

LA ECOFISIOLOGÍA COMO HERRAMIENTA FORESTAL. APLICACIÓN AL CULTIVO TRADICIONAL Y ALTERNATIVO DE PINO CANARIO TRAS 20 MESES DE PLANTACIÓN

Vanesa C. Luis Díaz*, A.M. González-Rodríguez, M^a Soledad Jiménez Parrondo y Domingo Morales Méndez

Departamento de Biología Vegetal (Fisiología Vegetal), Facultad de Farmacia, Universidad de La Laguna. Avda. Astrofísico Francisco Sánchez s/n. 38207-LA LAGUNA (Tenerife, España). Correo electrónico: vcluis@ull.es.

Resumen

Esta comunicación se engloba dentro de los trabajos realizados en calidad de planta de pino canario en zona seca en la isla de Tenerife. Tras constatar previamente que plantas con mayor calidad morfológica a la salida de vivero (LUIS *et al.*, 2004) mayor altura, diámetro, vigor, etc. tenían mayores tasas de supervivencia y crecimiento en campo (LUIS *et al.*, 2005), se realizaron una serie de medidas fisiológicas para demostrar que éstas presentaron además mayor calidad fisiológica, aportándoles la combinación de ambas una ventaja a la hora de soportar los periodos de sequía estivales, causa principal de la mortalidad de esta especie durante los primeros años de plantación en el sur de Tenerife. Transcurridos 20 meses de la plantación, se pudo observar en diferentes días de medida, que las plantas cultivadas de forma alternativa (en sustratos artificiales y fertilizados) tuvieron mayores tasas de fotosíntesis máximas de mediodía así como mayores rendimientos fotosintéticos y transporte electrónico que las cultivadas de manera tradicional (utilizando sustratos naturales sin fertilizar). La misma conducta se observó con relación al estado hídrico de las plantas presentando las cultivadas de forma tradicional potenciales hídricos a mediodía más negativos que las otras. En cuanto a contenido en nitrógeno se refiere, se observó que la plantación se ha homogeneizado presentando ambos tipos de plantas similares concentraciones de nitrógeno total.

Palabras Clave: *Calidad de planta, Intercambio gaseoso, Fluorescencia de la clorofila, Pinus canariensis, Potencial hídrico*

INTRODUCCIÓN

En el campo las plántulas están a menudo expuestas a numerosos estreses ambientales (YORDANOV *et al.*, 2000), siendo el estrés hídrico (BURDETT, 1990) uno de los que más afectan a la supervivencia de las plantas. En los últimos años se han utilizado parámetros de intercambio gaseoso (MONTAGUE *et al.*, 2000) y de fluores-

cencia de la clorofila (LITCHTENTHALER & BABANI, 2000) para determinar el éxito de transplante aunque son escasas las investigaciones acerca de los parámetros de establecimiento forestal bajo condiciones de escasa disponibilidad hídrica (BERNIER 1993, MONTAGUE *et al.*, 2000). Asimismo el conocimiento de la fotosíntesis permite, entre otras cosas, predecir los efectos de cambios medioambientales sobre la

composición y productividad de las comunidades vegetales (MEDRANO Y FLEXAS, 2000). Además el análisis de la fluorescencia de la clorofila es una herramienta muy útil debido a su alta capacidad de ofrecer respuestas dinámicas y complejas frente a situaciones de estrés (SCHREIBER & BILGER, 1993).

La calidad de planta de pino canario se ha estado evaluando en Tenerife desde diferentes puntos de vista: estudios de procedencias (CLIMENT *et al.*, 2002), cultivo en vivero (LUIS *et al.*, 2004), crecimiento y supervivencia en campo (LUIS *et al.*, 2003) pero hasta ahora ningún estudio ha evaluado en campo la respuesta fisiológica de plantas de diferentes tipos de cultivo a las condiciones ambientales durante la sequía estival. Partiendo de la base de que los problemas de repoblación existentes en el sur de la isla se debían a la falta de agua en el suelo durante la sequía estival, se realizaron medidas de potencial hídrico, intercambio gaseoso y fluorescencia de la clorofila con el fin de determinar mediante herramientas ecofisiológicas qué tipo de cultivo, si el tradicional o uno alternativo, responde mejor frente a las condiciones ambientales del verano en el sur de la isla de Tenerife.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para las plantas cultivadas de manera tradicional (**TR**) se usó una mezcla de tierra de monte y picón (material de origen volcánico) sin fertilizar en una proporción 1:1, por ser este el sustrato que se ha venido empleando en la producción de pino en la isla de Tenerife. Para las plantas cultivadas de manera alternativa (**AL**) se usó una mezcla de turba y perlita en proporción de 3:1 fertilizada con 4 g/l de fertilizante de liberación lenta (Osmocote, N:P:K 16/8/12) ya que en estudios previos resultó ser el sustrato que aportó mayor calidad a las plántulas, (LUIS *et al.*, 2004). En ambos casos la planta (Procedencia

