

## UTILIDAD DE PARÁMETROS HÍDRICOS DE ÁRBOL PARA LA SELECCIÓN CLONAL DE *EUCALYPTUS GLOBULUS* LABILL. FRENTE AL ATAQUE POR LARVAS DE *PHORACANTHA* SPP.

Fernández, M.<sup>1</sup>

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

Autor para la correspondencia: [manuel.fernandez@dcaf.uhu.es](mailto:manuel.fernandez@dcaf.uhu.es)

Boletín del CIDEU 6-7: 57-68 (2008)

ISSN 1885-5237

### Resumen

*Eucalyptus globulus* es atacado por las larvas de *Phoracantha spp.*, especialmente durante la estación seca del año cuando el insecto puede llegar a convertirse en plaga. Hay evidencias de que la colonización de un árbol por el insecto está ligada, en gran medida, al contenido de humedad de la corteza. La mejora genética de la especie destinada a plantaciones en ambiente mediterráneo, como la que lleva el Grupo Empresarial ENCE en el suroeste de España, necesita, por tanto, tener en cuenta este último parámetro como criterio de selección clonal. Al igual que otros tipos de estreses biótico o abiótico, los clones presentan distinto grado de susceptibilidad a ser atacado por el insecto debido, posiblemente, a diferencias intraespecíficas en la resistencia a la sequía o a los mecanismos puestos en juego para mantener niveles altos de humedad en la corteza durante las épocas de estrés hídrico. En este trabajo se muestra una recopilación de tres experiencias, llevadas a cabo en parcelas de campo, sobre el efecto del estrés hídrico en la humedad de la corteza (considerando floema y peridermis por separado) y su relación con otros parámetros hídricos. En condiciones de estrés hídrico, el contenido de humedad de la peridermis fue siempre mayor en los clones menos susceptibles al ataque (>48%) que en los más afectados (≤45%).

Las diferencias entre clones fueron más acusadas desde mediados hasta el final del verano. Sin embargo, se advirtió que al inicio del verano los clones más susceptibles al ataque eran los primeros en reducir el contenido de humedad de la peridermis, de tal forma que en esa época ya se hacía significativamente menor que el contenido de humedad en el floema. Dentro del conjunto de la corteza, fue el contenido de humedad en la peridermis el que mejor explicaba la susceptibilidad del árbol a ser colonizado por las larvas, mientras que el contenido de humedad en el floema se correlacionó mejor con el estado hídrico general del árbol (potencial hídrico), con el intercambio gaseoso y con la humedad del suelo. Para mantener altos niveles de humedad en la corteza los clones mostraron distintos mecanismos para mantener la hidratación durante la estación seca. Los clones más resistentes al insecto potenciaron la elasticidad de las paredes celulares y aumentaban el contenido hídrico relativo en el punto de pérdida de la turgencia, mientras que los clones más susceptibles mostraron principalmente la estrategia del ajuste osmótico.

**Palabras clave:** *Eucalyptus globulus*, *Phoracantha*, relaciones hídricas, humedad en corteza, selección clonal.

## Summary

### **Tree water relations parameters as a tool for early selection of *Eucalyptus globulus* Labill. clones against *Phoracantha semipunctata* (Fab.) larvae.**

*Eucalyptus globulus* is attacked by the larvae of *eucalyptus* longhorned borer, *Phoracantha spp.*, specially in the water-stressed season, were the insect could become a pest. Several studies reveal a link between outbreak of bark beetles to the occurrence of drought conditions, mainly attributed to bark moisture content. The breeding program for *E. globulus* developed by Grupo Empresarial ENCE in Spain, need to include bark moisture content as a criteria for clone selection, because its plantations located in the Southwestern of Spain suffer the attack of the insect. Clones have different susceptibility to *P. semipunctata* attack due to differences in drought resistance and/or in the mechanisms to maintain high levels of bark moisture content under water stress conditions. We studied the influence of drought stress on bark moisture content (periderm and phloem, separately) and its relationships with some water relations parameters in several *E. globulus* clones at a early age in field plantations. Under water stress conditions, periderm moisture content was higher in the more resistant clones (>48%) while the others went down to 43-45

%. Differences among clones are larger from mid- to late-Summer.

Nevertheless, at the beginning of the drought period (i.e. mid-June in the South of Spain) clones showed different responses in maintaining high levels of periderm moisture content, being more susceptible clones whose reduced moisture content under the value of phloem moisture content. There was evidence that, within bark, is the periderm moisture content who plays a major role in the resistance of *eucalyptus* against colonisation by the larvae. Phloem moisture content was more related to other water relations parameters (xylem water potential, transpiration, soil water potential) than periderm moisture content. To maintain a high level of moisture content, the clones showed different mechanisms to absorb and retain water during summer: more insect resistant clones increased the cell wall elasticity and/or the relative water content at the turgor loss point, while clones whose mechanisms of water content maintenance are mainly based on osmotic adjustment reduced the relative water content and increased soluble sugars content, making them more vulnerable to the insect.

