

SEGUIMIENTO DE VARIABLES ECOFISIOLÓGICAS EN PLANTONES DE *PINUS HALEPENSIS* MILLER, EN UN CICLO DE SECADO. ¿PUEDE ENCONTRARSE DIFERENTE COMPORTAMIENTO EN PLANTONES PRODUCIDOS CON DIFERENTES SUBSTRATOS?

A. Saquete y M^a José Lledó

Departamento de Ecología. Campus de San Vicente del Raspeig. Universidad de Alicante. Ap. 99. 03080-ALICANTE (España). Correo electrónico: mj.lledo@ua.es.

Resumen

Se han producido plantones de *Pinus halepensis* Miller utilizando dos tipos de sustrato: uno a base de lodos de depuradora compostados con orujo de uva y otro usando turba convencional. En 240 de estos individuos, de 14 meses de edad, se realizó el seguimiento de variables ecofisiológicas durante un ciclo de secado, después de caracterizar estructuralmente ambas muestras. Los plantones producidos con lodos, respecto a los producidos con turba, presentan mayores valores (significativos estadísticamente) de altura, diámetro basal, biomasa de raíz y biomasa aérea. Pese a que la turba puede retener hasta 6,5 gramos de agua por gramo de sustrato y el lodo tan solo 1,2 gramos, no se han encontrado diferencias significativas en el potencial hídrico de los individuos con distinto sustrato de plantación, lo que indica una mejor adaptación de estos individuos a la sequía. En cuanto a la fotosíntesis (A) no se han encontrado diferencias, sin embargo la transpiración (E) y conductancia estomática (g_s) son menores en los individuos producidos con lodo, lo que indica el mejor control que ejercen los mismos sobre el cierre de los estomas.

Palabras clave: *Lodos compostados, Respuestas a sequía, Potenciales hídricos, Fotosíntesis, Fluorescencia*

INTRODUCCIÓN

Los plantones que se producen en vivero pueden manejarse, y con ello pueden conseguirse adaptaciones al medio en el que vayan a introducirse. En este sentido, BIRCHLER *et al.* (2001) han descrito mejoras tanto morfológicas como fisiológicas en individuos manejados, mientras que en FERNÁNDEZ *et al.* (2003) se ponen de manifiesto las supervivencias más elevadas en campo, cuando los plantones se han acondicionado con frío y sequía controlada en su fase de vivero.

Contra el estrés hídrico, las elevadas temperatura y radiación estival, los individuos se adaptan adquiriendo un sistema radical profundo, capacidad de regulación de la transpiración (E), esclerofilia, y orientación y pérdida de hojas. BALAGUER *et al.* (2002) han observado la capacidad de aprovechar pulsos ocasionales de recursos, mediante sustancias osmoprotectoras que les permiten tolerar la deshidratación de sus tejidos, y DÍAZ & ROLDÁN (2000) han detectado la acumulación de metabolitos en hojas y raíces para protegerse del estrés. La fotoinhibición del

aparato fotosintético es otro recurso ante el exceso de radiación y WERNER et al. (2001), han observado que incluso puede influir en ello la orientación de las hojas y la cantidad de radiación recibida.

El presente trabajo, se ha realizado con pino carrasco (*Pinus halepensis* Miller), que es una especie resistente a la sequía y a la fotoinhibición, y el tipo de manejo realizado ha sido la utilización de un sustrato de producción alternativo a la turba que posee mayor contenido de materia orgánica y nutrientes tal como se puede leer en INGELMO et al. (2002). Se presentan, los valores de mediciones ecofisiológicas en plántones de *Pinus halepensis* Miller, durante un ciclo de secado que duró catorce días.

MATERIAL Y METODOS

Se han utilizado plántones de 14 meses de edad, producidos a partir de febrero del 2003 en viveros de la Consellería de Territorio y Vivienda de la Generalitat Valenciana. El estudio se ha realizado en 120 individuos producidos en bandeja forestal con sustrato de turba, y otros tantos con sustrato de lodos de depuradora compostados con orujo de uva, siguiendo las proporciones y metodología de INGELMO et al. (2000). Estos individuos fueron elegidos al azar de un total mucho mayor que durante la fase de crecimiento, se habían mantenido en vivero con un seguimiento de riego y limpieza de malas hierbas y cambio de posición de las bandejas. El comienzo del ciclo de secado se realizó después de haber tenido los plántones 15 minutos sumergidos en agua y 12 horas drenando la sobrante.