FS/27/01/38004) se produjo en bandejas termoconformadas de 400 cc (ForestPot®). Tras 9 meses de cultivo en vivero ("Centro Ambiental La Tahonilla Baja" en La Laguna, Tenerife) se realizó la plantación en una zona seca (300 mm anuales) de la isla de Tenerife (Coordenadas U.T.M 353413/3126727, y altitud 1535 m.s.m) donde existen problemas de supervivencia de las plantas, debido en principio, a la sequía estival tras el primer año de plantación. Durante los días 22/4/04, 29/6/04 y 3/08/04 se realizaron medidas a mediodía de los siguientes parámetros: Potencial hídrico mediante una cámara de presión (PMS Instrument Company, Corvallis, Oregon, USA); Fotosíntesis máxima de mediodía (A) y conductancia estomática (Gs) con un IRGA (ADC. Ltd. Hoddeson, Herts, U.K, LCA4); Rendimiento cuántico del fotosistema II (Φ_{PSII}), tasa de transporte electrónico (ETR), "quenching" fotoquímico (qP) y exceso relativo de densidad de flujo fotónico fotosintético (rePPFD) con un Mini-PAM (Pulse Amplitude Modulation, Waltz, Effeltrich, Germany) y la eficiencia fotoquímica potencial del PSII (Fv/Fm) con un Handy-Pea (Plant Efficiency Analyser, Hansatech, U.K). Los análisis de nitrógeno foliar, se llevaron a cabo siguiendo el método Kjeldahl. Para las medidas se eligieron al azar cinco plantas de cada tipo de cultivo y las medidas se realizaron en acículas verdaderas. Los análisis estadísticos se llevaron a cabo mediante análisis de la varianza (ANOVA) y contrastes a posteriori tipo Tukey-b ($\alpha=0.05$) con el paquete S.P.S.S (v.11.5 SPSS Inc., Chicago, IL, U.S.A).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis de nitrógeno foliar mostraron que las diferencias encontradas a la salida de vivero en las plantas se han diluido a lo largo del tiempo mostrando ambos tratamientos porcentajes de 1,2

	Temperatura	DPV	PPFD
Abril	28,1	3,65	2000
Junio	38,6	5,54	1990
Agosto	33,1	3,26	2050

Tabla 1. Valores medios a mediodía de Temperatura (°C); Déficit de Presión de Vapor (DPV, Kpa) y Densidad de flujo fotónico fotosintético (PPFD, $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) de los días de medida

$\pm 0,12 \%$ que concuerdan con los obtenidos por TAUSZ *et al.* (2004) para pino canario en campo.

Las condiciones ambientales a lo largo del periodo de estudio mostraron diferencias en los días de medida (Tabla 1). Así en Abril y Agosto las condiciones fueron más suaves con temperaturas medias a mediodía próximas a 30°C y déficit de presión de vapor (DPV) alrededor de 3 KPa. En Junio sin embargo, las condiciones ambientales fueron mucho más extremas alcanzando una temperatura media de 39°C y DPV de 5,5 KPa. En todos los días de medida los valores de densidad de flujo fotónico fotosintético (PPFD) al mediodía estuvieron próximos a $2000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, por lo que en ningún momento existió una limitación luminosa.

La figura 1 muestra el potencial hídrico medido a mediodía en las plantas de los tipos de cultivo. Tal y como se puede observar los potenciales hídricos de las plantas no bajaron de $-1,2$ MPa a

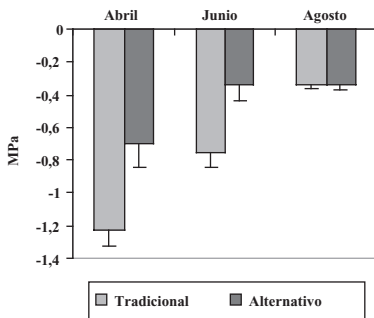


Figura 1. Potencial hídrico de mediodía (MPa) de las acículas verdaderas de los dos tipos de cultivo durante el periodo de estudio. Las columnas representan valores medios y las barras los errores estándar

