

## **EFFECTO DE LA INOCULACIÓN EN VIVERO CON *Phytophthora cinnamomi* Rands. EN PLANTAS DE ENCINA (*Quercus ilex* L.).**

*Raúl Tapias, Manuel Fernández, Laura Salvador, Rafael Santana, Jacobo García, Ángel Sáenz, Javier Vázquez, Enrique Torres*

*Universidad de Huelva, Departamento de Ciencias Agroforestales.*

Dirección de contacto: Escuela Politécnica Superior.

Carretera de Palos de la Frontera s/n, 21819. Palos de la Frontera.

E-mail: [rtapias@uhu.es](mailto:rtapias@uhu.es)

### **Resumen**

La “seca” de encinas y alcornoques es uno de los problemas ambientales más graves en la mitad sur peninsular. *Phytophthora cinnamomi* Rands. es un hongo patógeno del suelo responsable principal de la muerte y debilitamiento de encinas y alcornoques en el Suroeste de la Península Ibérica. Este trabajo analiza la variación de los parámetros fisiológicos experimentados por plántulas de encina de dos años tras ser infectadas con el hongo *P. cinnamomi*. Para ello se cultivaron plántulas de 15 familias en envase forestal de 300cc en dos sustratos diferentes: uno comercial (mezcla de turba y vermiculita) y otro natural (tierra de encinar y vermiculita) durante un año bajo condiciones normales de vivero. En el segundo año, la mitad de las plantas fueron inoculadas con micelio de *P. cinnamomi*. Periódicamente se midió la supervivencia y parámetros de intercambio gaseoso (fotosíntesis, transpiración), de estado hídrico (potencial hídrico de hojas), de estado del sistema fotosintético (fluorescencia de la clorofila). Cuatro meses después de la inoculación se midió la conductividad hidráulica de tallos en una muestra de las plantas.

Los resultados muestran una importante susceptibilidad de la encina pues a los 18 días de la inoculación ya se observan diferencias significativas en el estado hídrico de la planta. El efecto del tratamiento de inoculación fue estadísticamente significativo para todos los parámetros medidos no así el efecto de sustrato ni de la familia. Las plantas infectadas mostraron tasas de asimilación de CO<sub>2</sub> a los tres meses de la infección del orden de dos veces menor que las no infectadas. La transpiración fue dos veces menor y el potencial hídrico 2,3 veces menor.

### **INTRODUCCIÓN**

Desde principios del siglo XX y a lo largo de toda Europa, las especies de *Quercus* han mostrado diversos episodios de estrés que en ocasiones han dado lugar al decaimiento y muerte del arbolado (BRASIER 1996). Desde los años 80 se viene observando un decaimiento severo de *Quercus* en la cuenca mediterránea. Al igual que en Centroeuropa, se han identificado toda una serie de factores implicados en el decaimiento de los *Quercus* mediterráneos, incluyendo sequías severas y recurrentes, encharcamientos, contaminación atmosférica, cambios en el uso tradicional de las dehesas, ataques de insectos perforadores del tronco, y de hongos de chancro (MONTROYA, 1992; RAGAZZI *et al.*, 1989; TUSET *et al* 1996, SÁNCHEZ *et al* 2000 y 2002, LÓPEZ *et al* 2004).

El decaimiento es una enfermedad de etiología compleja. En una primera aproximación se consideró que era el resultado de la acción de un número variable de factores bióticos y abióticos que causan un deterioro gradual y general de los árboles afectados hasta su muerte. Los factores implicados en los decaimientos son típicamente múltiples, y lo más importante, ninguno de ellos por separado es capaz de reproducir los síntomas observados en campo. Además son intercambiables, actúan de manera inespecífica y pueden ser distintos en el tiempo y en el espacio, dando lugar, sin embargo, a los mismos síntomas (SINCLAIR, 1965; MANION 1991). En Andalucía occidental (Huelva-Andévalo), el patrón de daños se caracteriza por focos de tamaño pequeño, con un porcentaje de pies afectados medio, con patrones de distribución al azar en el terreno, y dominancia de muertes progresivas. Los daños han sido asociados claramente a la presencia de *Phytophthora cinnamomi*, (RUPEREZ y MUÑOZ 1980, BRASIER *et al* 1993a y b, TUSET *et el* 1996; GALLEGO *et el* 1999, SANCHEZ *et al* 2000 y 2002, FERRAZ *et al* 2003, NAVARRO *et al* 2004) que se caracteriza por generar podredumbre radicular en un amplio grupo de hospedadores entre ellos *Quercus spp.* Este hongo provoca la muerte masiva de las raíces absorbentes, reduciendo la capacidad del árbol para absorber agua y nutrientes. Los síntomas que se observan en la parte aérea son similares a los de la sequía provocando, en ocasiones, la muerte repentina de los árboles (muerte súbita), en otras un decaimiento prolongado (LUQUE *et al* 1999 y 2002, SÁNCHEZ *et al* 2000 y 2002, LUISI *et al* 1993; AGRIOS, 1997). Con las técnicas de detección basadas en cebos biológicos, el hongo ha sido aislado en la mayoría de las parcelas muestreadas en la provincia de Huelva (SÁNCHEZ *et al* 2000 y 2002).

