

ADAPTACIÓN A LA SEQUÍA Y NECESIDADES HÍDRICAS DE *EUCALYPTUS GLOBULUS* LABILL. EN HUELVA

Manuel Fernández¹, Raúl Tapias¹, Patricia Alesso²

¹Universidad de Huelva. Departamento de Ciencias Agroforestales. Escuela Politécnica Superior.
21819, Palos de la Frontera, Huelva, Spain.

²Universidad de Huelva. CIDEU. Edificio de la Biblioteca Universitaria. Campus de El Carmen,
21071, Huelva, Spain.

e-mail: manuel.fernandez@dcaf.uhu.es

Boletín del CIDEU 8-9: 31-41 (2010)

ISSN 1885-5237

Resumen

Eucalyptus globulus Labill. es una especie ampliamente utilizada en plantaciones para producción de madera. Está adaptada a vivir sobre suelos pobres y bajo clima mediterráneo pero suave y con influencia oceánica. Soporta cierto grado de estrés hídrico pero le van mal temperaturas extremas que sobrepasen 40 °C ó -5 °C. Su cultivo en la provincia de Huelva está seriamente limitado por la frugalidad de los suelos y la sequía estival, así como por el ataque de plagas, especialmente virulentas en situaciones de estrés hídrico como en el caso de *Phoracantha* spp. En este trabajo se muestra una recopilación de varias experiencias, llevadas a cabo en vivero y en parcelas de campo, sobre la reacción de los clones al estrés hídrico y sus necesidades de consumo de agua. Al igual que para otros tipos de estreses biótico o abióticos, la especie manifestó variabilidad genética (a nivel clonal) en su grado de resistencia al estrés hídrico, lo que ofrece la posibilidad de seguir desarrollando programas de selección y mejora de la especie destinada a plantaciones forestales. Dicha resistencia se implementaba al ser expuestos a situaciones de estrés hídrico, poniendo en juego mecanismos de evitación (morfología foliar, cierre estomático, vulnerabilidad a la cavitación del xilema, etc.) y de tolerancia (ajuste osmótico y elástico). No obstante el grado de variación de cada uno de los parámetros medidos difirió entre los clones, manifestando distintas estrategias entre clones, lo que puede ser utilizado a la hora de establecer el criterio de selección en función del objetivo perseguido en cada línea de mejora (resistencia al ataque por *Phoracantha* spp., producción y eficiencia en el uso del agua, resistencia a valores críticos de estrés hídrico, etc.).

Palabras clave: *Eucalyptus globulus*, relaciones hídricas, selección clonal, consumo de agua.

Summary

Drought resistance and water use of *Eucalyptus globulus* Labill. clones in Huelva (Spain) plantations.

Eucalyptus globulus is a widely used species in forest plantations for wood production. It is adapted to live on poor soils under Mediterranean climate with oceanic influence. It supports some degree of water stress but not extreme temperatures exceeding 40 °C or -5 °C. Its cultivation in the province of Huelva is seriously limited by the frugality of the soils and the summer drought, and it is attacked by pests such as *Phoracantha* spp., particularly virulent under water stress conditions. In this work, we analyzed the results of several experiments, carried out in nurseries and in field plots, regarding to the response of *E. globulus* clones to water stress and its water consumption needs. As for other biotic or abiotic stresses, the species showed genetic variability (at clonal level) in their resistance to water stress, which offers the possibility to further develop and improve breeding programs. Under water stress conditions, it reacts by coming into play avoidance mechanisms (leaf morphology, stomatal closure, vulnerability to xylem cavitation, etc.) and tolerance mechanisms (osmotic and elastic adjustment). However, the degree of variation of each of the above cited parameters differed between clones, showing different strategies among them. This can be used when establishing the selection criteria in relation to the purpose of each breeding program (resistance to be attacked by *Phoracantha* spp., production and water use efficiency, resistance to threshold values of water stress, etc.)

Key words: *Eucalyptus globulus*, water relations, plant resistance, clone selection, water use, forest plantations.

Introducción

Eucalyptus globulus Labill. es una especie adaptada a vivir en suelos pobres en nutrientes (Grove *et al.* 1996), habita sin problemas en suelos francos de textura arenosa, pero también en esquistos, pizarras y margas, con preferencia de suelos originados sobre material silíceo; soporta mal el encharcamiento y la caliza no descarbonatada. Sus poblaciones naturales ocupan un rango altitudinal desde el nivel del mar hasta 450 m de altitud, con unas precipitaciones medias anuales entre 500 y 1500 mm, preferiblemente distribuidas a lo largo del año, una temperatura media anual próxima a 11 °C, máximos que llegan a 38 °C y mínimos que no descienden más allá de -5 °C, con un número escaso de días de helada al año (Pardos 2007). El rango óptimo de temperaturas medias anuales para plantaciones de *E. globulus* dado por

Battaglia *et al.* (1998) es $14 \pm 4^\circ\text{C}$ y, en cualquier caso, no puede soportar varias jornadas seguidas con temperaturas que superen 38-40 °C. Prefiere el clima oceánico, húmedo, suave y sin heladas. Es por ello que el estrés hídrico y las temperaturas bajo cero restringen la ampliación de las zonas de cultivo (Pita y Pardos 2001, Ruiz de la Torre 2006, Scarascia-Mugnozza 1989, Whitehead y Beadle 2004). En este contexto, las condiciones climáticas de la provincia de Huelva cumplen con los requisitos exigidos por la especie, encontrándose en el límite superior de temperatura y siendo la sequía estival, propia del clima mediterráneo, que ronda los 4 meses de duración, el principal factor limitante para el crecimiento de las plantaciones (figura 1).