En 10 individuos de cada sustrato se realizaron las medidas estructurales: *diámetro basal*; *altura* hasta la yema apical; *biomasa* de hojas, tallos y raíces; *porcentaje de agua en el sustrato* y siempre en los mismos cinco individuos de lodos y cinco de turba, se realizaron las medidas no destructivas:

– *Fluorescencia*, utilizando el fluorímetro PAM-2000. Se han determinado en oscuridad y tanto al alba como al mediodía, la fluorescencia basal (F_0) y la fluorescencia máxima (F_m), y, a partir de las anteriores

se han obtenido, la amplitud de la fluorescencia (F_v) y la eficiencia máxima del PS-II (F_v/F_m), es decir, la eficiencia en capturar energía por los centros activos del PS-II. A mediodía, con presencia de luz, se midieron, la producción de energía efectiva del PS-II (Φ_{PSII}), y el decrecimiento de la fluorescencia, tanto por causas fotoquímicas (q_p) como no-fotoquímicas (q_N y NPQ).

– *Intercambio gaseoso*, trabajando a radiación constante de $1600 \mu E m^{-2}.s^{-1}$ y utilizando un I.R.G.A. 6400 de la casa LICOR, del que se obtuvieron las medidas de fotosíntesis (A), conductancia estomática (g_s) y transpiración (E).

En 5 individuos nuevos por sustrato en cada medida, se ha determinado la *humedad del sustrato* y la concentración de clorofilas. Mediante Cámara de Schölander se han obtenido el *potencial hídrico al alba* (Φ_{pd}) y *al mediodía* (Φ_{md}).

Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico SPSS 11.0. Después de comprobar la normalidad de los datos y la igualdad de varianzas se procedió a realizar ANOVAs para comparar medias. En caso de no cumplirse alguno de los dos supuestos anteriores, se transformaron los datos hasta conseguir la normalidad y homocedasticidad de los mismos. En todos los casos los datos fueron tomados con independencia entre grupos. En las medidas estructurales se emplearon ANOVAs de una vía para la comparación de los datos, mientras que en las restantes variables, se realizó la comparación con ANOVAs de medidas repetidas en el tiempo. Cuando se confirmó la esfericidad de los datos se usó ese test para las pruebas intra-sujetos, mientras que cuando se rechazaba la esfericidad de los datos se usó el test de la ϵ de Greenhouse-Geisser. En las pruebas inter-sujeto en el caso de existir más de dos grupos de variables se realizaron las comparaciones múltiples entre grupos cuando existieron diferencias mediante el test de Student-Newman-Keuls que compara entre las medias utilizando la distribución del rango de Student.

RESULTADOS

Las características estructurales de los plátones de *Pinus halepensis* Miller después de un año de desarrollo en vivero, se presentan en la tabla 1. Los resultados de la ANOVA, tras comprobar la existencia de normalidad y homocedasticidad en los datos, indican una clara superioridad de los individuos producidos sobre lodo frente a los producidos sobre turba. Los valores de F que surgen de las comparaciones estadísticas se encuentran entre 8,347 y 196,14 con valores de p entre 0,010 y <0,001 mostrándonos claramente los mayores tamaños alcanzados con sustrato de lodos compostados.

La evolución de la humedad en los dos sustratos (Figura 1), muestra una clara diferencia entre sustratos, ya que el de turba pueden almacenar 6,5 gramos de agua por gramo de sustrato, mientras que el de lodos tan solo puede retener 1,2 gramos, y queda corroborado con el ANOVA realizado, que da valores de F de 4153,87, lo cual indica significación $p < 0,001$. En la misma figura 1 (Izd) se puede ver que no existen diferencias significativas entre los potenciales hídricos de los individuos con distinto sustrato de plantación.

