

Dinámica de la humedad del suelo bajo encinas decaídas y no decaídas en focos de *Phytophthora cinnamomi*

T. CORCOBADO, M. A. DELGADO, E. CUBERA, A. PÉREZ, E. JUÁREZ,
G. MORENO, A. SOLLA

Las oscilaciones del nivel freático y humedad edáfica y la abundancia de raíces finas son posibles factores de decaimiento de las masas de *Quercus* en la Península Ibérica, especialmente si los árboles crecen en suelos infectados con *Phytophthora cinnamomi*. Sin embargo, no se ha hecho ningún estudio en campo y con árboles adultos que pruebe esta hipótesis. El estudio se realizó en Extremadura e incluyó 101 masas de *Quercus ilex* en las cuales se comparó la humedad edáfica, el nivel freático y la abundancia de raíces finas bajo árboles decaídos y no decaídos. La exposición de las raíces a encharcamiento (durante 2 meses), las fluctuaciones estacionales de la profundidad del nivel freático (aproximadamente 3,5 m) o los valores de humedad edáfica observados (25% vol. durante el verano) no justifican el decaimiento de los árboles. Sin embargo, la densidad de raíces finas fue aproximadamente un 16,2% menor en árboles decaídos que en árboles no decaídos y significativamente menor en árboles infectados con *P. cinnamomi* que en árboles no infectados (59,1 y 84,8 raíces m⁻², respectivamente; $p < 0.001$). Esta podredumbre radical combinada con las circunstancias habituales de encharcamiento durante el período de brotación y de estrés hídrico durante el verano determinará el estado de salud de los árboles.

T. CORCOBADO, M. A. DELGADO, E. CUBERA, A. PÉREZ, E. JUÁREZ, G. MORENO, A. SOLLA. Ingeniería Técnica Forestal. Universidad de Extremadura. Avenida Virgen del Puerto 2, 10600 PLASENCIA (Cáceres, España). asolla@unex.es

Palabras clave: *P. gonapodyides*, *Quercus ilex*, decaimiento, nivel freático, densidad radical.

INTRODUCCIÓN

El decaimiento de *Quercus* en la Península Ibérica ha sido atribuido al patógeno de suelo *P. cinnamomi* como principal factor biótico (BRASIER, 1996; TUSET *et al.*, 1996). Sin embargo, muchos estudios realizados en focos de árboles decaídos con presencia de *P. cinnamomi* apuntan al estrés hídrico como principal causa del decaimiento (COSTA *et al.*, 2010), especialmente en suelos arenosos poco profundos y con una baja capacidad de retención de agua, y cuando el estrés es prolongado. Ambas causas de decaimiento, separadas o combinadas originan los mis-

mos síntomas y además pueden dar lugar a la muerte súbita de los árboles (JUNG *et al.*, 2000). Además de la interacción entre *P. cinnamomi* y los periodos de sequía periódicos o prolongados, hay otro factor abiótico que interviene en este proceso: el encharcamiento del suelo. El encharcamiento del suelo favorece la infección de especies leñosas por parte de *P. cinnamomi*, especialmente de especies mediterráneas de *Quercus* (SÁNCHEZ *et al.*, 2002) ya que este patógeno requiere de la existencia de agua libre para la dispersión de sus zoosporas. En condiciones controladas de invernadero se ha comprobado que la pudrición de raíces y los síntomas

foliares de decaimiento son más acusados bajo un encharcamiento continuo que periódico (ROMERO *et al.*, 2007). La falta de estudios que evalúen los efectos combinados de la presencia de *P. cinnamomi* y las condiciones cambiantes de sequía y encharcamiento dan lugar a un gran desconocimiento en torno a las causas primarias del decaimiento.