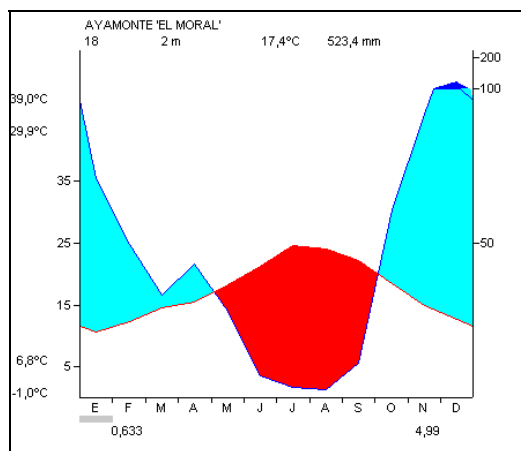


Figura 1: (izda.) Climodiagrama de una estación meteorológica próxima a la costa, en la provincia de Huelva. (dcha.) Monte claro mediterráneo al final de un período de sequía un poco más intenso de lo habitual (septiembre-09) donde aparece seco todo el matorral mientras que encinas, alcornoques, lentiscos y palmitos, con raíces más profundas, aún mantienen verde el follaje.

Reacción y aclimatación al estrés hídrico

En caso de padecer períodos de sequía, la especie es capaz de responder a éstos combinando estrategias de evitación y tolerancia del estrés hídrico. Para ello modifica caracteres morfológicos y fisiológicos como la distribución de la biomasa entre hojas, tallos y raíces, la morfología foliar, el control estomático, la elasticidad de la pared celular o el

componente osmótico del potencial hídrico celular (Snowdon 2000; Pita y Pardos 2001; Fernández 2008). En un ensayo clonal, bajo dos condiciones de cultivo (en vivero bajo malla de sombreado y en parcela de campo), se puso de manifiesto que, en condiciones de vivero, el rango de variación de la superficie foliar específica (SLA, $\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$) resultó mucho mayor que en parcela de campo (7-28 frente a 5-10 $\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$,

respectivamente). Dicho parámetro (SLA) se correlacionó significativamente con la transpiración cuticular cuando esta última se expresó en base al peso foliar (E_{cut} , $\mu\text{mol kg}^{-1} \text{s}^{-1}$), $E_{cut} = 97.29 \text{ SLA} - 338.85$ ($r^2 = 0.47$, $p < 0.05$, $n=53$), pero sin correlación significativa cuando E_{cut} se expresó en base a superficie foliar. El rango de variación interclonal de E_{cut} fue 450-3100 $\mu\text{mol kg}^{-1} \text{s}^{-1}$. Todo ello indicaría diferencias clonales en la capacidad de ahorro de agua ante una situación de cierre estomático originado por estrés hídrico y tendría utilidad para su aplicación a programas de selección y mejora de la especie (figura 2 izda.).

Asimismo, en la figura 2 (dcha.) se aprecia un ejemplo de la variación del componente osmótico celular (A_o) y del módulo de

elasticidad de la pared (ϵ_{max}) en un ensayo con plantas de vivero sometidas a un ciclo de sequía donde, igual que en el ensayo anterior, también se puso de manifiesto la variabilidad genética de la especie al manifestarse diferencias de comportamiento entre los clones. El crecimiento, expresado como superficie foliar desarrollada, se correlacionó positivamente con ϵ_{max} y con A_o , pero en mayor grado con el segundo ($r^2 = 0.80$) que con el primero ($r^2 = 0.55$). Por tanto, aún cuando A_o y ϵ_{max} influyeron en la respuesta al estrés hídrico, el rango de variación de cada clon para cada parámetro fue distinto y parece que resultó más ventajoso para los clones, a efectos de crecimiento, dar preferencia a A_o que a ϵ_{max} ante situaciones de estrés hídrico.

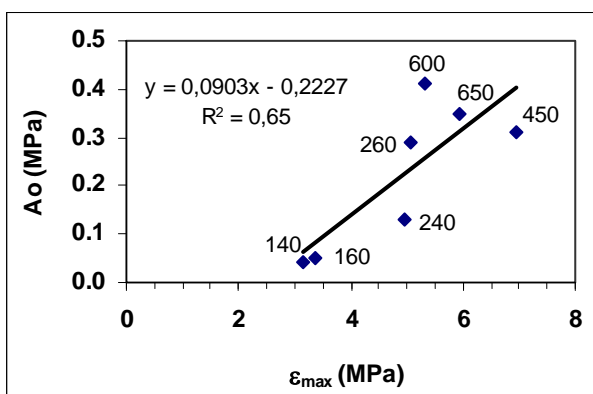


Figura 2: (izda) Línea de plantación en un ensayo clonal al final del verano de 2009, donde se observan dos clones distintos. Ningún individuo del clon más próximo superó el período de sequía estival mientras que los del clon más alejado sobrevivieron todos. (dcha.) Representación de la capacidad de ajuste osmótico (A_o) y del máximo valor del módulo de elasticidad de la pared celular (ϵ_{max}) de plantas de vivero de varios clones de *Eucalyptus globulus* sometidos a un ciclo de estrés hídrico. Los números sobre cada punto representan el valor medio por clon de la superficie foliar (cm^2) desarrollada durante el ensayo (valores obtenidos de Pita y Pardos 2001).