En la figura 2 se presenta la evolución durante el ciclo de secado de fotosíntesis (A), conductancia estomática (g_s), eficiencia máxima del fotosistema II ($F_v:F_m$) en oscuridad y cantidad máxima de electrones transportados por este fotosistema (Φ_{PSII}) en iluminación para ambos tipos de plátones. No se han encontrado diferencias en los dos tratamientos en cuanto a fotosíntesis (A), sin embargo la transpiración (E) y conductancia estomática (g_s) son menores en los individuos producidos con lodo.

En la tabla 2 se reproducen los resultados del análisis foliar de dichos pinos (SAQUETE *et al.*, 2003). Por último, en la evolución de la clorofila a durante el mismo periodo, (que pese a referirse a peso fresco de hojas, permite un análisis comparativo en este trabajo, ver figura 3), se observa claramente los valores superiores que mantienen los individuos producidos con lodo.

DISCUSIÓN

El crecimiento de los pinos en el sustrato con mayor concentración de nutrientes, ha generado una mayor altura y diámetro basal que también han observado FERNÁNDEZ *et al.* (2003) y

	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Biomasa raíz (g)	Biomasa hojas (g)	Biomasa tallos (g)	Ba/Bs
Turba	12,68±0,774 ^b	2,87±0,007 ^b	1,17±0,083 ^b	1,08±0,068 ^b	0,39±0,035 ^b	1,27±0,055 ^a
Lodo	15,42±0,547 ^a	3,76±0,134 ^a	3,11±0,111 ^a	2,25±0,101 ^a	0,83±0,082 ^a	1,00±0,032 ^b

Tabla 1. Valores de las variables estructurales encontrados en los individuos producidos con turba o con lodos compostados. Las letras indican la existencia o no de igualdad estadística al nivel de significación del 0,05

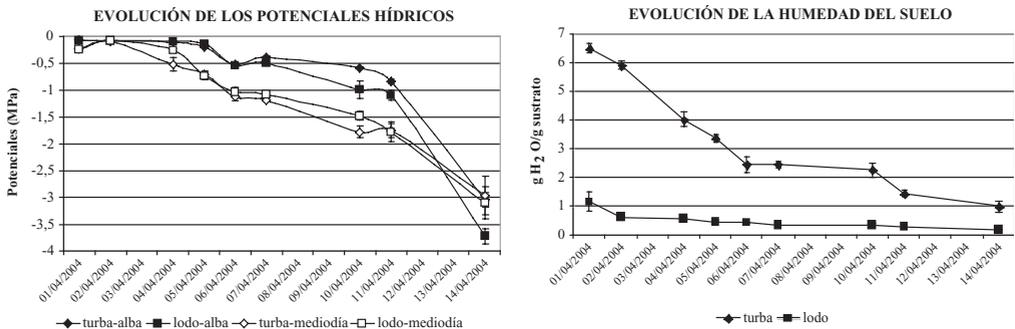


Figura 1. Izquierda: Potenciales hídricos, al alba (Φ_{pa}) (símbolos claros) y al mediódia (Φ_{md}) (símbolos oscuros) durante el ciclo de secado. Derecha: Evolución del contenido de agua (gr. H₂O/gr. sustrato) de los dos sustratos usados en el estudio. Los cuadrados representan individuos producidos con lodos compostados y los rombos individuos producidos con turba