**Keywords:** *Eucalyptus globulus*, *Phoracantha*, water relations, plant resistance, bark borer, clone selection.

## I. Introducción

Las plantaciones de *Eucalyptus globulus* son atacadas por *Phoracantha semipunctata* Fab. (Coleoptera: Cerambycidae). Este cerambícido, originario de Australia y algunas islas de su entorno, se fue extendiendo por zonas de África, América y países circummediterráneos debido al comercio de la madera y al establecimiento de plantaciones de eucaliptos, hallándose por primera vez fuera de su entorno natural en Sudáfrica, en 1906. En España se citó por primera vez en 1981, en la provincia de Huelva. Asimismo, otra especie del mismo género y origen, *P. recurva* Newman, se ha extendido por Sudáfrica, América y la región mediterránea, citándose en España por primera vez en 1998. Las dos especies de *Phoracantha* originan daños similares a los eucaliptos, pueden hibridarse entre sí, pero *P. recurva* parece tener ciertas ventajas ecológicas y de biología reproductiva sobre *P. semipunctata* (Borrajó 2007), pudiendo llegar a desplazarla. 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. Los adultos son atraídos por los compuestos volátiles que desprenden estos árboles. En ellos las hembras depositan sus huevos, en grietas o bajo la corteza, donde las larvas se alimentarán de la región cambium-floema anillando al árbol y debilitándolo, llegando a causar su muerte. Los períodos de estrés hídrico son comunes en el clima Mediterráneo (Whitehead y Beadle 2004), 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 *P. semipunctata* 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). El programa de mejora

genética que viene desarrollando para *E. globulus* el Grupo Empresarial ENCE necesita tener en consideración caracteres de supervivencia y crecimiento de las plantaciones a la hora de evaluar la productividad total de éstas. Las plantaciones de esta especie instaladas en el suroeste de España están sufriendo el ataque del insecto, con diferente grado de intensidad dependiendo del genotipo del material vegetal. Ello indica que los clones candidatos a formar parte de las plantaciones comerciales tendrán, seguramente, distinto grado de susceptibilidad a ser atacados por el insecto, 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. Sin olvidar que en el sistema global de defensa del árbol también están implicados otros mecanismos fisiológicos como puede ser la síntesis y acumulación de fitoalexinas (Mohammed *et al.* 2004). Aquí se presenta una revisión de los estudios llevados a cabo en las plantaciones de Huelva (España) para estudiar el efecto del estrés hídrico en la humedad de la corteza del tronco de los árboles y en otros parámetros hídricos, así como su relación con la susceptibilidad al ataque por *P. semipunctata* de clones utilizados en el programa de mejora genética de la especie.

## II. Material y métodos

A lo largo de seis años consecutivos (2001 a 2006) se estudiaron nueve clones comerciales de *Eucalyptus globulus* Labill. en ensayos clonales establecidos en tres parcelas de campo por el Grupo Empresarial ENCE. Dos de ellas en “La Alquería” (Huelva, España), donde se estudiaron árboles de nueve años de edad (cuatro clones) y de trece años de edad (tres clones). La tercera en la finca “El

Mingallete” (Rociana del Condado, Huelva, España), con árboles de seis años de edad. Todas ellas en terrenos llanos (<1% pendiente), sobre suelos arenosos de pH próximo a 6.5 y bajo clima mediterráneo. La precipitación media anual es de 555 mm y la temperatura media anual de 17.5 °C. Las plantaciones se establecieron a 625 árboles ha<sup>-1</sup> y promediaban, al comienzo de las mediciones, una altura de 12 m y un diámetro normal de 13.5 cm. Los árboles de trece años eran de mayor tamaño, con un diámetro normal medio de 20 cm.

