup>1</sup>; Anna Aguilera<sup>1</sup>; Emilio González<sup>2</sup>; Rafael M. Navarro

<sup>1</sup> EPS. Gandía (U. Politécnica Valencia) Ctra.Nazaret-Oliva s/n 46730 Gandía (Valencia). [ancamga@dihma.upv.es](mailto:ancamga@dihma.upv.es)

<sup>2</sup> Conselleria de Territori y Habitatge. Generalitat Valenciana. c/ Gregorio Gea, 27 Valencia

<sup>3</sup> ETSIAM. (Univ. Córdoba) Dep Ingeniería Forestal. Alameda del Obispo s/n 14080 Córdoba

## Resumen

Uno de los argumentos a favor del uso de tubos protectores en repoblación es el aporte hídrico adicional a la planta como consecuencia de la condensación a primeras horas de la mañana en las paredes del tubo y posterior escurrimiento. No obstante, la efectividad de este fenómeno depende del diseño de las paredes del tubo, de las condiciones ambientales que se producen dentro y, en última instancia, de la magnitud de tal aporte hídrico a la planta. Se realizó un experimento en campo consistente en el contraste del efecto de dos tipos de tubo de distinto diseño constructivo (T1, con pared simple y capilares semicirculares y T2 con pared doble dividida por tabiques transversales) y un control sobre la temperatura, la humedad relativa, el punto de rocío y la humedad del suelo en intervalos de 20 minutos durante 54 días. Cada tratamiento se estableció con plantones de pino carrasco para estudiar su influencia en el desarrollo de estos. Los resultados obtenidos indican que el tubo de pared simple ha aportado una cantidad de agua mayor al suelo, que en valores medios es del orden del 6 %. Por el contrario la temperatura y la HR tuvieron un comportamiento muy similar entre ambos tubos, haciendo pensar que el diseño de las paredes ha sido el principal responsable de los valores obtenidos. Se discute igualmente el efecto de los tratamientos sobre el desarrollo de la planta que fue menor precisamente en el tubo con mayor aporte hídrico.

**Palabras clave:** *microclima, precipitación horizontal, establecimiento, pino carrasco,*

**MESA TEMATICA 2:** Mejora Genética Forestal, Viveros y Repoblaciones

## 1. INTRODUCCIÓN

La importancia de los daños producidos por predación de herbívoros sobre brinzales en plantaciones una vez instalada una repoblación, dio origen a que en el año 79 aparecieran en Inglaterra los tubos protectores para hacer frente a este problema. No obstante, otro de los argumentos normalmente esgrimidos a su favor para su uso en restauración forestal es la formación de un microclima favorable en su interior (OÑORO *et al.*, 2001; PAUSAS *et al.*, 2004). Éste se caracteriza por una temperatura y humedad relativa más altas, por la ausencia de aire en movimiento, una reducción de la intensidad de la luz y una mayor concentración de CO<sub>2</sub> (POTTER, 1991). Además, es común que se condensen gotas de agua en las paredes del tubo que proceden de la transpiración de la planta y de la mayor humedad relativa, que pueden convertirse en un aporte de agua suplementario.

No obstante, pese al creciente número de estudios relacionados con el efecto del tubo sobre la microclimatología y el establecimiento de la planta (BERGEZ & DRUPAZ, 1997; BERGEZ & DRUPAZ, 2000; OÑORO *et al.*, 2001; BELLOT *et al.*, 2002; OLIET *et al.*, 2003; NAVARRO *et al.*, 2005), no se ha prestado demasiada atención a la cuantificación del efecto que puede tener el protector en la condensación de la humedad atmosférica y su posterior aporte a la planta a través del escurrimiento e infiltración en el suelo, hecho muy fácil de observar en condiciones reales de repoblación. Menos aún se ha abordado el efecto que el diseño o tipo de tubo puede tener en la eficiencia de este aporte hídrico adicional, por lo que parece interesante conocer esta faceta del microclima que genera un protector de cara a interpretar la respuesta de la planta desde una óptica más completa.

Así, el objetivo del presente trabajo ha sido en primer lugar, cuantificar estos aportes hídricos y en segundo lugar, estudiar el efecto que el diseño constructivo del tubo protector puede tener sobre los mismos. Finalmente se pretende conocer en qué medida afecta este aporte hídrico al establecimiento de pino carrasco.