En la actualidad aún no están claros los mecanismos de resistencia / tolerancia de la planta. No se han encontrado evidencias en este patosistema de toxinas que segregue el hongo y se trasladen a otra parte de la planta, pero si en otras especies del género (*Phytophthora quercina*, JUNG *et al* 1999). Las hipótesis más probables se centran en tres líneas: mecanismos generales de resistencia al estrés hídrico que permitan a la planta sobrevivir con parte del sistema radical dañado como si estuviera padeciendo una sequía severa, altas capacidades de regeneración de raíces y diferencias en la composición bioquímica de las raíces que dificulten la penetración y colonización del hongo. Hay evidencias de que el estrés hídrico causado en las plantas infestadas por hongos patógenos está ligada a la pérdida de la capacidad conductora del xilema (VANNINI y VALENTINI, 1994, SOLLA-HACH, 2000) dependiendo esta de la facilidad de cavitación de los vasos. Así mismo la disponibilidad de nutrientes, sobretudo el potasio, ayuda a superar situaciones de estrés hídrico, así como afecta a la cantidad de fenoles y taninos en las raíces, y con ello su capacidad de resistencia a las enfermedades (SHAW *et al* 1998, MARSCHNER, 1995).

Con el objeto de monitorizar el proceso de infección de *P. cinnamomi* en el marchitamiento de encinas (*Quercus ilex* L.) y sus efectos, se planteó este estudio que analiza, en condiciones normales de vivero, aspectos fisiológicos tales como comportamiento fotosintético, el estado hídrico, intercambio gaseoso, y conductividad hidráulica de plantas de dos años inoculadas con el hongo comparadas con otras no inoculadas.

## MATERIAL Y METODOS

Para la producción de plantas se recogieron semillas de *Quercus ilex* de diferentes zonas de la provincia de Huelva (Santa Olalla, Almonte, Parque Nacional de Doñana, Calañas). Ya germinadas, y al estado de plántulas, se plantaron en envases de polietileno de 300 cc con dos tipos de sustratos diferentes: uno de tipo comercial formado por una mezcla de turba y perlita (5/1) denominado sustrato T, y otro formado por una mezcla de suelo natural - arena y perlita (4/1/1)- denominado sustrato N. Este suelo natural fue recogido en una dehesa de encinas de la localidad Onubense de El Villar.

Los envases se colocaron en bandejas de 35 alvéolos siguiendo un diseño de bloques aleatorizados. El cultivo de las plantas tuvo dos etapas diferenciadas. La primera, en umbráculo, abarcó un periodo comprendido entre los meses de junio (2003) a mayo de 2004, en el que las plantas se sometieron a un riego suficiente para asegurar un estado hídrico óptimo para el desarrollo vegetativo. Durante esta fase no se observaron diferencias tanto en el estado de salud de las plantas ni en el desarrollo de éstas sobre los dos tipos de sustratos. La segunda fase, de invernadero, se desarrolló entre los meses de mayo a septiembre de 2004. Al inicio se infectaron la mitad del lote de plantas artificialmente con una mezcla de 5 cepas de *P. cinnamomi* con un grado de virulencia contrastado y se colocaron en dos mesas separadas. Sobre ellas se generó unas condiciones de humedad constante. La disposición del ensayo fue de 12 bandejas distribuidas en un diseño factorial completo (2 sustratos x 2 tratamientos de inoculación x 3 bandejas). De entre todas las plantas se seleccionaron aquellas familias que tenían entre 4 y 6 plantas en cada tipo de sustrato, por lo que se ha empleado un total de 178 encinas representando a 15 familias. La distribución de las diferentes familias en los grupos se realizó de manera que en cada bandeja sólo existiese una planta de cada familia.