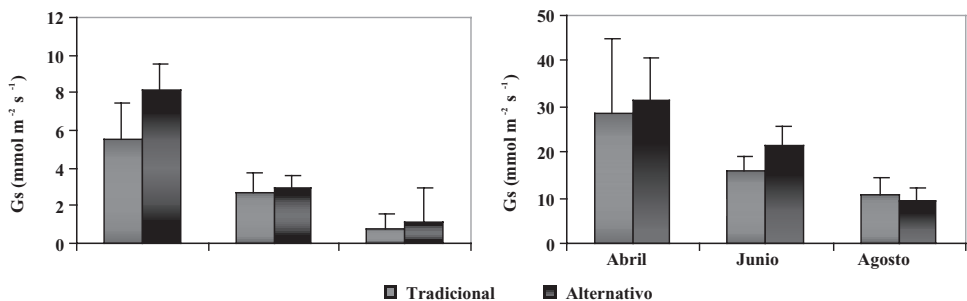


Figura 2. Valores de fotosíntesis máxima de mediodía (A, $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) y conductancia estomática de mediodía (Gs, $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) de las acículas verdaderas de los dos tipos de cultivo durante el periodo de estudio. Las columnas representan valores medios y las barras los errores estándar

lo largo del periodo de estudio, lo que demuestra que las plantas presentaron un buen estado hídrico en todo momento. Sin embargo, se dieron diferencias significativas entre los dos tipos de cultivos durante las dos primeras medidas encontrándose en mejor estado hídrico, en ambos casos, las AL. Esto nos hace pensar que la influencia de las nubes en la zona de estudio es lo suficientemente alta como para mantener las condiciones hídricas de las plantas en estado óptimo, al contrario de lo que cabría esperar en esta época del año ya que no se registró precipitación alguna en la zona de estudio desde Marzo de 2004.

Los parámetros de intercambio gaseoso presentaron diferencias significativas a lo largo del periodo de estudio (Figura 2). Las tasas fotosintéticas (A) disminuyeron progresivamente, pasando de valores máximos de $8 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en Abril, a valores inferiores a $2 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en Agosto, sin embargo no se observaron diferencias significativas entre los métodos de cultivo. Similares tendencias se observaron en los valores de conductancia estomática (Gs), disminuyendo dicho parámetro a lo largo del periodo. La disminución observada en Junio se debe principalmente a las condiciones ambientales (alta temperatura y DPV), lo cual se corresponde con la disminución de los diferentes parámetros de fluorescencia de la clorofila medidos (Figura 3). Sin embargo en Agosto, con condiciones ambientales más suaves y potenciales hídricos próximos a 0 MPa, los valores de A fueron todavía aún más bajos. Esta disminución de A puede ser debida a la edad de las acículas ya que medidas realizadas en las acículas del año en curso en las mismas plantas (datos no mostrados) presen-

taron valores más altos para los mismos parámetros, concordantes con las condiciones ambientales. Diferencias en A y Gs dependiendo de la edad de las acículas han sido descritas también para el pino canario (PETERS, 2003).

En la figura 3 se representan los valores al mediodía del rendimiento cuántico del fotosistema II (Φ_{PSII}), "quenching" fotoquímico (qP), exceso relativo de densidad de flujo fotónico fotosintético (rePPFD) y de la tasa de transporte electrónico (ETR) en las acículas de los dos tipos de cultivo. Los valores de Φ_{PSII} y qP siguieron tendencias paralelas entre sí e inversas a rePPFD, disminuyendo aquellos al aumentar ésta, y viceversa; de acuerdo con esto, los valores de Φ_{PSII} más bajos se alcanzaron en Junio, encontrándose diferencias significativas en los dos métodos de cultivo. Así las plantas TR alcanzaron los valores medios más bajos, con un mínimo de 0,1. El comportamiento de qP fue idéntico al de Φ_{PSII} , llegando a un mínimo en Junio, siendo nuevamente las plantas TR las que alcanzaron los valores más bajos. Una ten-

dencia paralela fue observada en los valores de ETR. En Abril próximos a 180, sin diferencias en el método de cultivo, alcanzándose los valores más bajos en el mes de Junio. Sin embargo, en Junio y Agosto se observó una diferencia significativa en dicho parámetro, alcanzando las plantas TR valores significativamente más bajos que AL.