Respecto a las tasas de transpiración, en un ensayo de vivero con plantas de dos años de edad, se observó que para potenciales hídricos (Ψ) superiores a -20 bar, el estado hídrico no suponía un factor limitante de la conductancia estomática, y con ella la transpiración. Serían otros factores como la temperatura, la radiación luminosa o el déficit de saturación de humedad del aire los que las afectarían principalmente. Sin embargo, una vez rebasado el umbral de -

20 bar el estado hídrico se comportó como un factor limitante de la transpiración, independientemente de otros factores influyentes (figura 3, izda.). No obstante, si observamos el comportamiento particular de cada clon, advertimos que el valor límite de Ψ para el que se produce el cierre estomático y la caída brusca de la transpiración varía de un clon a otro en un rango aproximado de -12.5 a -19.0 bar. Asimismo, cuando analizamos la

vulnerabilidad del xilema de los ramillos a medida que descendía el potencial hídrico (figura 3 dcha.), también se puso de manifiesto la variabilidad de respuesta entre

clones, mostrando pérdidas de conductancia hidráulica del 50 %, por ejemplo, en un rango de -8.0 a -18.0 bar.

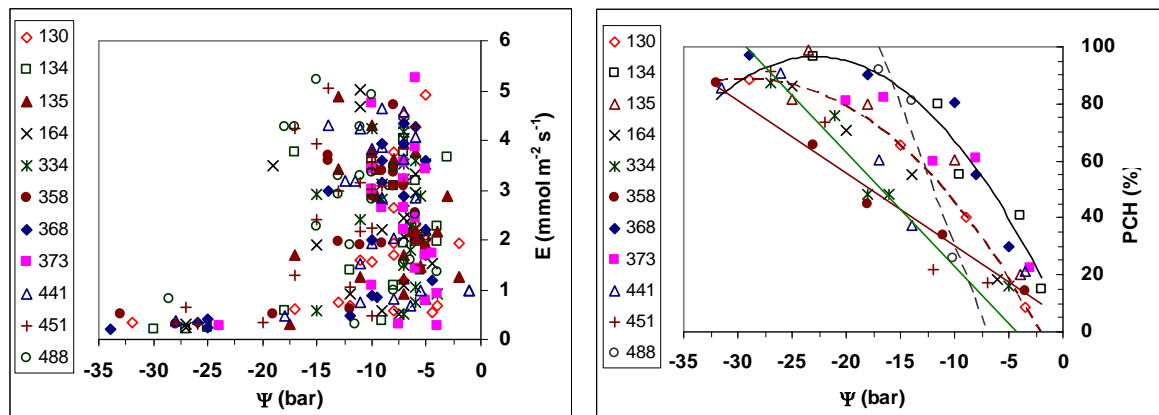


Figura 3: Relación entre el potencial hídrico foliar y la transpiración (izda.) o la pérdida de conductancia hidráulica del xilema (dcha.), medidos en once clones de *Eucalyptus globulus*, en plantas de dos años de edad (Fernández *et al.* 2010 parcialmente modificadas).

Humedad en la corteza y estado hídrico

Las plantaciones de *Eucalyptus globulus* son atacadas por *Phoracantha spp.* (Coleoptera: Cerambycidae). En España, en la provincia de Huelva, se han citado *P. semipunctata* Fab. y *P. recurva* Newman (Borrajó 2007). Los principales daños los originan las larvas de estas especies durante las épocas de sequía estival, en los árboles recién apeados o que sufren estrés hídrico, donde se alimentarán de la región cambium-floema anillando al árbol y debilitándolo, llegando a causar su muerte, por lo que estos ataques han llegado a convertirse en plaga. Algunos estudios previos revelaron la relación existente entre el inicio de la invasión de los árboles por el insecto y la ocurrencia de períodos de sequía, atribuyéndolo principalmente al contenido de humedad de la corteza de los troncos (Hanks *et al.* 1991, 1999; Caldeira *et al.* 2002), en función de su capacidad de resistencia a períodos de sequía y/o los mecanismos morfo-fisiológicos para mantener niveles altos de humedad en la corteza durante las situaciones de estrés hídrico (Fernández 2008) o de la síntesis y

acumulación de fitoalexinas (Mohammed *et al.* 2004).

Durante seis años consecutivos (2001-2006) en plantaciones de 6 a 13 años de edad de la provincia de Huelva, se estudió la evolución del estado hídrico y el nivel de humedad en la corteza del tronco de varios clones con distinto grado de ataque por *Phoracantha spp.*, este último evaluado en función de síntomas visuales en el árbol (Fernández 2008). Se prestó especial atención durante las épocas secas de cada año. El estado hídrico de los árboles, estimado a partir del potencial hídrico xilemático al amanecer, presentó variaciones significativas a lo largo del año. Las diferencias entre clones sólo se hicieron significativas en los veranos de 2003 y 2005, desde mediados de junio hasta septiembre, no en las épocas de mejor estado de hidratación. En dichas fechas el umbral crítico de Ψ al amanecer para el cual comenzaban a secarse los árboles se situó entre -2.0 y -2.5 MPa (figura 4), dependiendo del clon. El estado hídrico de los árboles, estimado en función de Ψ , se correlacionó positivamente con la humedad

edáfica (H_s) y el contenido de humedad en el floema (H_f), pero no con el contenido de humedad en la peridermis (H_p). La conductancia estomática (g_s) también se correlacionó positivamente con Ψ (tabla 1, figura 5 izda.). Sin embargo, considerando el conjunto de datos, la correlación de los síntomas visuales de daños en el tronco resultó significativa con H_p , pero no con H_f (figura 5, dcha.).