El vehículo utilizado para el inóculo fueron semillas de mijo (MOREIRA 2001). Las plantas, en el momento de la inoculación, tenían un año de vida. En el cepellón se practicaron tres agujeros próximos al tallo con un sacabocados (0.5 cm de diámetro) a una profundidad de 5-8 cm. A través de ellos se introdujo 1 g de semillas de mijo colonizadas y se taparon con el sustrato extraído. Las plantas se sometieron a un riego diario de agua desclorada para mantener las condiciones de saturación hídrica. Una vez inoculadas las plantas, se realizó un control de inóculo en el sustrato para comprobar la viabilidad del hongo en los dos sustratos, de manera aleatoria, aplicando el procedimiento que se describe en EDWIN y RIBEIRO (1996).

Para la evaluación de las plantas se han ido realizando diferentes mediciones a lo largo de la duración del ensayo: Fluorescencia clorofílica: Los parámetros analizados han sido la fluorescencia basal (Fo), la fluorescencia variable (Fv), la fluorescencia máxima (Fm), el tiempo medio en alcanzar la fluorescencia variable (Tm) y la relación entre la fluorescencia variable y la fluorescencia máxima (Fv/Fm). Potencial hídrico: Se midió con una cámara de presión de Schölander y col. (1965). La cámara empleada es el modelo 1000 (Corvallis, Oregon, USA). Intercambio gaseoso: La asimilación de CO<sub>2</sub> se midió con un analizador portátil de CO<sub>2</sub> mediante infrarrojo (LCi, ADC®, UK) y utilizando una cámara foliar de hoja ancha (de 6.25 cm<sup>2</sup> de área, ADC®, UK). Para la cuantificación de la conductancia hidráulica, se cortaron los tallos en trozos (2-3 cm) colocándolos en un circuito de agua para cuantificar la cantidad de agua que pasa por el segmento durante un tiempo determinado. La presión suministrada al circuito fue de 0,065 bares, siendo 1,5 bares la presión utilizada para revertir el embolismo. En primer lugar se realizó una medición en el trozo de tallo de cada planta (Conductancia inicial). A continuación se realizó una segunda

medición después de revertir las posibles cavitaciones mediante una sobrepresión (Conductancia máxima). Por diferencia puede obtenerse la pérdida de conductancia hidráulica (PCH) que se expresa como  $\% PCH = 100 (C_{m\acute{a}x.} - C_i) / C_{m\acute{a}x.}$ . Refiriendo estos valores a la sección del xilema conductor, a la superficie foliar y al peso foliar transpirante abastecido por ese flujo de agua se pueden calcular las siguientes conductancias:

Conductancia específica xilemática ( $C_{ex}$ ) ( $Kg/m^2$  s MPa); Conductancia específica por superficie foliar ( $C_{efs}$ ) ( $Kg/m^2$  s MPa) y Conductancia específica por peso foliar ( $C_{efp}$ ) ( $Kg/g$  s MPa). Las mediciones se realizaron sobre 12 plantas del estudio, 6 encinas no inoculadas y otras 6 inoculadas; para la comparación de sustratos se realizó idéntico procedimiento (6 en sustrato estéril y 6 en sustrato natural).

Las fechas de medición de la fluorescencia, potencial hídrico e intercambio gaseoso junto con el tiempo de infección del inóculo se indican en la tabla 1. Las mediciones de conductancia, al ser de tipo destructivas, fueron realizadas a finales de septiembre de 2004 cuando concluyó el ensayo. El tiempo transcurrido desde la inoculación del hongo hasta la realización de la medida fue de 115-120 días.