En la figura 4 se representa los valores de la eficiencia fotoquímica potencial del PSII medida a mediodía bajo condiciones de campo (Fv/Fm_{actual}) y después de 24 horas a saturación acuosa y oscuridad en el laboratorio ($Fv/Fm_{recuperación}$). Los valores de Fv/Fm_{actual} mostraron la misma tendencia que la que observamos en los parámetros de intercambio gaseoso, disminuyendo a lo largo del periodo de estudio. Así, exceptuando el mes de Abril en donde los valores estuvieron por encima de 0,75 para ambos métodos de cultivo, en los otros días de medida los valores estuvieron por debajo de este valor siendo la disminución mucho mayor en las plantas TR. Sin embargo los valores de $Fv/Fm_{recuperación}$ estuvieron dentro de los lími-

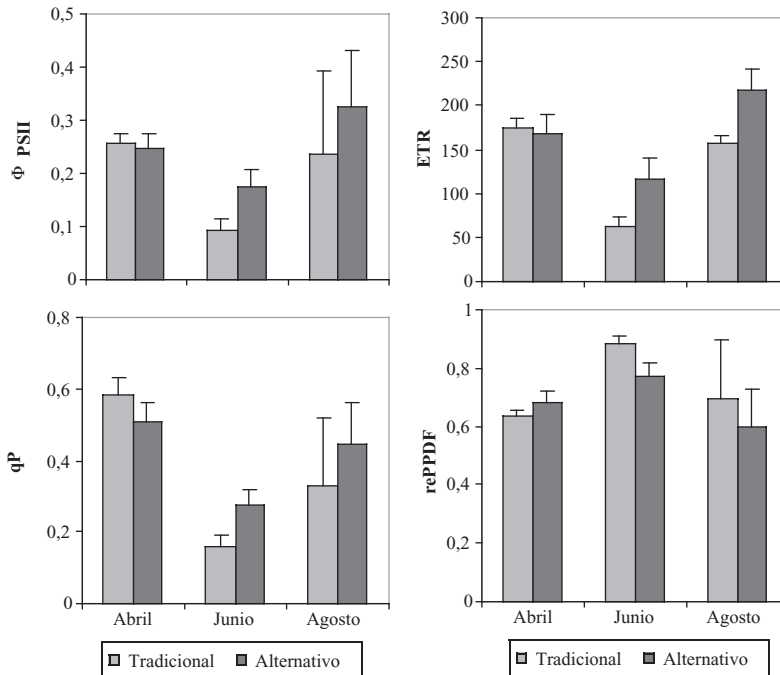


Figura 3. Rendimiento cuántico del fotosistema II (Φ_{PSII}), tasa de transporte electrónico (ETR); "quenching" fotoquímico (qP) y exceso relativo de densidad de flujo fotónico fotosintético (rePPFD) de las acículas verdaderas de los dos tipos de cultivo durante el periodo de estudio

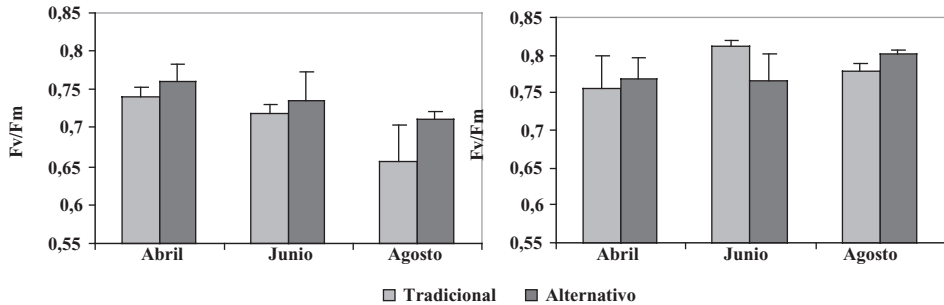


Figura 4. Eficiencia fotoquímica potencial del PSII (F_v/F_m) medida a mediodía bajo condiciones de campo (izquierda) y después de 24 horas a saturación acuosa y oscuridad en el laboratorio actual (derecha) de las acículas verdaderas de los dos tipos de cultivo durante el periodo de estudio. Las columnas representan valores medios y las barras los errores estándar.

tes óptimos descritos en la literatura (BOLHAR-NORDENKAMPF & ÖQUIST 1993), esto es, entre 0,75 y 0,85 en todos los días de medida.

Los descensos en Φ_{PSII} , qP y ETR son síntomas de fotoinhibición de la fotosíntesis (KRAUSE *et al.*, 1995; MUNNÉ-BOSCH, 1999); esto a su vez, fue apoyado por la disminución del parámetro F_v/F_m actual que refleja la disminución de la eficiencia con que los centros de reacción abiertos capturan la energía. No obstante la completa recuperación de éste último parámetro tras 24 horas a saturación acuosa indica que el exceso de luz no produjo daños permanentes en el aparato fotosintético.