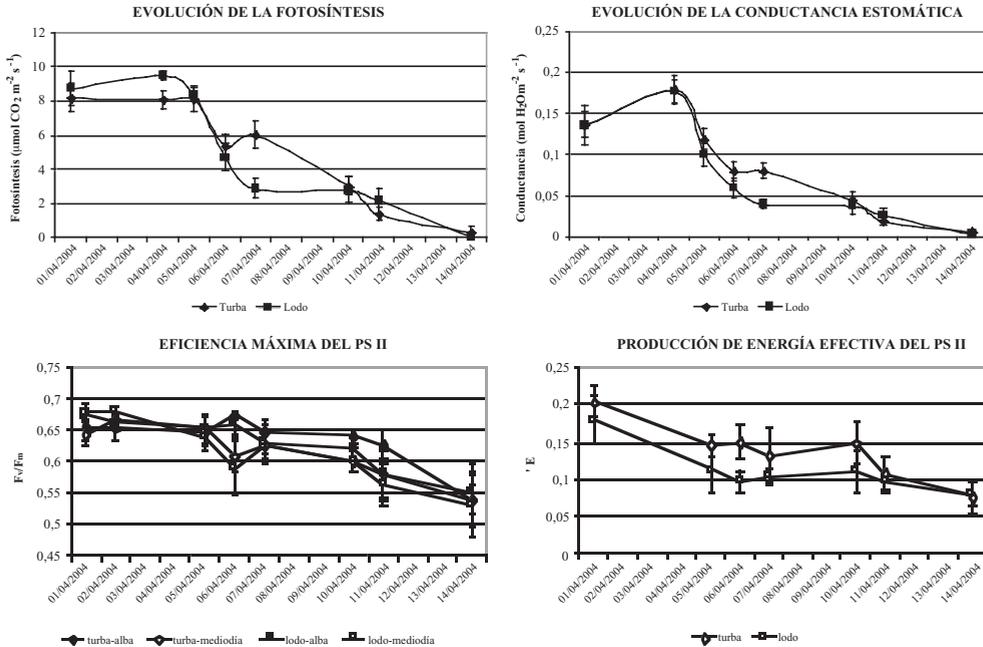


Figura 2. Fotosíntesis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), conductancia estomática (g_s) ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), eficiencia máxima del PSII ($F_v:F_m$) (unidades relativas) en oscuridad y producción de energía efectiva del PSII ($F'_v:F'_m$) (unidades relativas) en iluminación, medidos durante un ciclo de secado. Para individuos producidos con turba (rombos) y con lodos compostados (cuadrados)

LEVIZOU & MANETAS (2001), pero más especialmente en biomasa de raíz, tallo y hojas sin perder la proporcionalidad entre parte aérea y subterránea. Ello hace que los plantones de lodo tengan estructuralmente mejores posibilidades para su introducción en el campo.

Pese a la espectacular diferencia en la acumulación de agua por los dos sustratos, los potenciales hídricos (Φ) de los individuos tanto al alba como al mediodía son iguales independientemente del sustrato de producción. Incluso, al contrario de lo que es de esperar por tener más agua, los individuos producidos con turba llegan a tener valores de potencial hídrico

(Φ) algo más negativos aunque no de forma significativa, lo que está en relación al mejor estado nutricional de los individuos producidos con lodo.

Los menores valores de transpiración (E) y conductancia estomática (g_s), indican un mejor control estomático, relacionado con el estado nutricional (DOMÍNGUEZ et al., 2001), y en nuestro caso los presentan los individuos producidos con el sustrato más rico en nutrientes (los de lodo). La mejor nutrición, también influye en mayores concentraciones de clorofila en los individuos, tanto de a como de b (BIRCHLER et al., 2001 Y CARTER & KNAPP, 2001).

Análisis foliar de <i>Pinus halepensis</i> Miller según sustrato de producción						
	N	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Lodo	2,06 ^a ± 0,028	0,29 ^a ± 0,004	0,93 ^a ± 0,020	0,06 ^a ± 0,006	0,62 ^a ± 0,008	0,22 ^b ± 0,006
Turba	1,55 ^b ± 0,086	0,12 ^b ± 0,007	0,54 ^b ± 0,006	0,10 ^a ± 0,012	0,67 ^a ± 0,010	0,29 ^a ± 0,008

Tabla 2. Valores medios (en porcentaje respecto del peso seco) de los principales nutrientes en acículas de pinos (*Pinus halepensis* Miller) producidos con turba o con lodos compostados, en el momento de su salida del vivero. Las letras indican la existencia o no de igualdad estadística al nivel de significación del 0,05

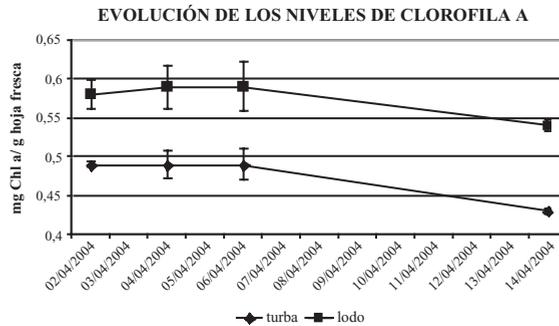


Figura 3. Evolución de la clorofila a durante el periodo de estudio con aumento del estrés hídrico, en individuos producidos con turba (rombos) y con lodos compostados (cuadrados). Todas las medias se acompañan de las barras indicativas del error típico.