## 2. MATERIALES Y METODOS

El estudio se ha realizado empleando como material vegetal *Pinus halepensis* Miller, cultivado en el vivero “El Hontanar”, perteneciente a la “Conselleria de Territori y Habitatge” de la Generalitat Valenciana y

ubicado en el término municipal de Castielfabib (Valencia). Los brinzales, de 1 savia de edad en el momento de su plantación, fueron sometidos a un control de calidad rutinario, presentando valores dentro del estándar de calidad empleado en el supramediterráneo valenciano (datos no mostrados). Los tratamientos ensayados consistieron en dos tipos de tubo, uno de pared simple y capilares semicirculares (T1, en adelante) y otro con pared doble dividida por tabiques transversales (T2, en adelante) y un control o testigo (C, en adelante). Como características estructurales de los tubos, añadir la diferencia de diámetros entre ambos, de 6,5 y 10 cm en T1 y T2 respectivamente y el sistema de cierre, con solapamiento en T1. En los dos casos la altura del protector es de 60 cm y su color marrón claro a rosado.

El estudio se realizó en la provincia de Teruel, a 860 m.s.n.m en una parcela experimental llana ubicada sobre un suelo pardo calizo cuyo análisis textural lo identificó como franco arcilloso (Arena: 40%; Limo: 26%; Arcilla: 34%). La zona tiene una P media de 525 mm y pertenece a la transición entre los pisos mesomediterráneo y supramediterráneo (It: 207). La preparación del terreno consistió en un pase de arado con tractor agrícola, seguido de un ahoyado manual, tras lo cual se plantaron las plantas (13-abril-04) y se instalaron los tubos protectores (23-May-04). Se utilizaron en el estudio un total de 90 brinzales (30 por tratamiento: T1, T2 y C) dispuestos según un diseño de bloques completos al azar con tres bloques y 10 plantas por tratamiento y bloque.

Para la caracterización de la microclimatología en los tratamientos se midieron las variables de temperatura (T, °C), humedad relativa (HR, %), punto de rocío (PR, °C) y humedad del suelo (HS, %). Para ello, se instalaron 6 microestaciones meteorológicas (HOBO Micro Station. "HWS-Micro") a las que iban conectados los distintos sensores (por cada estación dos de humedad del suelo y dos de temperatura + humedad relativa) y que permitieron realizar 4 repeticiones por tratamiento y variable. Los sensores se programaron para recoger datos cada 20 minutos, durante todo el periodo que duró el estudio (54 días). Dado que los meses de verano son la época más desfavorable para el establecimiento (y por tanto la más oportuna para los objetivos del trabajo), este control microclimático se realizó entre el 4 de Agosto (día 1 de estudio) y el 26 de septiembre, momento en que se levantó el experimento (tras 73 días desde la colocación de los tubos). En el caso de los sensores de humedad del suelo, se ubicaron en la cara norte del brinjal y justo bajo la proyección del tubo protector.

Para evaluar el efecto de los tres tratamientos sobre las plantas se realizaron mediciones de crecimiento en altura, diámetro y pesos secos (foliar, aéreo y radical) al finalizar el estudio. La alta supervivencia registrada hizo que se desestimase esta variable. Para el análisis del crecimiento en diámetro y altura se recurrió a la tasa de crecimiento relativo semanal en ambos casos, calculada a partir de los datos iniciales (medidos tras la plantación) y finales de ambas variables. La medida final de crecimiento se realizó a los 162 días de la medición inicial.

Se empleó el análisis de la varianza (ANOVA) como técnica de contraste de los efectos de los tratamientos sobre la microclimatología y el crecimiento de las plantas, comprobando en cada caso el cumplimiento de los postulados que exige la prueba. En caso de violación de los mismos se transformaron las variables, aunque en algunos análisis no fue posible encontrar transformación alguna, lo que se indica en su caso. Tanto estas pruebas como el análisis estadístico descriptivo de los resultados obtenidos fue llevado a cabo mediante el programa estadístico SPSS 11.5. Las representaciones gráficas se realizaron con Microsoft Excel.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del seguimiento microclimatológico durante todo el periodo ensayado se presentan en las figuras 1 a 3. En general, se observa (sobre todo en la figura 3) que el periodo de estudio puede dividirse en dos partes correspondientes una al mes de agosto y otra a septiembre (el día 30 del estudio, coincidente con el 2 de septiembre, sería la división entre ambos periodos).