En la figura 4 podemos ver la evolución del contenido de humedad en la peridermis (H_p). Los clones con menores síntomas visuales de daños por el insecto presentaron valores de H_p en verano por encima del 48 %, mientras que los clones más afectados mostraron un valor de H_p por debajo del 45 % en las épocas más desfavorables, comprometiendo su supervivencia. De hecho algunos individuos de los clones B y F murieron durante el estudio. Por tanto, aunque el estado hídrico de la planta y su relación con el intercambio gaseoso y la humedad edáfica estuvo bien correlacionado con el contenido de humedad en el floema (H_f) fue, no obstante, el contenido de humedad en la peridermis (H_p) el factor más crítico para el ataque del

insecto, puesto que H_p es la primera barrera que encontrará éste a la hora de instalarse en el árbol. Sin embargo, también debe tenerse en cuenta H_f por su relación con el estado hídrico de la planta y por su papel de resistencia frente a las larvas del insecto si éstas logran superar la barrera de la peridermis. El rango de contenidos de humedad en corteza de 45-48 %, se correspondió en nuestro estudio con valores de Ψ entre -1.2 y -1.9 MPa, coincidente con el rango, mencionado más arriba, para el que los clones de esta especie cierran estomas disminuyendo drásticamente la conductancia estomática y la transpiración (Fernández *et al.* 2010). El umbral crítico en torno al 50 % de humedad en corteza coincide con el mostrado por otros autores (Hanks *et al.* 1999; Caldeira *et al.* 2002), aunque en esos estudios se referían a la totalidad de la corteza (floema + peridermis). La estrecha relación entre H_p y los “daños visuales” como consecuencia del ataque por las larvas del insecto hace de H_p un factor útil para su uso en programas de gestión de las plantaciones y de selección de genotipos resistentes.

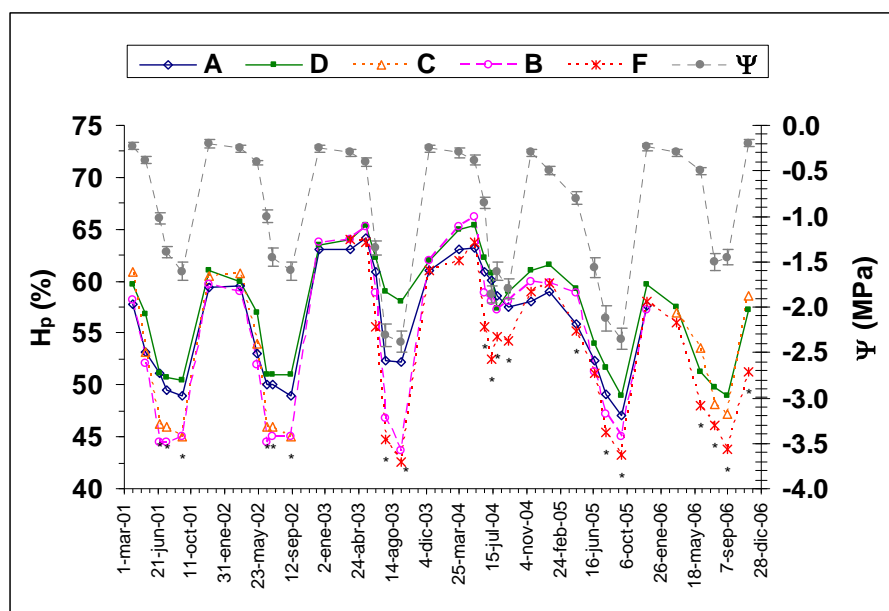


Figura 4: Valores medios por clon y fecha del porcentaje de humedad del floema respecto a peso fresco (H_p), para los clones A, B, C, D y F a lo largo de los seis años estudiados. También se muestra la evolución del potencial hídrico xilemático (Ψ), siendo cada punto el valor medio (\pm error típico) por fecha para el conjunto de clones medidos en cada fecha. Los asteriscos (*) indican diferencias significativas entre clones ($p < 0.05$) para la fecha de medición en que aparecen (Fernández 2008).

Tabla 1: Matriz de correlación lineal para algunos de los parámetros medidos durante los cinco años (n = 120). Ψ = potencial hídrico al amanecer, gs = conductancia estomática, Hs = porcentaje de humedad en suelo, H_f = porcentaje de humedad en floema, H_p = porcentaje de humedad en peridermis. n.s. = no significativo, * = $p \leq 0.05$, ** = $p \leq 0.01$, *** = $p \leq 0.001$.