En el análisis estadístico de los diferentes datos se utilizó el programa SPSS 12, empleándose el procedimiento del modelo lineal general para estimar la significación de los diferentes factores y el test de Tukey para comparar medias.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Fluorescencia clorofílica**

En el análisis estadístico de la fluorescencia basal ( $F_0$ ) sólo se aprecian diferencias significativas entre fechas y sustratos. Los valores para ambos sustratos guardan similitud a lo largo del tiempo, disminuyendo su magnitud a medida que se suceden las fechas. Igual comportamiento ocurre en los valores de las mediciones de la fluorescencia variable ( $F_v$ ) y la fluorescencia máxima ( $F_m$ ), sin que existan diferencias entre sustratos. En lo referente al tiempo medio en alcanzar la fluorescencia variable ( $T_m$ ), se observaron diferencias significativas en la interacción fechas/tratamientos. El tratamiento Control funciona mejor porque sus plantas tardan menos tiempo en alcanzar la fluorescencia variable ( $299,9 \pm 6,7$  frente a  $401,5 \pm 9,3$ ). El análisis estadístico correspondiente a la relación entre la fluorescencia variable y la fluorescencia máxima ( $F_v/F_m$ ) no revela comportamientos diferentes entre tratamientos, sustratos ni fechas.

### **Potencial hídrico**

El análisis estadístico sobre el Potencial Hídrico ( $\Psi$ ) muestra diferencias significativas entre los parámetros fechas y tratamientos. Antes de la inoculación ambos tratamientos comienzan con valores semejantes, pero después y hasta el final, el tratamiento Inoculado alcanza valores muy inferiores a los del Control (figura 1). Las diferencias son significativas desde la primera medición después de la inoculación. A los 18 días el potencial hídrico de las plantas inoculadas era dos veces más bajo que las control, llegando a relaciones de 2,3 a los 80 días.

### **Intercambio gaseoso**

Las mediciones referidas a transpiración, conductancia estomática y fotosíntesis revelaron en todos los casos, diferencias significativas entre fechas y tratamientos, tanto si se refieren a la superficie foliar ( $m^2$ ) (tabla 2) como al peso foliar (g). Antes de la inoculación los valores en ambos grupos de plantas son similares para cualquiera de los parámetros señalados. Con el transcurso del tiempo y hasta el final del período de medición, la respuesta de las plantas bajo el tratamiento Control son mayores que la de las plantas bajo el tratamiento Inoculado. Las diferencias entre tratamientos son significativas a partir de los 33 días de inoculación para las tres variables. La relación entre los valores de las plantas control y las inoculadas sube de 1,2 veces superior a los 33 días, hasta alcanzar relaciones de 2 a los 80 días.

En la relación Fotosíntesis/Transpiración ( $A/E$ ) las diferencias que se observan son para la variable sustrato, de tal forma que los valores medios de ambos parámetros son similares a lo largo del período de medición pero algo mayores en el sustrato T (turba) que en el N (natural).

La figura 2 muestra los valores promedios de fotosíntesis, transpiración y cociente entre ambas ( $A/E$ ) registrados al final del ensayo por cada una de las familias, diferenciando los tratamientos de inoculación. Se observan grandes diferencias entre los promedios familiares pero la dispersión de valores entre plantas de la misma familia hace que no sean estadísticamente significativas.

### **Conductancia hidráulica**

El análisis estadístico correspondiente a la conductancia inicial ( $C.i.$ ) reveló una diferencia significativa entre los sustratos, resultando el sustrato N (suelo natural) más idóneo para la conductancia que el T (turba) (tabla 3), quizás debido a que el sustrato natural aportó a las plantas un mayor grado de fertilidad que les permitió alcanzar un mayor diámetro al final del ensayo, aunque no fuese significativamente diferente. De igual modo ocurre en la Conductancia inicial específica xilemática ( $C.i._{ex}$ ) y en la conductancia inicial específica por superficie foliar ( $C.i._{efs}$ ). El análisis correspondiente a la conductancia inicial específica por peso seco foliar ( $C.i._{efp}$ ) no reveló diferencias en ningún sentido. En la  $C.i._{ex}$ , la diferencia hallada puede ser debida a la existencia en los tallos de las plantas nutridas en el sustrato N, de menor porcentaje de superficie de corteza y médula del tallo en relación a la superficie total de éste, por lo que tienen mayor superficie conductora de agua que los tallos crecidos en el sustrato T. A su vez, el análisis correspondiente a la Conductancia máxima ( $C.m.$ ) reveló diferencias significativas en el parámetro sustrato, apreciándose la misma situación que en los casos de conductancia inicial; las plantas de encinas crecidas en el sustrato T experimentaron menor Conductancia máxima que las crecidas en el N. Idéntico comportamiento muestra la conductancia máxima xilemática específica ( $C.m._{ex}$ ).