Aunque la dinámica de la humedad edáfica parece jugar un papel importante en el decaimiento de *Quercus* existen todavía numerosas incógnitas sin resolver. Estas incógnitas hacen referencia a preguntas como (i) ¿está el decaimiento relacionado con variaciones extremas del nivel freático? (ii) ¿está el decaimiento relacionado con bajos niveles de humedad edáfica? o (iii) ¿está asociado a la pérdida de raíces finas? El presente estudio pretende responder estas preguntas a través de dos experimentos independientes pero complementarios llevados a cabo en campo. Este estudio se centra en la encina (*Quercus ilex* L.), especie dominante de los ecosistemas mediterráneos europeos y considerada la más susceptible a *P. cinnamomi*. Las hipótesis que se plantean a partir de las anteriores incógnitas son: (i) las encinas decaídas están sometidas a largos periodos de encharcamiento y fuertes oscilaciones del nivel freático, (ii) en el decaimiento de la encina está implicado un déficit estival de humedad edáfica y (iii) la densidad radical de los árboles decaídos es menor que la densidad de los no decaídos debido a la acción de *P. cinnamomi*.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio fue realizado en Extremadura donde se seleccionaron 101 focos de decaimiento repartidos por toda la región. Estos focos fueron seleccionados a partir de 420 dehesas que presentaban decaimiento (DEL POZO, 2006) de las cuales se excluyeron aquellos focos cuyas encinas estaban dañadas

debido a la acción de *Botryosphaeria corticola* o *Cerambyx* sp., o aquellos con abundancia de alcornoques (*Q. suber* L.). El clima del área de estudio se corresponde con un clima mediterráneo seco con una precipitación media anual de 630 mm, que se concentra desde diciembre hasta mayo. Las temperaturas mínimas y máximas ocurren durante enero (7,4°C) y agosto (28,7°C), respectivamente.

Diseño experimental

El material vegetal consistió en la selección de seis árboles por foco, tres árboles no decaídos ($\leq 5\%$ de defoliación) y tres árboles decaídos (21-40% de defoliación) clasificados con un grado 0 y 3 según las categorías designadas por FERNÁNDEZ-ESCOBAR *et al.* (1999), respectivamente. En cada foco, los árboles se distribuían en 3 parejas a lo largo de una vaguada, una ladera y un alto, en un gradiente de elevación (factor orografía). Cada pareja constaba de un árbol decaído y un árbol no decaído. Los árboles tenían una edad comprendida entre los 60 y 100 años de antigüedad, su altura oscilaba entre los 6 y 10 m, con un diámetro de tronco de 30 a 90 cm y un diámetro de copa de 7,5 a 12 m.

Se llevaron a cabo 2 experimentos. El primer experimento incluye 5 focos seleccionados al azar del total ($n = 101$), en los cuales *P. cinnamomi* fue aislada. Se estudiaron 30 árboles bajo los cuales se realizaron mediciones periódicas del nivel freático, de la humedad edáfica y de la presencia de *Phytophthora* spp. El segundo experimento se desarrolló en 96 focos incluyendo 576 árboles, en los cuales se realizó un análisis de la densidad radical.

Experimento 1

En cada uno de los 30 árboles a 3 m de la base del tronco se instaló una sonda para poder medir el nivel freático. Estas sondas

consistían en tubos de PVC perforados (13 cm de diámetro) que se instalaron en el suelo mediante perforaciones de 6 m de profundidad. El nivel freático se midió con una cinta métrica que contiene un sensor que emite una señal acústica en contacto con el agua. Las mediciones se realizaron mensualmente desde marzo de 2009 hasta febrero de 2011 durante 1 o 2 días consecutivos.

La humedad edáfica (θ) de los 30 árboles fue medida a través de un tubo de PVC de 9 cm de diámetro por árbol. Este tubo se instaló a 2 m del otro tubo hasta una profundidad de 3 m. Con el fin de asegurar un buen contacto entre el tubo y el suelo y así evitar la formación de burbujas de aire, se rellenó el espacio libre entre el tubo y el suelo con caolinita (película < 0,5 cm de ancho como máximo). Las medidas de la humedad se realizaron mensualmente a intervalos de 10 cm con una sonda Diviner 2000 series II (Sentek, Australia), desde marzo de 2009 hasta febrero de 2011 durante 1 o 2 días consecutivos.

En cada uno de los 30 árboles se recogieron muestras de rizosfera y de raíces para estudiar la presencia de *P. cinnamomi* y *Pythium spiculum*. Estas muestras consistían en 300 ml de rizosfera y aproximadamente 25 raíces por árbol que se recogían a 1-2 m del tronco, a profundidades de 10 a 50 cm. La presencia de *P. cinnamomi* y *Py. spiculum* en la rizosfera se evaluó según el método de ROMERO *et al.* (2007). El aislamiento a partir de raíces se realizó mediante la esterilización (2 min en hipoclorito sódico acuoso), el lavado y secado de fragmentos de raíces de 1 cm que posteriormente fueron colocados en medio selectivo. Se prepararon 5 placas por árbol y se incubaron a 24°C en oscuridad durante 2-3 días, tras lo cual estas colonias fueron transferidas a un medio de zanahoria-agar. Para identificar los aislados se llevaron a cabo observaciones a través del microscopio de estructuras típicas de *P. cinnamomi* como son los hinchamientos hifales y micelio coraloide-botrioso, o en el caso de *Py. spiculum*, de gametangios y oosporas. Estos muestreos se llevaron a cabo estacio-

nalmente cada 3 meses, desde otoño de 2008 hasta primavera de 2010.