La temperatura máxima alcanzada en el interior de ambos tubos es superior a la temperatura ambiental del exterior o control (Figura1), aproximadamente en unos 10°C de media. También se puede observar como la temperatura en T1 se mantiene en casi todo momento por encima de T2, aunque las diferencias son muchos más leves que entre los tubos y el control. A partir del segundo periodo, empiezan a acontecer lluvias, que alteran este patrón, disminuyendo las diferencias con el control. Las mayores temperaturas en el interior del tubo son frecuentes en la bibliografía (KJERGREN & RUPP, 1997; BERGEZ & DUPRAZ, 2000; OLIET *et al.*, 2003). En este sentido, cabe destacar el hecho de que en el interior de los tubos se alcanzan temperaturas muy elevadas con máximas superiores a los 50°C, lo que se encuentra dentro del rango de máximas de 44-52°C considerado por FROUX *et al.* (2004) como perjudicial para *Pinus halepensis*. Esta superioridad de T1 sobre T2 se puede relacionar con el volumen de aire que encierra cada tubo, menor en T1 y por tanto con

menor inercia térmica (calentamiento más rápido). Igualmente es destacable el hecho de que las temperaturas mínimas sean inferiores en el interior de los tubos, lo que hace que la planta esté sometida a una oscilación térmica diaria mayor que si se encontrara sin protección.

En el caso de la humedad relativa (Figura 2), las máximas son superiores en el interior de los tubos, llegando a alcanzar la saturación con bastante frecuencia y sin que descendan en ningún momento del 90%. La RH mínima diaria ha mostrado menor discrepancia entre tratamientos, si bien tiende a ser ligeramente superior en el exterior, probablemente asociada a una mayor temperatura, coincidiendo con los resultados de OLIET *et al.* (2003) entre otros. Igualmente, el punto de rocío durante todo el periodo es más elevado en el interior de los tubos que en el exterior o control (datos nos mostrados), por lo que es más probable que se produzca condensación en forma de rocío, y por tanto aporte de agua para las plantas, en el interior de los tubos protectores.

En cuanto a la humedad del suelo (Figura 3), destaca su menor rango diario respecto a las demás variables (diferencias entre valores máximos y mínimos) así como la notable influencia de las primeras lluvias de septiembre en el alza de sus valores en el segundo periodo. El tratamiento T1 mostró, en la práctica totalidad del periodo estudiado, un mayor contenido volumétrico de agua en el suelo que T2 y C, que presentaron durante la primera mitad del periodo (seco), un comportamiento casi idéntico. Así, el contenido de agua del suelo en T1 no descendió nunca por debajo del 5% superando en la época de lluvia el 25%, momento en que las diferencias entre ambos tubos se agudizan. No obstante, en el periodo seco la diferencia entre T1 y los otros tratamientos es solo del orden del 2%, lo que probablemente no tenga efectos positivos sobre la planta al ser los contenidos de humedad del suelo demasiado bajos para su textura (DUCHAFOUR, 1975).

El hecho de que el T1 presente una mayor cantidad de agua en el suelo puede explicarse físicamente en base a su diseño y de acuerdo al origen del fenómeno de la condensación. Ésta puede producirse por (1) una condensación externa por contacto (o captación de precipitaciones horizontales como nieblas, basadas en el principio de Watt de la pared fría), por (2) una condensación en el interior del tubo (saturación del ambiente por evapotranspiración) y por (3) una condensación interlaminar o alveolar dentro del tubo perceptible a primeras horas de la mañana en forma de pequeñas gotas a lo largo de sus microtúbulos o alvéolos. En cualquiera de los tres casos, la cantidad de agua condensada viene definida por una superficie específica de contacto. Así, la superficie exterior es superior en T2, que habría tenido ventaja como atrapanieblas, por captación precipitaciones horizontales, pudiendo aportar una cantidad de agua extra a las plantas (ACOSTA, A 2003). No obstante, en nuestro caso, esta componente de la condensación no habría sido la más importante, tal y como revelan los datos, seguramente por la época en que se realizó el estudio. En cuanto a superficie interior, T1 presenta un mayor valor por su estructura alveolar semicilíndrica y con una canalización en los puntos donde se unen dos alvéolos que facilita la formación, aglutinamiento y escurrimiento de las gotas, con lo que se explica que sea T1, el que condense mayor cantidad de agua, medida en forma de humedad del suelo.