En lo que respecta a la conductancia máxima específica, tanto referida a peso seco foliar como a superficie foliar, se apreciaron diferencias entre tratamientos de manera que el tratamiento Control tienen mayor capacidad de transportar o suministrar agua a sus hojas que las plantas Inoculadas ( $0,0065$  frente a  $0,0035$   $kg/m^2$  s Mpa). En la Conductancia máxima específica respecto a la superficie foliar se observan, además,

diferencias entre sustratos donde los valores del sustrato N (natural) son mayores que los del T (turba). En general, las plantas del tratamiento Control y sustrato N (natural) tienen mayor capacidad de transportar agua a sus hojas que las del tratamiento Inoculado y sustrato T (turba) (tabla 4). La conductividad hidráulica tienen el mismo comportamiento.

El análisis de la pérdida de la conductancia hidráulica (PCH) reveló diferencias entre los tratamientos. Las plantas control han sufrido una mayor pérdida de conductividad que las inoculadas ( $33,75 \pm 4,2$  frente a  $20,3 \pm 2,7\%$ ), pero estos valores observados en cada tratamiento están dentro de los valores normales de PCH obtenidos incluso en plantas sanas y bien regadas (10-30%).

### Agradecimientos

Este estudio se ha desarrollado dentro del proyecto QUERCUS/SP5.45 del Programa INTERREG III, co-financiado con fondos FEDER y del Plan Propio de Investigación de la Universidad de Huelva. Los autores desean expresar su agradecimiento a Ana Cristina Moreira por facilitarnos las cepas del patógeno y por orientación en el proceso de inoculación, a José Carlos Muñoz de Biolandes Andalucía por su ayuda en la pasteurización del sustrato, a numerosos alumnos de Ingeniería Forestal de Huelva por su ayuda en el semillado y evaluación del ensayo (María del Mar, Vanesa, Alfredo,...); a Esteban Ortega por su ayuda en la recolección de semillas y a los propietarios de las fincas donde se encontraban los progenitores.