	Ψ	gs	Hs	H_f	H_p
Ψ	1				
gs	0.80 **	1			
Hs	0.69 **	0.69 **	1		
H_f	0.61 *	0.66 *	0.77 **	1	
H_p	0.23 n.s.	0.03 n.s.	0.30 n.s.	0.55 n.s.	1

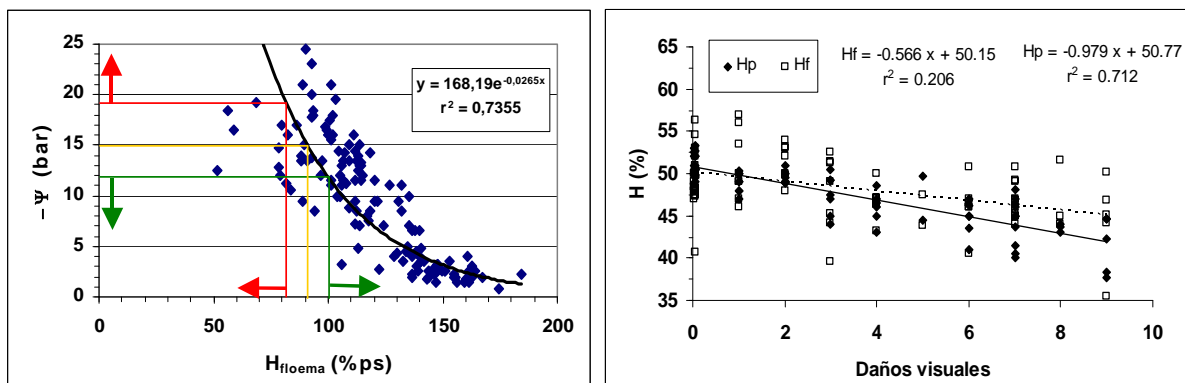


Figura 5: (izda.) Relación existente entre el contenido de humedad en floema del tronco (H_f), en este caso expresado respecto a peso seco, y el potencial hídrico xilemático de ramillos de la mitad de la copa (Ψ). El 100 y 82 % respecto a peso seco corresponden respectivamente al 50 y 45 % respecto a peso fresco. Las flechas verdes indican el rango de valores para un estado hídrico favorable, mientras que las rojas indican el rango de valores que comprometieron seriamente la supervivencia. La zona entre ambos rangos indica el intervalo de valores que causan estrés hídrico a los árboles, que cada clon soportará o no en función de su capacidad de resistencia. (dcha.) Relación entre el coeficiente de evaluación visual de daños en el tronco “Daños visuales” y el porcentaje de humedad en peridermis (H_p : rombos, línea continua) o en floema (H_f : cuadrados, línea punteada) (n = 75) (Fernández 2008).

Flujo de savia y consumo de agua

La circulación del agua a través de las plantas, desde el suelo hasta la atmósfera, dependerá entre otros factores de la demanda evaporativa del aire, de la disponibilidad de agua en el suelo y de la resistencia que ofrezca la planta a la circulación de ésta. El agua se mueve de forma espontánea a favor de gradientes negativos de potencial hídrico (figura 6), entra y circula por la planta en estado líquido, mientras que su salida al exterior tiene lugar, esencialmente, en estado gaseoso (transpiración), principalmente a través de las hojas (Salisbury y Ross 2000). Se podría decir, por tanto, que en el funcionamiento hídrico habitual de los

árboles, y de los eucaliptos en particular, éstos no succionan ni absorben el agua, sino que ésta entraría espontáneamente desde el suelo hacia las raíces, ascendería hasta la copa y saldría en forma de vapor gracias a la demanda evaporativa del aire insaturado. El grado de instauración de agua del aire (déficit en la presión de vapor) se perfila como el principal factor causante de la transpiración de las plantas (gasto de agua). No obstante, los árboles contribuirían a aumentar o reducir ese “gasto de agua” en función de la superficie foliar desarrollada, la estructura y disposición foliar, el control estomático, la estructura hidráulica del xilema o la extensión del sistema radical, entre otros.

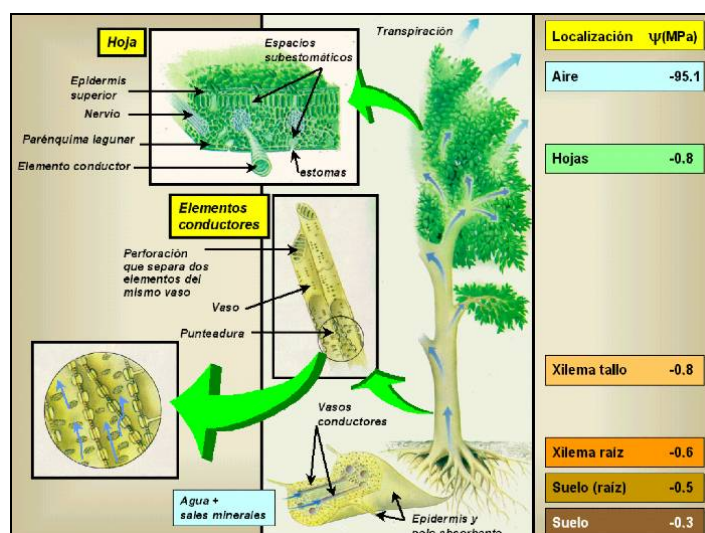


Figura 6: Gráfico esquemático del camino seguido por el agua desde su entrada en la planta por las raíces hasta su salida a la atmósfera en estado gaseoso (extraída de la página del profesor Fco. José García Breijo (UPV). Consultada on-line el 30 de septiembre de 2009: <http://www.euita.upv.es/varios/biologia/Index.htm>).