Para profundizar en el comportamiento de los tubos dentro de un día completo se han elaborado las figuras 4 y 5 eligiéndose 2 días al azar dentro de cada subperiodo. En el día 10 de agosto (figura 4) se observa que cuando empieza a incidir la radiación solar, la temperatura en el interior de los tubos, que permanece por debajo de la exterior, se dispara, siendo mayor en T1; mientras que en el exterior aumenta a valores mucho más bajos (del orden de 10°C menos). El día 13 de Septiembre tiene un comportamiento algo diferente pues la temperatura exterior es siempre inferior que en el interior de los tubos, donde se llegan a observar diferencias de hasta 20°C entre C y T1, en el que se alcanzan temperaturas superiores a T2. Respecto a la humedad del suelo, se aprecia que en T1 se parte de una mayor cantidad de agua en ambos días, pero lo que interesa es que el descenso neto al final de la jornada es inferior en T1 consecuencia de una mayor recarga (diferencia entre máximo y mínimo de la onda) en las horas centrales del día (piénsese en el tiempo de tránsito del frente de humedad en los 20 cm de profundidad que explora el sensor). Otro aspecto importante a destacar en estas gráficas es el intervalo de solape entre la temperatura y el punto de rocío, mucho mayor en los tubos que en C, lo que significaría condensación (de hecho, el 10 de agosto no se habría producido en el control). Entre ambos tubos observamos como el punto de rocío es superior en T2, que junto a su menor temperatura, indican que en teoría tiene mayor probabilidad de condensar agua en forma de rocío que T1, si bien este fenómeno no está reflejándose en una mayor humedad del suelo, probablemente por las diferencias de diseño entre uno y otro tubo.

Los Anova se han realizado para los valores medios globales del primer periodo (30 primeros correspondientes a la época seca), dado que mostraban mayor homogeneidad y que se trata del periodo más crítico para la planta. Igualmente, se realizaron los análisis para los dos días estudiados individualmente. En la mayoría de los análisis no fue posible encontrar transformación alguna que estabilizara la varianza, por lo

que se recurrió a la prueba de Tamhane para las comparaciones múltiples. Los resultados aparecen sintetizados en la Tabla 1. Las diferencias significativas verifican las tendencias ya apuntadas en el análisis descriptivo con C mostrando menores valores medios de temperatura, punto de rocío y humedad relativa, mientras que T1 se muestra en todos los casos como grupo individualizado con mayor valor medio de humedad del suelo. Entre los dos tubos también se desprende los mayores valores globales en humedad relativa y punto de rocío de T2, lo que puede deberse por un lado a que su temperatura no es tan elevada como en T1 y por otro a la propia transpiración de la planta (OÑORO *et al.*, 2001), dada su mayor actividad vegetativa (ver párrafo siguiente).

El crecimiento de los pinos en los distintos tratamientos se representa en las figuras 6 y 7, apareciendo diferencias significativas en el crecimiento en altura y en biomasa en sus tres variables escogidas. Así, la TCR\_H fue mayor en los tubos y en particular en T2, lo que coincide con los resultados de la mayoría de los estudios existentes (POTTER, 1991; OLIET y ARTERO, 1993; OÑORO *et al.*, 2001). El tubo estimula un mayor crecimiento en altura de las plantas en su interior gracias a su microclima ya que estas plantas buscan la luz. No obstante, el tratamiento control (C) presenta un crecimiento más equilibrado entre altura y diámetro y además un mayor incremento en biomasa, mucho más significativa desde el punto de vista ecológico (KIMMIS, 2004). Así, las menores concentraciones de CO<sub>2</sub> en el interior de los tubos por la ausencia de viento que renueve esta atmósfera (BERGEZ & DUPRAZ, 1997) tendrán un efecto sobre la producción neta de biomasa a lo que habría que unir las mayores demandas por respiración de los tejidos como consecuencia de las mayores temperaturas alcanzadas en el tubo, con lo que la fotosíntesis neta sería menor. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por OLIET *et al.* (2003), donde las plantas en tubo tienen un menor desarrollo del sistema radical, mientras que su ratio PA/PR es mayor. La excesiva esbeltez es una de las características morfológicas negativas de las plantas que crecen en los tubos protectores, como muestran los trabajos citados anteriormente.