### BIBLIOGRAFÍA

- AGRIOS, G.N., 1997. Plant Pathology. Academia Press. San Diego. 635 pp.
- BRASIER, C.M., 1996: *Phytophthora cinnamomi* and oak decline in southern Europe. Environmental constraints including climate change. *Ann. Sci. For* 53: 347-358.
- BRASIER, C.M., MOREIRA, A.C., FERRAZ, J. F. P. & KIRK, S. 1993a. High mortality of cork oak in Portugal associated with *P. cinnamomi*. In: Proceedings of the International Congress Recent advances in studies on oak decline. (N. Luisi, P. Lerario, A. Vannini, eds) pp 461-462.
- BRASIER, C.M., ROBREDO, F. & FERRAZ, J. F. P. 1993b. Evidence for *P. cinnamomi* involvement in Iberian oak decline. *Plant pathology* 42: 140-145.
- EDWIN D.C. y RIBEIRO O.K. 1996. *Phytophthora diseases worldwide*. APS Press American Phytopathol. Soc. St Paul, Minn.
- FERRAZ J., CRAVADOR A., MOREIRA AC. CAETANO P. 2003. Seca, amenaza para la industria del corcho. *Europacork* 8:28-30
- GALLEGO, FJ., de ALGABA AP. FERNANDEZ-ESCOBAR R. 1999. Etiology of oak decline in Spain. *Eur. J. For. Path.*, 29:17-27
- JUNG, T., COOKE, D.G.L. BLASHKE, H. DUNCAN, J.M., OSWALD, W. 1999. *Phytophthora quercinea* sp. nov., causing root rot of European oaks. *Mycological Research* 103: 785-798).
- LÓPEZ, G., DOMÍNGUEZ, L., SÁNCHEZ, I., TAPIAS, R. CREMADES, D., PARAMIO, A. y ALESSO, P 2004. Population ecology of xylophagous beetles (Coleoptera: Cerambycidae) in the southwest of the Iberian Peninsula and its incidence on the oak forest health (*Quercus ilex* L. ssp. *ballota* and *Quercus suber* L.). MEDECOS 10. International workshop. Rhodas Grecia
- LUISI, N., LERARIO, P., VANNINI, A. (eds.). 1993: Recent advances in studies on oak decline. Proc. Int. Congress, Brindisi, Italy, September 13-18, 1992.
- LUQUE, J., COHEN, M. SAVÉ, R., BIEL, C., ALVAREZ, I.F. 1999. Effects of three fungal pathogens on water relations of two, chlorophyll fluorescence and growth of *Quercus suber* L. *Ann.For. Sci.* 56:19-26.
- LUQUE J; PARLADE J; PERA J, 2002. Seasonal changes in susceptibility of *Quercus suber* to *Botryosphaeria stevensii* and *Phytophthora cinnamomi*. *Plant-Pathology*. 2002, 51: 3, 338-345
- MANION, P.D., 1991. Tree Disease Concepts. Prentice-Hall Ed., Londres. 402 pp.
- MARSCHNER, H. 1995 Mineral nutrition of higher plants. Academic Press Limited, London, UK. 889 pp.
- MONTOYA, J. M. 1992. Mortandad de quercíneas: la perspectiva selvícola y los antecedentes climáticos. La cuestión de *Hypoxylon mediterraneum* en el alcornoque de Mamora (Marruecos). *Ecología* 6: 123-130.
- MOREIRA, A.C. (2001) Aspectos da interacção entre *Phytophthora cinnamomi* e a doença do declínio em *Quercus suber* e *Quercus rotundifolia*. Dissertação de doutoramento. Universidade do Algarve.
- NAVARRO, R.M.; FERNÁNDEZ, P.; TRAPERO, A.; CAETANO, P.; ROMERO, M.A.; SÁNCHEZ, M.E.; FERNÁNDEZ, A.; SÁNCHEZ, I.; LÓPEZ, G. (2004). Los procesos de decaimiento de encinas y alcornoques. Monografía. Convenio Consejería de Medio Ambiente-Universidad de Córdoba. Dirección General de Gestión del Medio Natural. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. 32 pp.
- RAGAZZI, A., FEDI, I.D., MESTURINO, L., 1989. The oak decline: a new problem in Italy. *Eur. J. For. Path.* 19: 105-110.

- RUPÉREZ A., MUÑOZ A., 1980. Grave enfermedad de las encinas. Bol.San. Veg. Plagas 6 :107
- SÁNCHEZ, M.E., CAETANO, P., FERRAZ, J., TRAPERO, A. 2002. Phytophthora disease of Quercus ilex in south-western Spain. Forest Pathology 32: 5-18.
- SÁNCHEZ, M.E., CAETANO, P., FERRAZ, J., TRAPERO, A., 2000 a. El decaimiento y muerte de encinas en tres dehesas de la provincia de Huelva. Bol. San. Veg. Plagas 26: 447-464.
- SCHOLANDER PF, HAMMEL HT, HEMMINGSEN EA, BRADSTREET ED. 1964. Hydrostatic pressure and osmotic potential in leaves of mangroves and some other plants. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA 52, 119–125
- SHAW, T.M. MOORE, J.A., MARSHALL, J.D. 1998. Root chemistry of Douglas-fir seedlings grown under different nitrogen and potassium regimes. Can. J. For. Res. 28 :1566-1573.
- SINCLAIR, W.A., 1965. Comparison of recent declines of white oak, oaks, and sugar maple in Northeastern woodlands. Cornell Plantation 20: 62-67.
- SOLLA HACH, A. 2000. Mejora genética de Ulmus minor Miller: selección de ejemplares resistentes a la grafiosis. Tesis Doctoral. ETSI de Montes. UPM. Madrid.
- TUSET JJ., HINAREJOS C. MIRA, JL. COBOS JM. 1996. Implicación de *Phytophthora cinnamomi* en la enfermedad de la seca de las encinas y alcornoques. Bol. San. Veg. Plagas 22 :491-499.
- VANINI, A., VALENTINI, R. 1994. Influence of water relations on Quercus cerris-Hypoxylon mediterraneum interaction: a model of drought-induced susceptibility to a weakness parasite. Tree Physiol. 14:129-139