Los clones fueron escogidos por su distinto grado de susceptibilidad a ser colonizados por las larvas de *Phoracantha semipunctata* Fab. En cada parcela, se seleccionaron aleatoriamente entre cinco y diez árboles por clon. En ellos se evaluó el grado de daño (daño visual) originado por el ataque del insecto asignándole un número de 0 a 10 a cada árbol, correspondiendo el 0 a un árbol completamente sano y sin ningún síntoma de ataque por el insecto. El valor 10 correspondía a un árbol muy afectado por el insecto. El valor numérico asignado a cada individuo por sus “daños visuales” se calculó en función de la ocurrencia e intensidad de diversos síntomas. A cada síntoma observable se le asignó un valor, siendo la puntuación de cada árbol la suma de los puntos obtenidos. El baremo utilizado fue el siguiente: presencia de larvas (2 puntos), exudaciones aisladas de kino (1 punto), exudaciones continuas de kino (2 puntos), corteza adherida y no desprendida (1 punto), brotes epicórmicos (1 punto), fendas en corteza (1 punto) y galerías horizontales de larvas (2 puntos). Tras el examen visual, los valores medios de cada clon fueron: 1.35, 5.90, 6.35, 0.25, 1.40, 6.80, 2.30, 5.60 y 6.10 para los clones A, B, C, D, E, F, G, H e I, respectivamente. El clon D estaba presente en las tres parcelas y los clones A, B, C y F estaban

presentes en, al menos, dos parcelas cada uno.

Para la estimación de la humedad en la corteza, las fechas de medición se concentraron durante la época estival, por ser ésta la más crítica en cuanto al estado hídrico de los árboles. No obstante, también se llevaron a cabo mediciones en algunas fechas de otoño, invierno y primavera, para evaluar la evolución estacional. El procedimiento usado consistió en extraer, con ayuda de un sacabocados de 18 mm de diámetro, un disco conteniendo peridermis y floema. Una vez extraído este disco, se separaban rápidamente ambas partes (con ayuda de una navaja) y se colocaban en botes herméticos para su posterior determinación de la humedad en estufa a 75-80 °C. Para evitar que el individuo del que se extraía la muestra sufriera la agresión de agentes externos, se aplicaba a la sección de corte una capa de KB® cicatrizante. Además, en algunas fechas de primavera y verano, se tomaron ramillos con hojas de la parte media de la copa y se realizaron estimaciones de: potencial hídrico xilemático ( $\Psi$ ) medido en ramillos con una cámara de presión (P.M.S. 1000 Instrument, Corvallis, Oregon, USA); tasas de intercambio gaseoso con un analizador de gases portátil (LCA-2, ADC, Hoddesdon, England), medidas entre las 10:00 y las 12:00 h (hora local); conductancia hidráulica de dichos ramillos; parámetros hídricos derivados de curvas isotermas *presión-volumen* (potencial osmótico a máxima turgencia, contenido hídrico relativo en el punto de pérdida de la turgencia, módulo de elasticidad, etc.) según el método de transpiración libre (Pallardy *et al.* 1991), calculando el módulo de elasticidad según Koide *et al.* (1989); y contenido volumétrico de humedad en el suelo (Hs) con una sonda TDR (TRIME® TRIME FM, P3), medido a distintos niveles entre 0 y 100 cm de profundidad. Asimismo

se determinó el contenido en carbohidratos no estructurales (Spiro 1966) y se llevaron a cabo cortes histológicos de los ramillos medidos con el fin de estudiar las características (tamaño, densidad, distribución) de los vasos conductores.

El análisis de los datos se realizó para cada estudio (parcelas) por separado. Los parámetros hídricos y de intercambio gaseoso se analizaron mediante ANOVA de medidas repetidas. Las comparaciones múltiples entre medias de clones para cada fecha de medición se realizaron a través del test de Tukey y se consideraron significativas para  $p \leq 0.05$ . Los árboles muestreados en cada parcela se consideraron niveles de factores aleatorios anidados dentro del factor clon. La relación entre parámetros se analizó mediante correlación lineal o no lineal, según el mejor ajuste en cada caso.

### III. Resultados

El estado hídrico de los árboles, estimado a partir del potencial hídrico xilemático al amanecer, presentó variaciones significativas a lo largo del año ( $p < 0.001$ ). Variaciones propias del ambiente mediterráneo donde se instalaron las parcelas de estudio, con valores más bajos en la época de sequía estival y altos en las fechas de otoño, invierno y primavera (figura 1). 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. Por ello resultó significativa la interacción clon-fecha ( $p = 0.022$ ). Por ejemplo, en el verano de 2003 los clones D y E, dos de los menos afectados por el insecto, presentaron valores más altos de  $\Psi$  que otros clones más afectados como C, B y F ( $p < 0.015$ ). El clon B mostró un comportamiento contrastado respecto de los demás, pues

aunque mantenía potenciales hídricos altos hasta bien entrado en verano, cuando el período seco se hacía más intenso solía evolucionar hacia caídas muy bruscas de dicho potencial.