Según los resultados obtenidos, los mayores crecimientos de T2 sobre T1 pueden estar relacionados básicamente con la temperatura y no con la humedad del suelo, que en el periodo seco habría sido insuficiente en todos los tratamientos, mientras que en el periodo húmedo sería suficiente en todos. Por el contrario, las temperaturas en el periodo húmedo han alcanzado en T1 valores más extremos con efectos seguros sobre la fotosíntesis (KIMMIS, 2004), si bien este hecho no se ha podido medir directamente.

#### 4. CONCLUSIONES

El diseño de T1 ha sido decisivo en el aporte hídrico, pues la condensación en sí ha resultado similar en ambos tubos; de hecho, las condiciones para que se de este fenómeno fueron mejores en T2: temperaturas más bajas y humedad relativa y puntos de rocío más elevados en relación a T1, que favorecen la condensación en forma de rocío. No obstante, dentro del periodo ensayado, el mayor aporte hídrico de T1 no ha sido aprovechado ventajosamente por la planta, debido a las elevadas temperaturas que se alcanzan en T1 y a la supuesta baja concentración de CO<sub>2</sub>, que lleva a pensar que la planta se encuentra en una situación de mayor estrés que en T2 o C. Así, el mantenimiento de la estructura alveolar de T1 junto a un mayor diámetro podría mejorar el funcionamiento integral del protector, si bien esto requiere comprobación a la vez que la extensión de este estudio a un año completo a fin de conocer los efectos de esta precipitación extra sobre el desarrollo de la planta en estaciones más favorables para el desarrollo como otoño o primavera.

#### Agradecimientos

Los autores de este trabajo quieren expresar su gratitud a la Consellería de Territori y Habitatge de la Generalitat Valenciana y a la empresa pública Vaersa por proveer el material necesario para el estudio y al propietario del terreno D. Santiago Aguilera, gracias a los cuales no habría sido posible la realización del trabajo.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, A. 2003. "Captación de nieblas: fundamentos, experiencias y aplicaciones en el ámbito forestal". Montes. Nº 73 pag. 59-68.

BELLOT J, DE URBINA JMO, BONET A, SANCHEZ JR. 2002. The effects of treeshelters on the growth of *Quercus coccifera* L. seedlings in a semiarid environment. Forestry 75 (1): 89-106

BERGUEZ, J.E.; DUPRAZ, C. 1997. "Transpiration rate of *Prunus avium* L. Seedlings inside an unventilated treeshelters". Forest Ecology and Management 97: 255 - 264.

BERGUEZ, J.E.; DUPRAZ, C. 2000. "Effect of ventilation on growth of *Prunus avium* L. seedlings

grown in treeshelters”. Forest Ecology and Management 104: 199-214.

DUCHAFOUR, P. 1975. Manual de Edafología. Toray-Masson, S.A, 476 p.

FROUX, F.; DUCREY, M.; EPRON, D.; DREYER, E.; 2004.”Seasonal variations and acclimation potential of the thermostability of photochemistry in four Mediterranean conifers”. Annals of Forest Science nº 61 (3) : 235-241

KIMMINS, J.P. 2004. Forest ecology: a foundation for sustainable forest management and environmental ethics in forestry. 3rd edn. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey. 596 pp.

KJELGREN, R. & RUPP, L 1997. Establishment in treeshelters I: Shelters reduce growth, water use, and hardiness, but not drought avoidance. Hortscience, 37(7): 1281-1283.

NAVARRO, R.M.; FRAGUEIRO, B.; CEACERO, C.; DEL CAMPO, A.; DE PRADO, R. (2005). Establishment of *Quercus ilex* L. subsp. *ballota* [Desf.] Samp. using different weed control strategies in Southern Spain. Ecological Engineering, En prensa.

OLIET PALÁ, J. A; ARTERO CABALLERO, F. 1993. “Estudio del desarrollo y supervivencia en zonas áridas del repoblado protegido mediante tubos protectores”. I Congreso Forestal Español. Tomo II. Pontevedra.