CONCLUSIONES

Las plantas cultivadas en vivero de manera alternativa respondieron mejor a las condiciones ambientales más estresantes, presentando en este caso diferencias significativas entre tratamientos en los parámetros estudiados. Al contrario de lo que cabría esperar para esta época del año, las plantas se encontraron en buen estado hídrico en todo momento, aunque presentaron mejor estado aquellas cultivadas de manera alternativa. Esto nos hace suponer que el problema que se pensaba para esa zona no es la sequía estival sino posiblemente un efecto combinado de ésta con las altas temperaturas y radiaciones que se dan en la zona durante el verano. Aunque la tendencia fue una ventaja de las plantas AL sobre las TR, en ninguno de los casos se produjeron daños permanentes en el aparato fotosintético de ambos lotes de plantas durante los días de medida.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro agradecimiento a la Consejería de Medio Ambiente del Excmo. Cabildo Insular de Tenerife por la subvención del proyecto que ha hecho posible este trabajo y a todos aquellos que con sus comentarios han contribuido a la mejora del mismo.

BIBLIOGRAFÍA

- BERNIER, P.Y.; 1993. Comparing natural and planted black spruce seedlings. I. Water relations and growth. *Can. J. For. Res.* 20: 1192-1119.
- BOLHAR-NORDENKAMPF, H.R. & ÖQUIST, G.; 1993. Chlorophyll fluorescence as a tool in photosynthesis research. In: D.O. Hall, J.M.O. Scurlock, H.R. Bolhâr-Nordenkampf, R.C. Leegood & S.P Long, (eds), *Photosynthesis and production in a changing environment: a field laboratory manual*: 193-206. Chapman & Hall. London.
- BURDETT, A.N.; 1990. Physiological processes in plantation establishment and development of specifications for forest planting stock. *Can. J. For. Res.* 20:415-427.
- CLIMENT, J.M.; GIL, L.; PÉREZ, E Y PARDOS, J.A.; 2002. Efecto de la procedencia en la supervivencia de plantas de *Pinus canariensis* Sm. en medio árido. *Inv. Agr., Sist. Rec. For.* 11 (1).
- KRAUSE, G.H.; VIRGO, A. & WINTER, K.; 1995. High susceptibility to photoinhibition of young leaves of tropical forest trees. *Planta* 197: 538-591.

- LITCHTENTHALER, H.K. & BABANI, F.; 2000. Detection of photosynthetic activity and water stress by imaging the red chlorophyll fluorescence. *Plant Physiol. Biochem.* 38: 889-895.
- LUIS, V.C.; CLIMENT, J.; PETERS, J.; PÉREZ, E.; PUÉRTOLAS, J.; MORALES, D.; JIMÉNEZ, M.S. Y GIL, L.; 2004. Evaluación de la calidad de plántulas de *Pinus canariensis* cultivadas con diferentes métodos en la supervivencia y crecimiento en campo. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 17: 63-69.
- LUIS, V.C.; PETERS, J.; GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, A.M.; JIMÉNEZ, M.S. & MORALES, D.; 2004. Testing Nursery Plant Quality of Canary Island Pine Seedlings grown under Different Cultivation Methods. *Phyton* 44 (En prensa).
- MEDRANO, H. Y FLEXAS, J.; 2000. Fijación del dióxido de carbono y biosíntesis de fotoasimilados. En: J. Azcón-Bieto y M. Talón (eds.), *Fundamentos de Fisiología Vegetal*: 173-185. McGraw-Hill Interamericana.
- MONTAGUE, T.; KJELGREN, R. & RUPP, L.; 2000. Gas exchange and growth of two transplanted, field-grown tree species in an arid climate. *HortScience* 35 (4): 763-768.
- MUNNÉ-BOSCH, S.; 1999. *Antioxidative function of tocopherols, carotenoids and abietane diterpenes against stress in Mediterranean plants*. Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona. Barcelona
- PETERS, J.; 2003. *Ecofisiología del pino canario*. Tesis Doctoral. Servicio de Publicaciones Universidad de la Laguna. La Laguna.
- SCHREIBER, U. & BILGUER, W.; 1993. Progress in chlorophyll fluorescence research: Major developments during the past years in retrospect. *Progress in Botany* 54: 150-175.
- TAUSZ, M.; TRUMMER, W.; WONISCH, A.; GOESSLER, W.; GRILL, D.; JIMÉNEZ, M.S. & MORALES, D.; 2004. A survey of foliar mineral nutrient concentrations of *Pinus canariensis* at field plots in Tenerife. *Forest Ecol. Manag.* 189: 49-55.
- YORDANOV, I.; VELIKOVA, V. & TSONEV, T.; 2000. Plant response to drought, acclimation and stress tolerance. *Photosynthetica* 38 (1):171-186.