En las figuras 1 y 2 podemos ver la evolución del contenido de humedad en corteza, calculado respecto a peso fresco, a lo largo de los seis años estudiados y para los diferentes tejidos (floema  $-H_f-$  y peridermis  $-H_p-$ ). Se han representado solamente cinco clones, los que presentaron valores extremos de los síntomas de susceptibilidad al ataque por *Phoracantha semipunctata*: dos de los menos dañados (A y D) y tres de los más dañados (B, C y F), con el fin de no cargar la gráfica con demasiados datos y facilitar su lectura. Los valores de  $H_f$  y  $H_p$  variaron significativamente entre fechas ( $p < 0.001$ ) y entre clones ( $p = 0.040$  para  $H_p$  y  $p < 0.001$  para  $H_f$ ). Los clones con valores más bajos de “daños visuales” por ataque del insecto presentaron contenidos 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.

En general, en las fechas favorables en cuanto al estado hídrico, el floema y la peridermis presentaron valores similares de humedad, incluso con valores significativamente más altos para la peridermis en numerosas ocasiones, como por ejemplo en las mediciones de 2005 ( $0,001 < p < 0,008$ ). El ranking entre clones para  $H_p$  y  $H_f$  se modificó entre fechas (interacción significativa clon-fecha,  $p = 0.031$ ), esto es, el clon B que en invierno-primavera ocupaba puestos altos del ranking, durante el verano redujo bruscamente su estado hídrico hasta diferenciarse significativamente de los

clones C, D y E; mientras que el clon A, mostró un comportamiento contrario al expresado para el clon B. Por otro lado, al aproximarse la época estival el descenso de  $H_p$  fue más acusado en los clones más susceptibles como B y F, de tal forma que fueron los primeros clones en alcanzar valores de  $H_p$  más bajos que de  $H_f$ , mientras que los clones menos afectados seguían manteniendo valores más altos de  $H_p$  que de  $H_f$  en esa fecha (figura 3).

El estado hídrico de los árboles, estimado en función del potencial hídrico xilemático, 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  $\Psi$  (tabla 1). La correlación  $H_f - \Psi$  se ajustó mejor a una ecuación no lineal (figura 4), siendo  $\Psi = 168.19 e^{-0.0265H_f}$  ( $r = 0.858$  \*\*\*),  $H_f$ :  $H_f$  medido respecto a peso seco en este caso). Sin embargo, considerando el conjunto de datos de las tres parcelas, la correlación de los síntomas de “daños visuales” en el tronco resultó significativa con  $H_p$ , pero no con  $H_f$  (figura 5).

Si consideramos, por ejemplo, los datos de la medición de 2004, en esta primera aproximación hacia la estructura hidráulica de los tallos (ramillos de un año,  $2.83 \pm 0.13$  mm diámetro), el clon B se caracterizó por presentar unos vasos conductores xilemáticos más estrechos, pero su mayor densidad de vasos hizo que la suma total de ellos resultase una mayor proporción de área conductora en la sección transversal (tabla 2). Esto le confería al clon mayor capacidad de conducción en sus ramillos, así como mayor capacidad específica de conducción, tanto por unidad de superficie foliar (tabla 2) como por unidad de sección transversal xilemática. No obstante, en esta medición de julio de 2004, a pesar de no ser

un año extremadamente desfavorable para los árboles y no padecer pérdidas de conductancia hidráulica (PCH) importantes, el clon B tendía a presentar valores más altos de PCH que los demás. Por otra parte encontramos que PCH no se correlacionó con la capacidad máxima de conducción, sino con la actual y, en especial, con la conductancia específica foliar ( $r = -0.633$ ,  $p = 0.009$ ,  $n = 16$ ).

Los parámetros hídricos derivados de las curvas presión-volumen (potencial osmótico a plena turgencia,  $\Psi\pi_{100}$ ; potencial osmótico en el punto de pérdida de la turgencia,  $\Psi\pi_0$ ; módulo de elasticidad de la pared celular,  $\epsilon$ ; contenido hídrico relativo en el punto de pérdida de la turgencia,  $CHR_0$ ) variaron significativamente entre fechas y clones, así como resultó significativa la interacción fecha-clon (ver Fernández *et al.* 2004a y b). En los árboles estudiados el valor medio por clon de  $\Psi\pi_0$  se movió en un rango de -1.50 y -1.86 MPa en la fechas más desfavorable del verano.