OLIET PALÁ, J. A; NAVARRO CERRILLO, R. M; CONTRERAS ATALAYA, O. 2003.”Evaluación de la aplicación de tubos y mejoradores en repoblaciones forestales”. Junta de Andalucía. Consejería de Medio ambiente. Manual de restauración forestal nº 2. 234 pp.

OÑORO DEL COTILLO, F; VILLAR SALVASOR, P.; DOMINGUEZ LERENA, S.; NICOLAS PERANGON, J.L.; PEÑUELAS RUBIRA, J. 2001. “Influencia de la siembra y plantación con dos tubos protectores en el desarrollo de una repoblación de *Quercus faginea* lamk. En : III Congreso forestal Español Mesa 3: 137-142

PAUSAS, J.G.; BLADÉ, C.; VALDECANTOS, A. *et al.*, 2004. Pines and oaks in the restoration of Mediterranean landscapes of Spain: New perspectives for an old practice – a review. Plant Ecology, 171: 209-220.

POTTER, M. J. 1991. “Treeshelters”. Forestry Commission. Handbook N°7. HMSO, London 48 p.

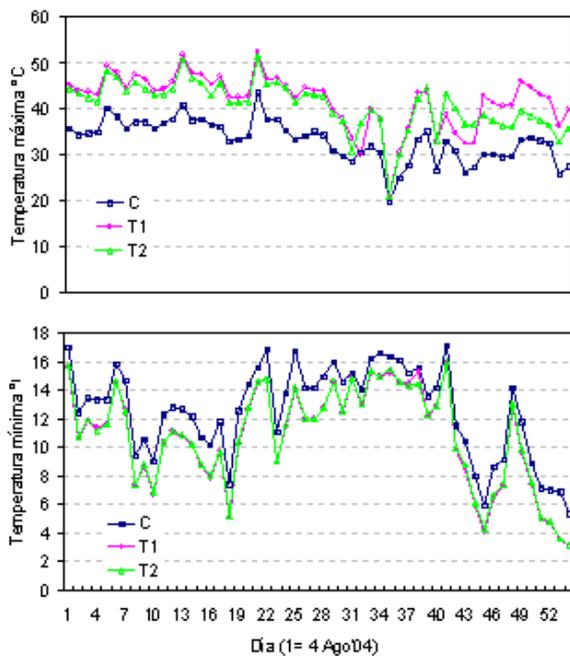


Figura 1: Evolución de la Temperatura máxima (superior) y mínima (inferior) diarias para los tres tratamientos durante los 54 días del estudio

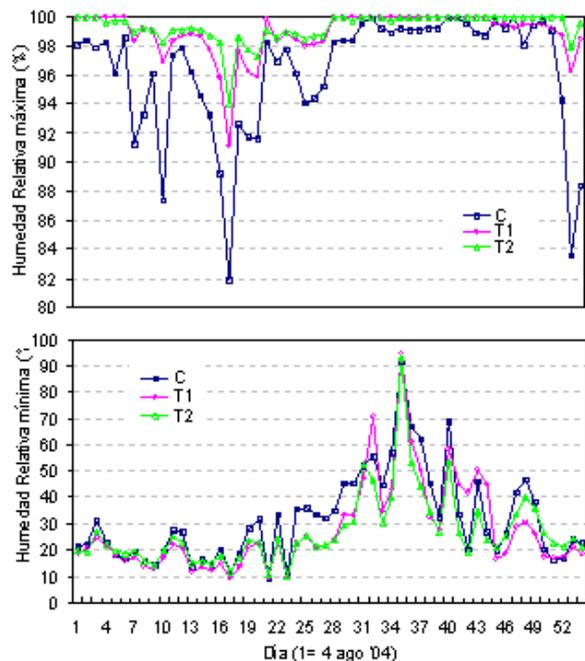
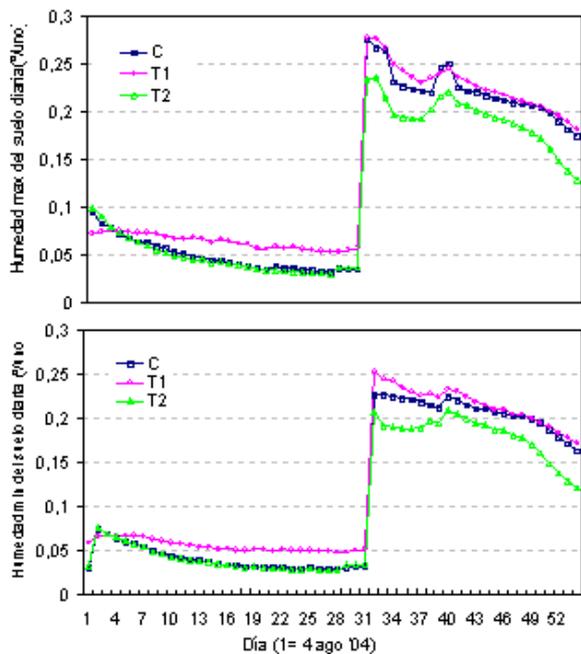
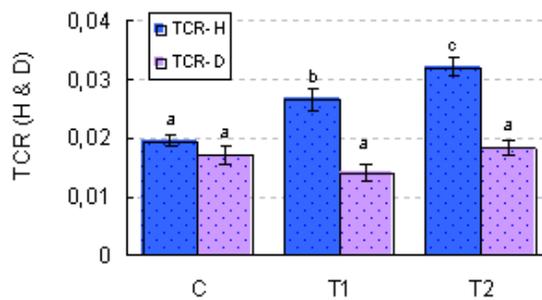