INFECCIÓN ARTIFICIAL	POTENCIAL HÍDRICO	IRGA	FLUORÍMETRO
PREVIO	25/05/2004	31/05/2004	25/05/2004
18-19 días desde la inoculación	08/07/2004	19/06/2004	18/06/2004
33-39 días desde la inoculación	30/07/2004	02/07/2004	02/07/2004
45-60 días desde la inoculación		14/07/2004	14/07/2004
80-85 días desde la inoculación	20/08/2004	20/08/2004	25/08/2004

Tabla 1. Fechas en las que se realizaron las distintas evaluaciones de estado fisiológico de la planta. La primera columna indica los días transcurridos desde la inoculación con *P. cinnamomi*.

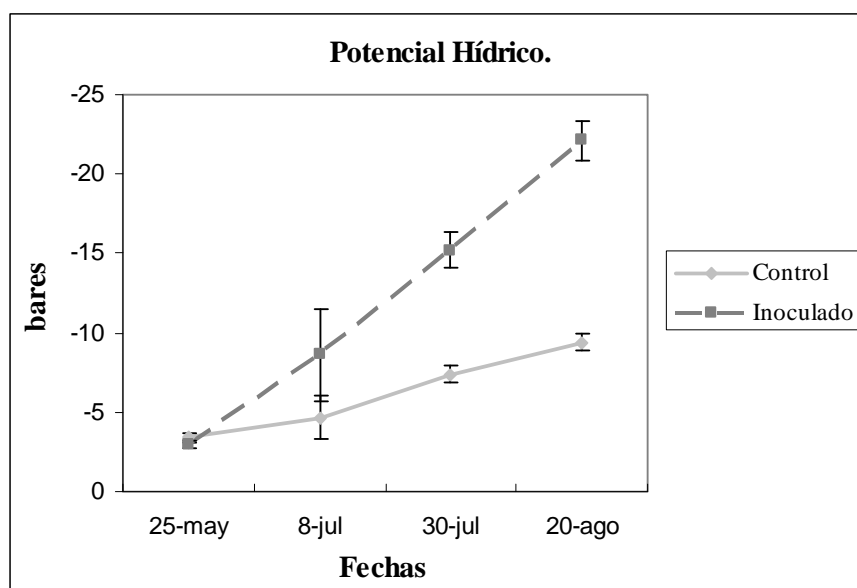


Figura 1. Variación del Potencial Hídrico de las encinas ( $\pm$ ET) por fechas y tratamientos.

		31/05/2004	19/06/2004	02/07/2004	14/07/2004	20/08/2004
<b>Transpiración</b> (mmol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Control	5,61±0,24	3,45±0,44	5,29±0,38	5,62±1,01	7,07±0,24
	Inoculado	5,17±0,26	3,94±0,34	4,16±0,32	4,49±0,50	3,39±0,26
<b>Cond. estomática</b> (mmol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Control	257,78±17,64	179,74±26,79	261,48±34,20	365,16±95,62	351,95±17,64
	Inoculado	234,76±15,87	209,06±20,48	214,99±27,49	228,10±30,09	149,81±15,87
<b>Fotosíntesis</b> ( $\mu$ mol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Control	10,75±0,56	7,68±1,01	11,19±0,70	13,12±2,36	14,09±0,56
	Inoculado	9,65±0,62	8,87±0,87	8,91±0,86	9,64±1,27	6,89±0,62

Tabla 2. Variación de los parámetros de intercambio gaseoso de encinas según fechas y tratamientos de inoculación

	N	T
<b>C.i.</b> (Kg/s MPa)	$1,331 \cdot 10^{-5} \pm 2,927 \cdot 10^{-6}$	$0,633 \cdot 10^{-5} \pm 1,828 \cdot 10^{-6}$
<b>C.i.<sub>ex</sub></b> (Kg/m <sup>2</sup> s MPa)	2,78±0,51	1,10±0,32
<b>C.max.</b> (Kg/s MPa)	$1,941 \cdot 10^{-5} \pm 4,863 \cdot 10^{-6}$	$0,977 \cdot 10^{-5} \pm 2,357 \cdot 10^{-6}$
<b>C.max.<sub>ex</sub></b> (Kg/m <sup>2</sup> s MPa)	3,90±0,71	1,72±0,42

Tabla 3. Valores medios de conductancia hidráulica de las plantas cultivadas en una mezcla de suelo natural, arena y vermiculita (N) y las cultivadas en un sustrato comercial de turba y vermiculita (T). C.i.: conductancia inicial, C.i.<sub>ex</sub>: Conductancia inicial específica xilemática referida a la sección del xilema conductor (m2). C.max. conductancia máxima después de revertir posibles cavitaciones; C.max.<sub>ex</sub>: Conductancia máxima específica xilemática referida a la sección del xilema conductor (m2).