CONCLUSIONES

Dado que el crecimiento y biomasa de *Pinus halepensis* producidos con lodos de depuradora compostados con orujo de uva es netamente superior al de los plantones de turba, que algunas variables ecofisiológicas medidas les da ventaja a estos plantones debido a su mayor control estomático y que el contenido de clorofilas es netamente superior; se aconseja este sustrato para realizar una prueba experimental de utilización de estos plantones en repoblaciones a escala de campo.

Agradecimientos

La realización de este trabajo ha contado con la financiación de los proyectos CTI-DIB/2002/163 y CEAM2-01 de la Generalitat Valenciana, así como por una Beca de FPI (GV). Por otra parte queremos agradecer la cesión de las instalaciones de los Viveros de Sta Faz y Guardamar del Segura, así como la colaboración desinteresada de su personal, y de forma especial al equipo del Centro de Investigaciones Forestais y Ambientais de Lourizán, que han hecho posible esta publicación.

BIBLIOGRAFÍA

BALAGUER, L.; PUGNAIRE, F.I.; MARTÍNEZ-FERRI, E.; ARMAS, C.; VALLADARES, F. & MANRIQUE, E.; 2002. Ecophysiological signi-

ficance of chlorophyll loss and reduced photochemical efficiency under extreme aridity in *Stipa tenacissima* L. *Plant Soil* 240: 343-352.

- BIRCHLER, T.M.; ROSE, R. & HAASE, D.L.; 2001. Fall fertilization with N and K: Effects on Douglas-Fir seedling quality and performance. *West. J. App. For.* 16(2): 71-79.
- CARTER, G.A. & KNAPP, A.K.; 2001. Leaf optical properties in higher plant: linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. *Am. J. Bot.* 88(4): 677-684.
- DÍAZ, E. & ROLDÁN A.; 2000. Effects of reafforestation techniques on the nutrient content, photosynthetic rate and stomatal conductance of *Pinus halepensis* seedlings under semiarid conditions. *Land Degrad. Develop.* 11: 475-486.
- DOMÍNGUEZ, S.; MURIAS, G.; HERRERO, N. Y PEÑUELAS, J.L.; 2001. Comparación del desarrollo de ocho especies mediterráneas durante su primer año en campo y su relación con los parámetros funcionales de las plantas. *En: Junta de Andalucía S.E.C.F. (eds.), Actas del III Congreso Forestal Español Sierra Nevada 2001*, II: 75-871. Coria Gráficas. Sevilla.
- FERNÁNDEZ, M.; ROYO, A.; GIL, L. & PARDOS, J.A.; 2003. Effects of temperature on growth and stress hardening development of phytotron-grown seedlings of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Miller). *Ann. For. Sci.* 60: 277-284.
- INGELMO, F.; DÁVILA, M. & CERNI, R.; 2000. Características de un compost elaborado con lodos anaerobios de depuradora como sustrato para plantón forestal. *Residuos* 56: 44-47.

- INGELMO, F.; ALBIACH, R.; ORTIZ, F.; ESCARRÉ, A. Y LLEDÓ, M.J.; 2002. Producción de planta forestal con un sustrato derivado de lodos de depuradora: una alternativa para viveristas. *Residuos* 67: 146-152.
- LEVIZOU, E. & MANETAS, Y.; 2001. Combined effects of enhanced UV-B radiation and additional nutrients on growth of two Mediterranean plant species. *Plant Ecol.* 154(1-2): 181-186.
- SAQUETE, A.; LLEDÓ, M.J. & ESCARRÉ, A.; 2003. Estudio de la viabilidad de forestaciones en clima semiárido. *Actas del XII Congreso Forestal Mundial*, Québec (Canada).
- WERNER, C.; RYEL, R.J.; CORREIA, O. & BEYSLAG, W.; 2001. Structural and functional variability within the canopy and its relevance for carbon gain and stress avoidance. *Acta Oecol.* 22: 129-138.