Experimento 2

El análisis radical de los 576 árboles, localizados en los 96 focos, se llevó a cabo mediante la excavación de una calicata por árbol. El hoyo se realizó con la ayuda de una pala retroexcavadora y tenía una anchura de 2,5 m y 1,5 m de profundidad (cuando era posible). Las calicatas se hicieron 2-3 m vaguada abajo respecto al tronco del árbol y estuvieron orientadas tangencialmente a la copa del árbol. En el perfil del suelo se superponía una cuadrícula transparente de 30 cm de ancho y sobre él se contabilizaba el número de raíces finas (< 2 mm de diámetro) y raíces gruesas (≥ 2 mm) cada 20 cm de profundidad.

Se recogieron muestras de raíces y rizosfera en cada uno de los 6 árboles por foco siguiendo el procedimiento comentado anteriormente. En este caso, se recogían muestras de rizosfera y de raíces a 3 profundidades distintas: 10-49 cm, 50-99 cm y 100-150 cm aprovechando el hoyo excavado. Se prepararon 10 placas y 3 placas con medio selectivo NARPH por muestra de rizosfera y de raíces, respectivamente, para el aislamiento de *P. cinnamomi* y *Py. spiculum*. El experimento se realizó durante los meses de abril, mayo y principios de junio de 2008 y 2009.

Análisis de los datos

Para una mejor interpretación, los valores de nivel freático y humedad se agruparon en estaciones obteniendo así cuatro lecturas por año. Dentro de las estaciones se observó la ausencia de diferencias significativas de nivel freático y de humedad entre meses y años. La relación entre el nivel freático y el decaimiento se analizó mediante el procedimiento MIXED (mixed linear model ANCOVA), usando el estado del árbol como un factor

fijo, el foco como un factor al azar, la elevación respecto al nivel del cauce como covariable y las estaciones como medidas repetidas. Los valores de humedad, previamente transformados para alcanzar la normalidad, se analizaron también con un MIXED ANCOVA usando el estado del árbol y la profundidad como factores fijos, el foco como factor al azar, la elevación como covariable y las estaciones como medidas repetidas. Se aplicaron test de Tukey a posteriori cuando existían diferencias significativas. Las fluctuaciones estacionales de humedad y nivel freático se analizaron mediante un General Lineal Model (GLM) tomando el estado del árbol y la profundidad como factores y la elevación como covariable. En el análisis de las medidas repetidas la significación se estableció para valores de p inferiores a 0,002 según la corrección de Bonferroni. Para el análisis de las raíces se calculó la densidad de raíces finas (n/m^2) en una profundidad de 1,5 m. Se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) utilizando el estado del árbol como factor fijo y el foco como factor al azar anidado en orografía. Los análisis se realizaron con los programas STATISTICA (versión 7.0, Stat-

soft, Tulsa, OK) y SAS (version 9.2, SAS Institute, Cary, NC).

RESULTADOS

Durante el año 2009 y 2010 el nivel freático mostró una alternancia de periodos secos y húmedos siguiendo la dinámica de precipitaciones (Figura 1). El nivel freático medio de los árboles decaídos y no decaídos fue similar ($3,37 \pm 2,07$ y $3,43 \pm 2,16$ m, respectivamente) y no se observaron diferencias de fluctuaciones entre árboles decaídos y no decaídos ($5,15 \pm 1,42$ y $5,20 \pm 1,28$ m, respectivamente). Las máximas fluctuaciones se observaron en un foco ubicado en Vegaviana ($5,96 \pm 1,34$) y además, en general, estas fluctuaciones fueron significativamente mayores en las partes altas que en las laderas o en las zonas cercanas a las vaguadas ($5,20 \pm 0,52$, $4,35 \pm 0,40$ y $4,09 \pm 0,39$ m, respectivamente; $p = 0,010$).