Precisar el consumo de agua diario de un árbol (agua transpirada) en condiciones de campo resulta tarea complicada. La medición no suele ser directa, sino que se obtiene un valor estimado a partir de mediciones de variables ambientales, superficie foliar, índice de área foliar, tasas de transpiración instantáneas medidas en unas pocas hojas o flujo de agua en el xilema. A efectos prácticos, dichas metodologías nos aportan estimaciones aproximadas del consumo de agua y con precisión suficiente como para comparar estaciones, condiciones ambientales o genotipos. En nuestros estudios, hemos utilizado la metodología propuesta por Granier (1985), consistente en la evaluación de la velocidad de la savia en el tronco de los árboles. Para ello se estableció una parcela en la que se midió el crecimiento diametral y la velocidad de flujo de savia en árboles de 6 años de edad, 12 cm de diámetro medio, pertenecientes a cuatro clones de *E. globulus*. Ello permitió comparar los crecimientos (producción) y el consumo de agua entre los clones estudiados, observándose, por ejemplo, que el clon O se comportó como uno de los más eficientes en el uso del agua, por presentar alta producción ($O, Ch \geq T > D$) para igual o menor consumo de agua (figura 7). Dicho

carácter resulta de gran utilidad en los programas de selección y mejora de la especie. Las velocidades máximas diarias obtenidas variaron entre 4 y 24 cm h^{-1} , correspondiendo los valores más altos a días soleados de primavera y los más bajos a días en los que se supone un cierre total o parcial de los estomas inducidos por baja radiación luminosa (días nublados) o por estrés hídrico (días de verano). Zeppel *et al.* (2004) obtuvo valores del mismo orden de magnitud en *E. crebra* (figura 8, izda.).

La extrapolación de velocidad de savia a flujo y caudal total diario supone una integración en el tiempo (horas a lo largo del día) y en el espacio (área conductora el xilema), lo que complica un poco más los cálculos (figura 7 dcha., tabla 2). No obstante se pueden obtener buenas aproximaciones del agua consumida por un árbol a lo largo del día que, en nuestro estudio, resultó ser de 5 a 30 litros. Esta cantidad dependió de las condiciones ambientales y del estado hídrico del árbol, igual que sucediera con la velocidad de la savia, además del diámetro del tronco y del área conductora efectiva del xilema. Los valores obtenidos resultaron acordes a otros estudios con eucaliptos (figura 8 dcha.), donde se puso de manifiesto la gran influencia que ejerce el tamaño del árbol

(área conductora correlacionada seguramente con la superficie foliar total de la copa) en el consumo diario de agua. Por otro lado, la extrapolación de árbol a rodal, supondría tener en cuenta la densidad de plantación. Así por ejemplo, David *et al.*

(1997), suponiendo una plantación de 1020 pies/ha de *E. globulus* en Portugal, de diámetro normal medio de 15 cm, llegaron a la conclusión que consumirían entre 5000 y 35000 litros/ha/día, dependiendo de la época del año.

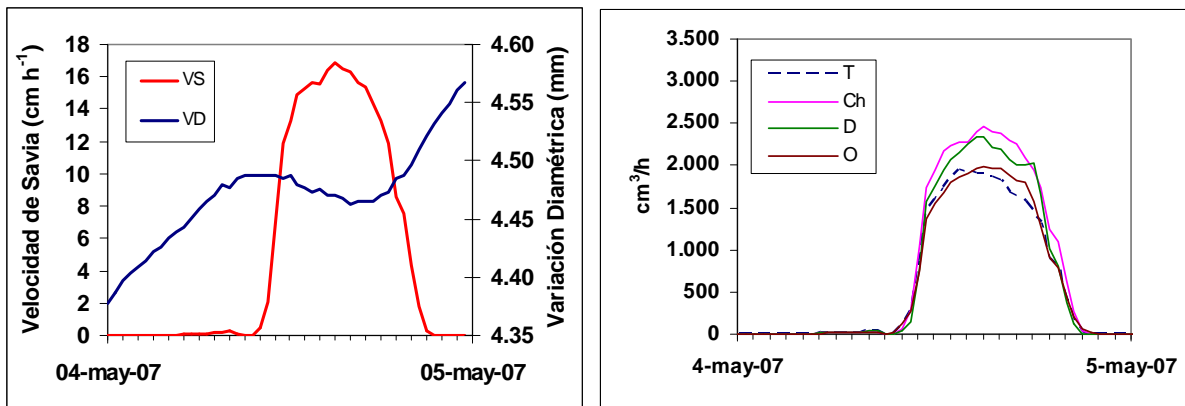


Figura 7: (izda.) Evolución diaria del diámetro del tronco y de la velocidad de la savia de *Eucalyptus globulus* en la provincia de Huelva. (dcha.) Evolución diaria del flujo de savia en cuatro clones de *E. globulus*.