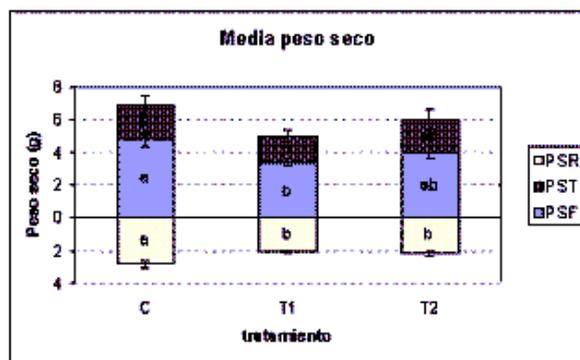
Figura 2: Evolución de la Humedad Relativa máxima (superior) y mínima (inferior) diarias para los tres tratamientos durante los 54 días del estudio



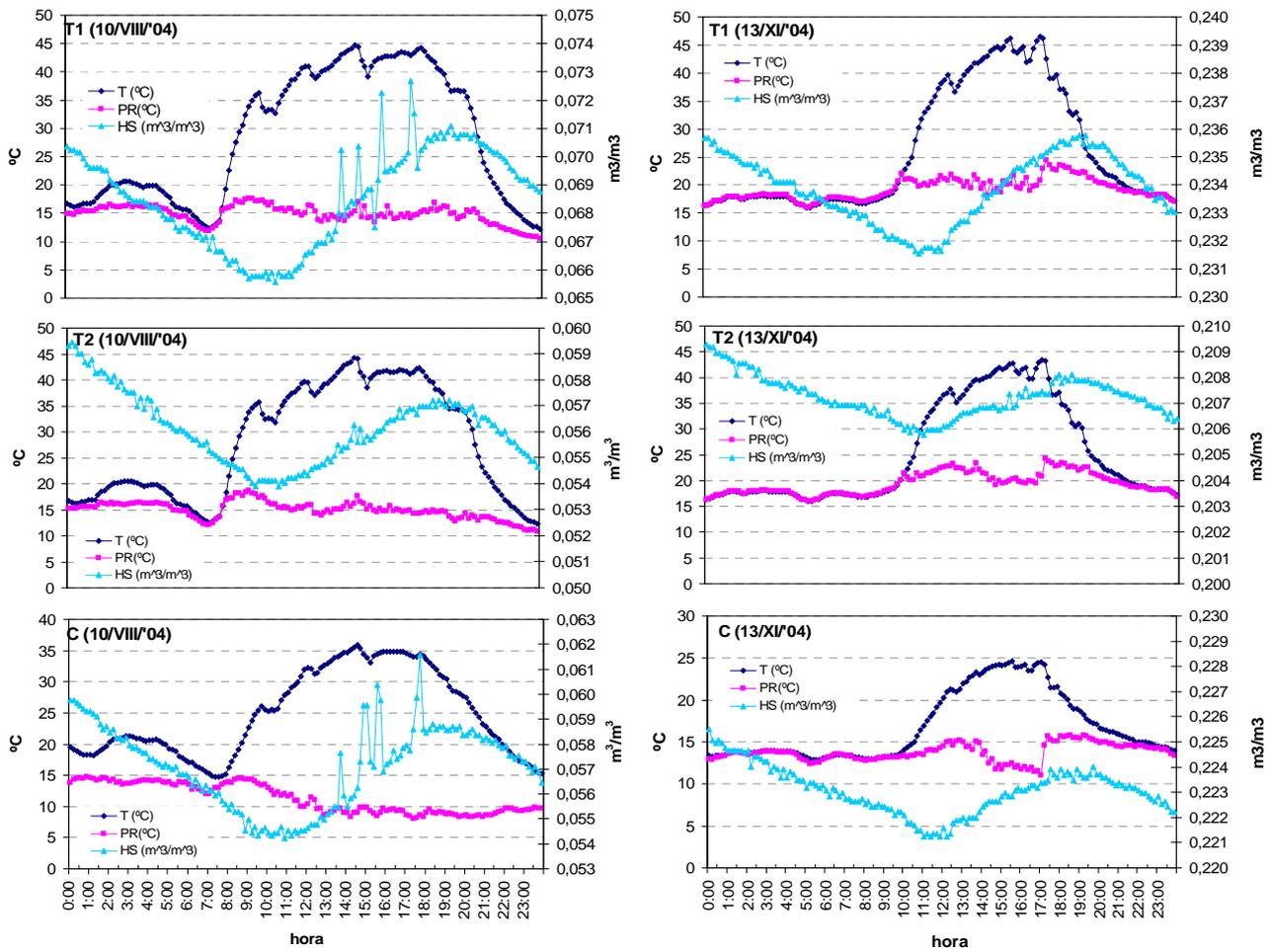
**Figura 3:** Evolución de la Humedad del Suelo máxima (superior) y mínima (inferior) diarias para los tres tratamientos durante los 54 días del estudio



**Figura 6:** Crecimiento en altura (TCR\_H) y diámetro (TCR\_D) de pino carrasco en cada tratamiento durante toda la duración del estudio. Letras diferentes en una misma variable indican diferencias significativas en el ANOVA y pertenencia a grupos diferentes según Tuckey 95%.



**Figura 7:** Valores finales de biomasa seca (raíz, tallo y follaje) de pino carrasco según tratamiento. Letras diferentes en una misma variable indican diferencias significativas en el ANOVA y pertenencia a grupos diferentes según Tuckey 95%.



**Figura 4:** Evolución de la temperatura (T), punto de rocío (PR) y humedad del suelo (HS) en los tres tratamientos para el 10 de agosto (pertenece al periodo seco).