La humedad del suelo (θ) varió significativamente aunque de forma ligera entre árboles decaídos y no decaídos ($30,65 \pm 0,11$ y $30,48 \pm 0,12\%$ respectivamente; $p \leq 0,0001$).

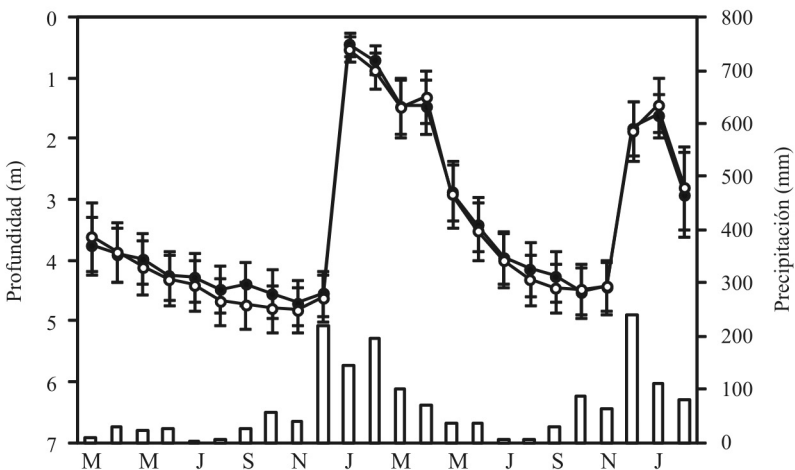


Figura 1. Valores medios del nivel freático bajo árboles decaídos (●) y no decaídos (○) desde marzo de 2009 hasta febrero de 2011. Las barras corresponden al error estándar; $n = 15$

Estas diferencias fueron dependientes de las estaciones (interacción estado del árbol × estación; $p = 0,0004$). Durante el invierno y la primavera los árboles decaídos tenían valores más bajos de θ que los árboles no decaídos ($p \leq 0,0001$), pero durante el verano y el otoño esta tendencia se invertía ($p \leq 0,002$; Figura 2). Durante el verano y el otoño, especialmente en las partes altas, el suelo estaba más húmedo bajo árboles decaídos que bajo árboles no decaídos (interacción estado del árbol × elevación × estación; $p \leq 0,0001$). Este patrón, sin embargo, no se observó en la ladera o en zonas cercanas a vaguada ni durante las estaciones de invierno y primavera. Los valores medios de θ aumentaron de forma acusada con la profundidad ($p \leq 0,0001$), especialmente en los primeros 0,5 m de profundidad (Figura 3). Durante las estaciones secas (verano y otoño) esta observación se extendía por todo el perfil, sin embargo durante el invierno y la primavera θ era constante a medida que la profundidad aumentaba desde los 0,5 hasta los 3 m (interacción estado del árbol × profundidad × estación; $p \leq 0,0001$).

Así, durante la primavera (marzo) a profundidades intermedias (0,5-2,0 m) el suelo estaba más seco bajo árboles decaídos que bajo árboles no decaídos ($p = 0,0004$), mientras que a profundidades mayores (2,0-3,0 m) θ era similar bajo ambos grupos de árboles ($p = 0,08$; Figura 3). Durante el otoño a profundidades intermedias (0,5-1,0 m) el suelo estaba menos húmedo bajo árboles decaídos que bajo árboles no decaídos, mientras que a profundidades mayores (1,0-3,0 m) el suelo estaba más seco bajo árboles no decaídos ($p \leq 0,0001$; Figura 3). Las fluctuaciones de θ fueron mayores bajo árboles no decaídos que bajo árboles decaídos ($p = 0,013$).