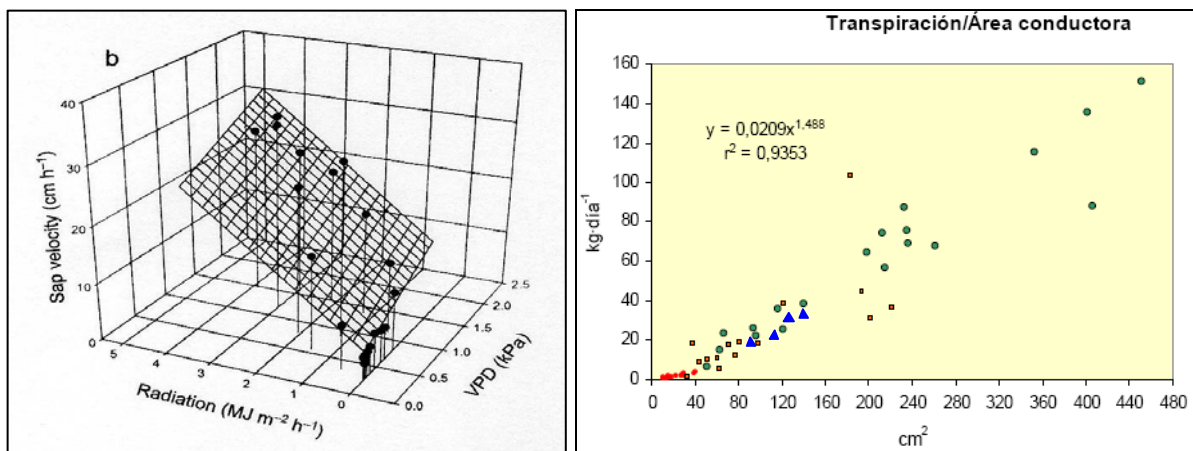


Figura 8: (izda.) Velocidad de savia de *Eucalyptus crebra* en función de la radiación luminosa y del déficit en la presión de vapor de agua en el aire (VPD) (Zeppel *et al.* 2004). (dcha.) Consumo diario de agua en función de la superficie conductora del tronco. Figura modificada de Jiménez *et al.* 2007 (círculos verdes correspondientes a *Eucalyptus regnans* [Vertessy *et al.* 1995], cuadrados rojos a *E. nitens* [Hunt y Beadle 1998], círculos rojos a *E. globulus* en Galicia [Jiménez *et al.* 2007] y triángulos azules a *E. globulus* en Huelva [valores máximos diarios, medidos en días soleados primaverales]).

Tabla 2 (parcialmente modificada de Cohen *et al.* (2008): Velocidad máxima de savia y profundidad del xilema conductor en distintas especies arbóreas forestales y agrícolas.

Especies	Edad de los árboles (años)	Diámetro del tronco (m)	Velocidad máx. de savia (m h ⁻¹)	Profundidad máx. del xilema conductor (mm)
<i>Cupressus sempervirens</i>	15	0.12-0.13	0.19-0.30	37.4
<i>Quercus calliprinus</i>	20	0.14-0.19	0.36-0.64	48.0
<i>Quercus ithaburensis</i>	15	0.22-0.32	0.31-0.91	36.7
<i>Quercus rotundifolia</i>	≈100	0.45	0.33-1.08	65.9
<i>Pinus halepensis</i> (sub-húmedo)	15	0.16-0.27	0.28-0.63	39.8
<i>Pinus halepensis</i> (semiárido)	19	0.14-0.15	0.22-0.68	52.7
<i>Malus domestica</i>	9-11	0.13-0.17	0.22-0.78	54.1
<i>Citrus sinensis</i>	8	0.10-0.13	0.25-0.45	46.3
<i>Persea americana</i>	16	0.24-0.28	0.22-0.54	53.9
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	10	0.15-0.19	0.30-0.58	52.5
<i>Eucalyptus crebra</i>	--	--	0.32 *	--
<i>Eucalyptus globulus</i>	4-9	0.10-0.15	0.24**	--

*: Zeppel *et al.* (2004), la velocidad máxima varió entre 0.03 y 0.32 dependiendo de las condiciones ambientales.

** : valores propios en parcelas de Huelva, la velocidad máxima diaria varió entre 0.05 y 0.24 en función de la época del año y las condiciones ambientales.

Conclusiones

- La especie presenta suficiente variabilidad y plasticidad de aclimatación al estrés hídrico como para manifestar diferencias clonales en las estrategias de resistencia a sequía: posibilidad de mejora.
- El estudio de un solo carácter no garantiza la selección, debiendo considerar varios caracteres morfo-fisiológicos.
- El contenido en humedad de la corteza, en especial de la peridermis (Hp) puede jugar un papel importante como estrategia de resistencia al ataque por

Phoracantha spp. El umbral de 50 % Hp no debería ser rebajado como medida de seguridad.

- En las plantaciones actuales, un árbol medio suele consumir entre 5 y 30 litros de agua al día, dependiendo de las condiciones ambientales y la superficie foliar transpirante.

Agradecimientos

Se agradece al Ministerio de Educación y Ciencia (AGL2002-02757, AGL2006-07886/FOR) y al Grupo Empresarial ENCE por el apoyo prestado para la financiación de estos estudios.