#### IV. Discusión

Los valores mínimos de potencial hídrico xilemático ( $\Psi$ ) y de contenidos de humedad en la corteza ( $H_f$  y  $H_p$ ) indican que, durante el período estival de los años más críticos, los árboles padecen estrés hídrico acusado, llegando a comprometer la supervivencia de los clones menos resistentes (Fernández *et al.* 2003; Fernández *et al.* 2004a y b). Considerando los resultados apuntados anteriormente podemos deducir que los árboles suelen alcanzar valores de potencial hídrico por debajo de su punto de pérdida de la turgencia ( $ppt$ ) durante el período julio-septiembre, ampliando o reduciendo este intervalo en función de las condiciones climáticas del año en curso. Las diferencias entre clones en cuanto a los parámetros de relaciones hídricas nos indican que cada

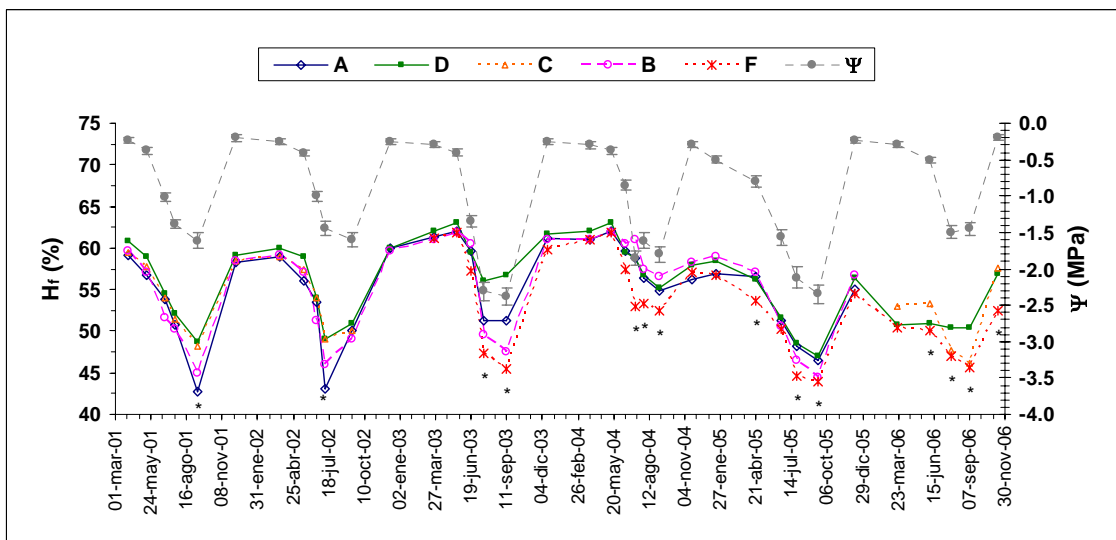


Figura 1: Valores medios por clon y fecha del porcentaje de humedad del floema respecto a peso fresco ( $H_f$ ), para los clones A, B, C, D y F a lo largo de los seis años estudiados. También se muestra la evolución del potencial hídrico xilemático ( $\Psi$ ), siendo cada punto el valor medio ( $\pm$  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.

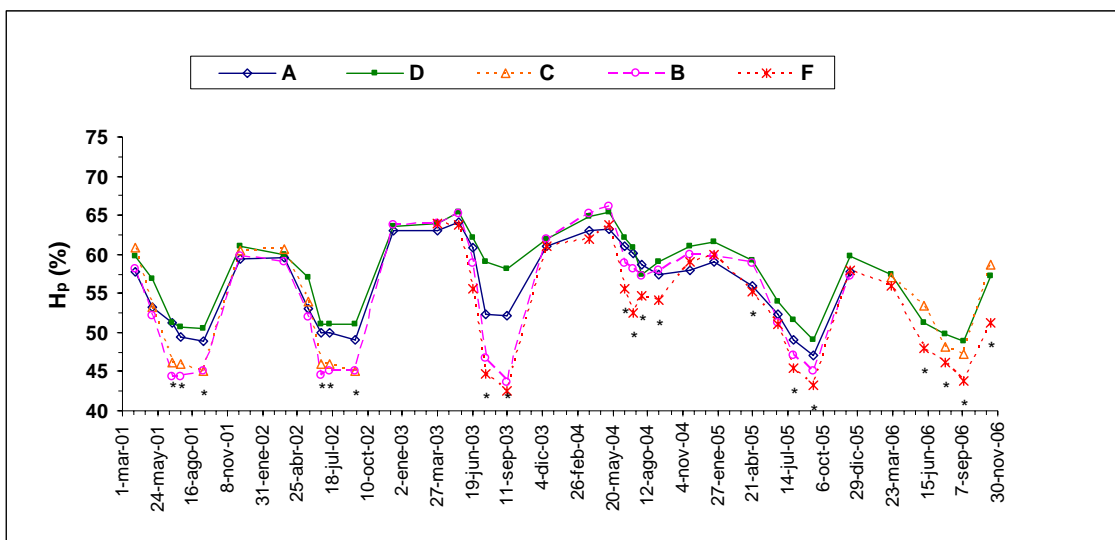


Figura 2: Valores medios por clon y fecha del porcentaje de humedad de la peridermis respecto a peso fresco ( $H_p$ ), para los clones A, B, C, D y F a lo largo de los seis años estudiados. Los asteriscos (\*) indican diferencias significativas entre clones ( $p < 0.05$ ) para la fecha de medición en que aparecen.