**Figura 5:** Evolución de la temperatura (T), punto de rocío (PR) y humedad del suelo (HS) en los tres tratamientos para el 13 de septiembre (pertenece al periodo húmedo).

**Tabla 1.** Resumen de los ANOVA y del test de comparaciones múltiples realizados sobre los valores medios de las cuatro variables microclimáticas (T: temperatura, HR: Humedad Relativa, PR: punto de rocío, HS: Humedad del suelo) en distintos periodos de tiempo. (\*: F significativo al 95%; \*\*: F significativo al 99%; het: significa heterocedasticidad en el ANOVA, y comparaciones múltiples realizadas a partir de Tamhane).

Periodo		T			HR		PR			HS		
30 días secos	Signif.	** (het)			** (het)		**			** (het)		
	Subgrupos	a:C	b:T2	c:T1	a:C,T1	b:T2	a:C	b:T1	c:T2	a:C,T2	b:T1	
10-Ago-04	Signif.	** (het)			* (het)		**(het)			** (het)		
	Subgrupos	a:C	b:T2,T1		a:C,T1	b:T1,T2	a:C	b:T1,T2		a:C,T2	b:T1	
13-Sep-04	Signif.	** (het)			(het)		**(het)			** (het)		
	Subgrupos	a:C,T1	b:T1,T2		a:C,T1,T2		a:C,T1	b:T1,T2		a:C	b:T2	c:T1