Referencias bibliográficas

- Battaglia, M., Cherry, M.L., Beadle, C.L., Sands, C.L., Hington, A. 1998. Prediction of leaf area index in eucalypt plantations: effects of water stress and temperature. *Tree Physiology*, 18: 521-528.
- Borrajó, P. 2007. Hibridación interespecífica de *Phoracantha* sp. y su efecto en el control biológico. Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla. 256 p.
- Caldeira, M.C., Fernandez, V., Tomé, J., Pereira, J.S. 2002. Positive effect of drought on longicorn borer larval survival and growth on eucalyptus trunks. *Annals of Forest Science*, 59: 99-106.
- Cohen, Y., Cohen, S., Cantuarias-Aviles, T., Schiller, G. 2008. Variations in the radial gradient of sap velocity in trunks of forest and fruit trees. *Plant Soil*, 305: 49-59.
- David, T.S., Ferreira, M.I., David, J.S., Pereira, J.S. 1997. Transpiration from a mature *Eucalyptus globulus* plantation in Portugal during a spring-summer period of progressively higher water deficit. *Oecologia* 110: 153-159.
- Fernández, M. 2008. Utilidad de parámetros hídricos de árbol para la selección clonal de *Eucalyptus globulus* Labill. frente al ataque por larvas de *Phoracantha semipunctata* (Fab.). Boletín CIDEU, 5-6: 57-68..
- Fernández, M., Tapias, R., Alesso, P., Ruiz, F., López, G. 2010. Morpho-physiological parameters as a tool for early selection of *Eucalyptus globulus* Labill. clones against climate change. *Proc. Mixed and pure forests in a changing world*. 6-8 october, Vila Real, Portugal.
- Fernández, M., Arias, M.T., Ruiz, F y Pardos, J.A. 2003. Influencia del estado hídrico de *Eucalyptus globulus* Labill. en el nivel de ataque por *Phoracantha semipunctata* F. XV Reunión de la SEFV & VIII Congreso Hispano-Luso. Palma de Mallorca (España) septiembre.
- Granier, A. 1985. Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. *Annales des Sciences Forestières*, 42: 193-200.
- Grove, T.S., Thomson, B.D., Malajczuk, N. 1996. Nutritional physiology of eucalypts: uptake, distribution and utilization. In: Attiwill, P.M. y Adams, M.A. (eds.). *Nutrition of eucalypts*. CSIRO, Publishing, Collingwood, Australia, pp 77-108.
- Hanks, L.M., Paine, T.D. & Millar, J.G. 1991. Mechanisms of resistance in *Eucalyptus* against larvae of the eucalyptus longhorned borer (Coleoptera: Cerambycidae). *Environmental Entomology*, 20(6): 1583-1587.
- Hanks, L.M., Paine, T.D., Millar, J.G., Campbell, C.D., Schuch, U.K. 1999. Water relations of host trees and resistance to the phloem-boring beetle *Phoracantha semipunctata* F. (Coleoptera: cerambycidae). *Oecologia*, 119: 400-407.
- Hunt, M.A., Beadle, C.L., 1998. Whole-tree transpiration and water-use partitioning between *Eucalyptus nitens* and *Acacia dealbata* weeds in a short-rotation plantation in northeastern Tasmania. *Tree Physiology*, 18: 557-563.
- Jiménez, E., Vega, J.A., Pérez-Gorostiaga, P., Fonturbel, T., Cuiñas, P., Fernández, C. 2007. Evaluación de la transpiración de *Eucalyptus globulus* mediante la densidad de flujo de savia y su relación con variables meteorológicas y dendrométricas. *Boletín del CIDEU*, 3: 119-138.
- Mohammed, C., Battaglia, M., Pinkard, L., Glen, M., Tommerup, I., Smith, A., Pietrzykowski, A., Barry, K., Eyles, A., Beadle, C. 2004. New tools for cost effective health management in eucalypt plantations. En: Borralho, N.M.G., Pereira, J.S., Marques, C., Coutinho, J., Madeira, M., Tomé, M. (eds.). "Eucalyptus in a changing world". Proc.

- IUFRO Conf., Aveiro, 11-15 oct. (RAIZ, Instituto Investigaçãõ da Floresta e Papel, Portugal). pp. 606-613.
- Pardos, J.A. 2007. Perspectiva fisiológica en la producción y mejora del eucalipto (con énfasis en *Eucalyptus globulus* Labill.). *Boletín del CIDEU* 3: 7-55.
- Pita, P., Pardos, J.A. 2001. Growth, leaf morphology, water use and tissue water relations of *Eucalyptus globulus* clones in response to water deficit. *Tree Physiology*, 21: 599-607.
- Ruiz de la Torre, J. 2006. Flora Mayor. Organismo Autónomo Parques Naturales, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, Spain, 1756 p.
- Salisbury, F.B., Ross, C.W. 2000. *Fisiología de las plantas*. Ed. Paraninfo. Madrid. (3 volúmenes).
- Scarascia-Mugnozza, G., Valentiny, E., Kuzminski, E., Giordano, E. 1989. Freezing mechanisms, acclimation processes and cold injury in *Eucalyptus* species planted in the Mediterranean region. *Forest Ecology. and. Management* 29 (1989) 81-94.
- Snowdon, P. 2000. Nutritional disorders and other abiotic stresses of *Eucalyptus*, In: Keane, P.J., Kile, G.A., Podger, F.D., Brown, B.N. (eds.). *Diseases and pathogens of Eucalyptus*, CSIRO Publishing, Collingwood, Australia, 2000, pp. 385-410.
- Vertessy, R.A., Benyon, R.G., O'Sullivan, S.K., Gribben, P.R., 1995. Relationships between stem diameter, sapwood area, leaf area and transpiration in a young mountain ash forest. *Tree Physiology*, 15: 559-567.
- Whitehead, D., Beadle, C.L. 2004. Physiological regulation of productivity and water use in *Eucalyptus*: a review. *Forest Ecology and Management*, 193: 113-140.
- Zeppel, M.J.B., Murray, B.R., Barton, C., Eamus, D. 2004. Seasonal responses of xylem sap velocity to VPD and solar radiation during drought in a stand of native trees in temperate Australia. *Functional Plant Biology*, 31: 461-470.