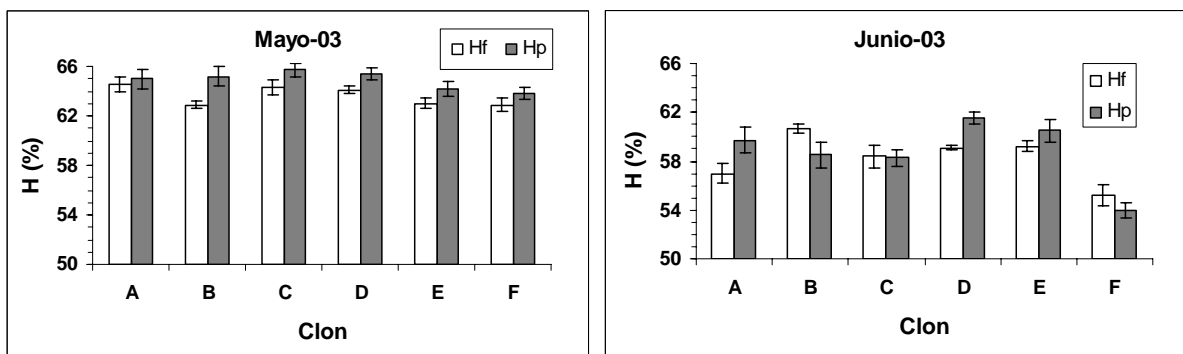
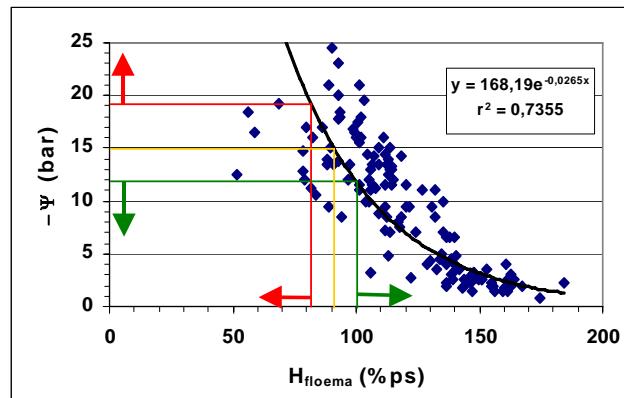


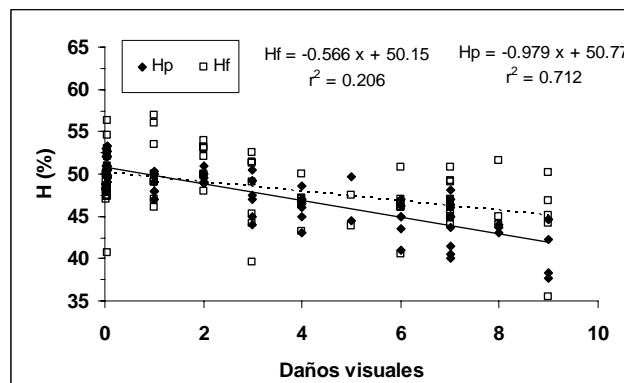
Figura 3: Contenido de humedad en floema ( $H_f$ ) y peridermis ( $H_p$ ) para cada clon, medidos el 20 de mayo y el 20 de junio de 2003.

**Tabla 1:** Matriz de correlación lineal para algunos de los parámetros medidos en las tres parcelas (n = 240).  $\Psi$  = potencial hídrico al amanecer, gs = conductancia estomática, Hs = porcentaje de humedad en suelo, H<sub>f</sub> = porcentaje de humedad en floema, H<sub>p</sub> = porcentaje de humedad en peridermis. n.s. = no significativo, \* = p ≤ 0.05, \*\* = p ≤ 0.01, \*\*\* = p ≤ 0.001.

	$\Psi$	gs	Hs	H <sub>f</sub>	H <sub>p</sub>
$\Psi$	1				
gs	0.778 **	1			
Hs	0.739 **	0.677 **	1		
H <sub>f</sub>	0.631 *	0.665 *	0.768 **	1	
H <sub>p</sub>	0.201 n.s.	0.024 n.s.	0.324 n.s.	0.517 n.s.	1



**Figura 4:** Relación existente entre el contenido de humedad en floema del tronco (H<sub>f</sub>), en este caso expresado respecto a peso seco, y el potencial hídrico xilemático de ramillos de la mitad de la copa ( $\Psi$ ), (Arias-López 2002, modificada). 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 comprometen 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.