	Control		Inoculado	
	N	T	N	T
<b>C.m.<sub>efs</sub></b> (Kg/m <sup>2</sup> s MPa)	0,008±0,002	$0,005 \pm 0,86 \cdot 10^{-3}$	0,004±0,001	0,003±0,001

Tabla 4. Valores medios (±ET) de Conductancia máxima específica respecto a la superficie foliar por sustratos y tratamientos de las plantas cultivadas en una mezcla de suelo natural, arena y vermiculita (N) y las cultivadas en un sustrato comercial de turba y vermiculita (T).

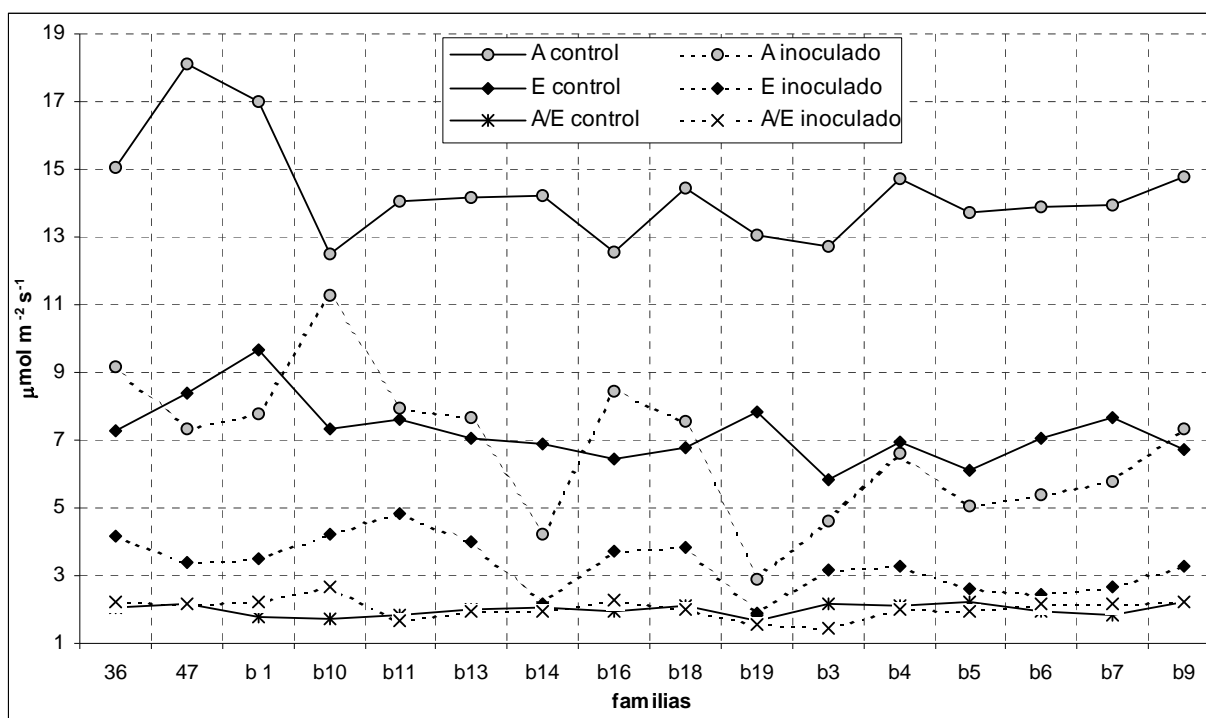


Figura 2. Promedios familiares de fotosíntesis (A), transpiración (E) y eficiencia en el uso del agua (A/E) al final del ensayo de inoculación. La línea continua se refiere a las plantas control y la discontinua a las inoculadas.