**Figura 5:** Relación entre el coeficiente de evaluación visual de daños en el tronco “Daños visuales” y el porcentaje de humedad en peridermis (H<sub>p</sub>: rombos, línea continua) o en floema (H<sub>f</sub>: cuadrados, línea punteada) (n = 75).



**Tabla 2: Valores medios ( $\pm$  error típico), para ramillos de un año de los cuatro clones tomados en el mes de julio de 2004, del diámetro mayor de los vasos (D), el área transversal ocupada por un vaso ( $A_v$ ), la densidad de vasos ( $d_v$ ), el porcentaje de área conductora en la sección transversal del xilema ( $A_{cond}$ ), la pérdida de conductancia hidráulica (PCH) y la conductancia específica máxima por superficie foliar (Ksm). Dentro de cada columna, las letras indican diferencias significativas entre clones (Tukey HSD).**

Clon	D ( $\mu\text{m}$ )	$d_v$ ( $\text{n}^\circ/\text{mm}^2$ )	$A_{cond}$ (%)	PCH (%)	Ksm ( $\text{g}/\text{MPa}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^2$ )
B	33.1 $\pm$ 0.9 a	179.7 $\pm$ 15.2 c	12.1 $\pm$ 1.0 b	34.2 $\pm$ 9.7	178.8 $\pm$ 36.8 b
C	35.5 $\pm$ 1.2 ab	115.2 $\pm$ 2.6 a	9.0 $\pm$ 0.2 a	31.4 $\pm$ 9.9	87.6 $\pm$ 4.1 a
D	34.6 $\pm$ 0.8 ab	135.9 $\pm$ 8.6 b	10.4 $\pm$ 0.6 ab	22.7 $\pm$ 6.3	83.7 $\pm$ 12.9 a
E	36.7 $\pm$ 0.8 b	134.3 $\pm$ 10.2 b	11.7 $\pm$ 0.9 b	21.9 $\pm$ 8.3	107.3 $\pm$ 10.1 ab
Sig.	0,047	0,006	0,031	0,872	0,021

uno de ellos adopta estrategias distintas de aclimatación como mecanismo de resistencia a la sequía (ajuste osmótico, ajuste elástico, vulnerabilidad a la cavitación), de acuerdo con los resultados obtenidos por otros autores, tanto con plantas de vivero (Pita y Pardos 2002; Pita *et al.* 2003) como con árboles adultos (White *et al.* 1996). Los resultados apuntaron a que lo clones cuyo principal mecanismo de resistencia a la sequía se basaba en el ajuste osmótico eran los más susceptibles al ataque por el insecto. La causa principal de dicho ajuste osmótico estuvo en la acumulación activa de solutos, ya que los azúcares solubles aumentaban desde 35 mg/g en primavera hasta 80 mg/g de final del verano, en concordancia con otros autores (Caldeira *et al.* 2002; Pita y Pardos 2002).

Por supuesto, la capacidad de respuesta al período seco varía entre clones, pero en su conjunto, contenidos de humedad en corteza por encima de 48 % (respecto a peso fresco) se corresponden con potenciales hídrico superiores a *ppt*, mientras que por debajo de 45 % indican rebasar el límite impuesto por *ppt* volviéndose vulnerables tanto al estrés hídrico como al ataque por el insecto. El intervalo de humedad entre 45 y 48 es el rango crítico que diferenciará unos clones de otros en función de su *ppt*. 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 correspondía en nuestro estudio con valores de  $\Psi$  entre -1.2 y -1.9 MPa, próximo al rango de -1.4 a -1.8 MPa para el que los clones de esta especie cierran estomas disminuyendo drásticamente la

conductancia estomática y la transpiración (Gallino *et al.* 2006). Esta variabilidad intraespecífica en cuanto a estrategias de aclimatación al estrés hídrico también se ha observado en esta especie respecto al proceso de aclimatación a otro tipo de estrés, como el originado por bajas temperaturas (Gallino *et al.* 2007).

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. Más aún, la similitud de resultados obtenidos por diferentes autores

con plantas de muy distintas edades indicarían correlaciones edad-edad válidas para su incorporación en programas de mejora genética. Una pequeña diferencia entre clones en  $H_p$  durante la época estival se traduce en grandes diferencias en el ataque de la plaga y, como consecuencia, en la supervivencia de los árboles. 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 ellos se referían a la totalidad de la corteza (floema + peridermis). La medición de  $H_p$  es un proceso sencillo y rápido que permitiría muestrear un gran número de árboles en poco tiempo y con coste reducido.

No obstante, aún defendiendo la validez del contenido en humedad de la corteza como parámetro a tener en cuenta, aún quedan

por determinar las causas morfo-fisiológicas por las que unos clones son capaces de mantener valores altos de  $H_p$  aún en situaciones de estrés hídrico. Incluso hay evidencias de que no sólo la humedad de la corteza sino que la acumulación de polifenoles y otros componentes de la corteza son responsables de la defensa del árbol contra la plaga (Mohammed *et al.* 2004).

### **Agradecimientos**

Se agradece al Grupo Empresarial ENCE por el apoyo prestado para la financiación de estos estudios, por la cesión de uso de las parcelas de campo y por la ayuda en la toma de muestras en las parcelas, así como el apoyo del personal técnico e investigador durante todos los estudios.

## Referencias Bibliográficas

- Arias-López, M.T. 2002. Estudio de parámetros fisiológicos en clones seleccionados de *Eucalyptus globulus* Labill. con distinto grado de ataque y resistencia a *Phoracantha semipunctata* (F.). Proyecto Fin de Carrera. ETSI de Montes. Univ. Politécnica de Madrid.
- Borrajo, 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.
- Correia, M.J., Torres, F., Pereira, J.S. 1989. Water and nutrient supply regimes and the water relations of juvenile leaves of *Eucalyptus globulus*. *Tree Physiology*, 5: 459-471.
- 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.
- Fernández, M., Arias, M.T., Pardos, J.A., Ruiz, F. and Soria, F. 2004a. The *Eucalyptus globulus* clone resistance to *Phoracantha semipunctata* depends on its response to water stress. *Proc. 10<sup>th</sup> MEDECOS Conference*. April 25 – May 1. Rhodes, Greece. Arianoutsou, M. & Papanastasis, V.P. (eds.), Millpress (Rotterdam).
- Fernández, M., Ruiz, F., Soria, F, Pardos, J.A. 2004b. Periderm moisture content as a criterion for early selection of *Eucalyptus globulus* Labill clones against *Phoracantha semipunctata* (F.) larvae. En: Borrallho, 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 Investigação da Floresta e Papel, Portugal). pp. 92-96.
- Gallino, J.P., Fernández, M., Tapias, R., Alcuña, M.M., Cañas, I. 2007. Aclimatación al frío en diferentes clones de *Eucalyptus globulus* Labill. durante el régimen natural de endurecimiento. *Boletín del CIDEU*, 4: 77-83.
- Gallino, J.P., Fernández, M., Tapias, R., Ruiz, F., López, G. 2006. Genotipo (clon) y condiciones de crecimiento de *Eucalyptus globulus* interaccionan afectando a la superficie foliar específica y la conservación del agua en la planta. *VIII Simposium Hispano-Portugués de Relaciones Hídricas en las Plantas*. SECF. Puerto de la Cruz (Tenerife) 17-21 septiembre. pp: 202.205.
- 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.
- Koide, R.T., Robichaux, R.H., Morse, S.R., Smith, C.M. 1989. Plant water status, hydraulic resistance and capacitance. In: Pearcy, R.W., Ehleringer, J.R., Mooney, H.A. & Rundel, P.W. (eds). *Plant Physiological Ecology*. Chapman and Hall, New York, pp 161-184.

- 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 Investigação da Floresta e Papel, Portugal). pp. 606-613.
- Pallardy, W.C., Pereira, J.J., Parker, W.C. 1991. Measuring the state of water in tree systems. In: Lassoie, J.P. & Hinckley, T.M. (eds). *Techniques and approaches in forest tree ecophysiology*. CRC Press, FL, pp 27-76.
- Pita, P., Gascó, A., Pardos, J.A. 2003. Xylem cavitation, leaf growth and leaf water potencial in *Eucalyptus globulus* clones under well-watered and drought conditions. *Functional Plant Biology*, 30: 891-899.
- Pita, P., Pardos, J.A. 2002. Growth, leaf morphology, water use and tissue water relations of *Eucalyptus globulus* clones in response to water deficit. *Tree Physiology*, 21: 599-607.
- Spiro, R.G. 1966. Analysis of sugars found in glycoproteins. In: Neufeld, E.F. & Ginsburg, V. (eds). *Methods in enzymology, vol. III, complex carbohydrates*. Academic Press, New York, pp 3-26.
- White, D.A., Beadle, C.L., Worledge, D. 1996. Leaf water relations of *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* and *E. nitens*: seasonal, drought and species effects. *Tree Physiology* 16: 469-476.
- Whitehead, D., Beadle, C.L. 2004. Physiological regulation of productivity and water use in *Eucalyptus*: a review. *Forest Ecology and Management*, 193: 113-140.