En el experimento 1, se aisló *P. cinnamomi* de muestras (raíces o rizosfera) recogidas bajo 13 árboles decaídos y 11 no decaídos ($n = 15$). Además, en un foco ubicado en Malpartida de Plasencia en un árbol decaído, *P. gonapodyides* fue también aislada. Los aislamientos fueron más exitosos en primavera que en otoño o invierno, mientras que en verano no se obtuvo ningún aislado. *Py. spiculum* se aisló bajo 14 árboles decaídos y

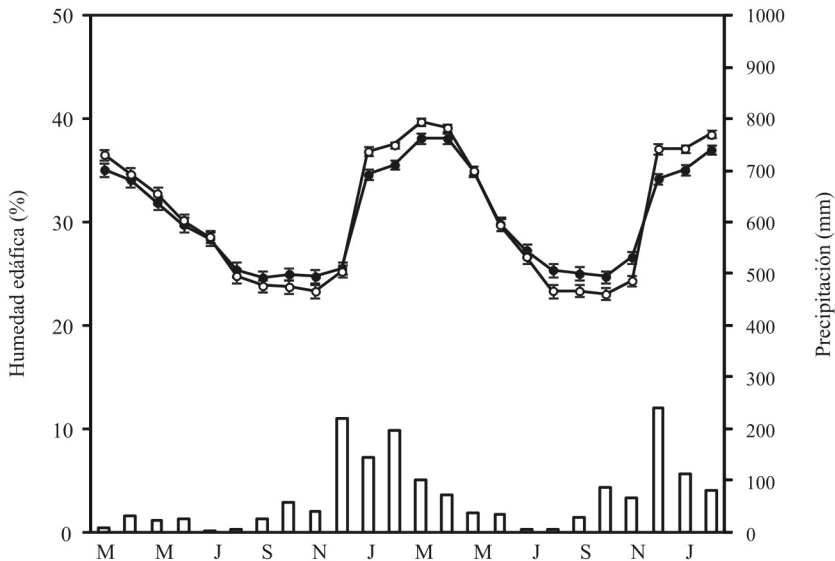


Figura 2. Valores medios de la humedad edáfica bajo árboles decaídos (●) y no decaídos (○) desde marzo de 2009 hasta febrero de 2011. Las barras corresponden al error estándar; $n = 15$

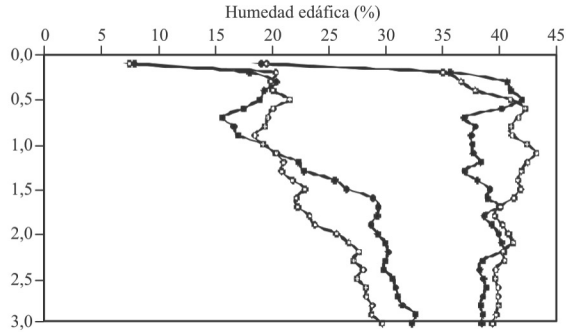


Figura 3. Perfil de la humedad edáfica (m) durante el mes más húmedo (derecha) y el mes más seco (izquierda) (marzo y octubre de 2010, respectivamente) bajo árboles decaídos (●) y no decaídos (○); n = 15

10 no decaídos (n = 15), y la frecuencia de aislamiento fue independiente de la estación.

En el experimento 2, *P. cinnamomi* se aisló de 65 focos y su presencia fue significativamente mayor bajo árboles decaídos que no decaídos ($p = 0,008$). Los aislamientos eran también más frecuentes en muestras recogidas en zonas cercanas a vaguadas que en ladera o en las partes altas ($p < 0,001$). *Py. spiculum* se aisló en 46 focos. La presencia de *Py. spiculum* fue mayor bajo árboles decaídos que bajo árboles no decaídos en los casos en los que las muestras eran recogidas en zonas cercanas a vaguadas (interacción estado del árbol \times elevación; $p = 0,012$). La máxima profundidad del suelo y el número de raíces gruesas en el perfil del suelo fue similar bajo árboles decaídos y no decaídos (1,18 y 1,23 cm; 7,9 y 6,7 raíces m^{-2} , respectivamente; $p > 0,1$), con independencia de la elevación. Sin embargo, la densidad de raíces finas fue significativamente menor en árboles decaídos que en no decaídos (73,7 y 82,9 raíces m^{-2} , respectivamente; $p = 0,016$), y significativamente menor en zonas cercanas a vaguadas que en laderas o en partes altas (73,1; 80,5 y 78,5 raíces m^{-2} respectivamente; $p = 0,048$). La densidad de raíces finas fue también significativamente menor en árboles infectados con *P. cinnamomi* que en árboles no infectados con *P. cinnamomi* (59,1 y 84,8 raíces m^{-2} , respecti-

vamente; $p < 0,001$) pero similar entre árboles no infectados e infectados con *Py. spiculum* (80,9 y 77,3 raíces m^{-2} , respectivamente; $p = 0,6$).

DISCUSIÓN

En relación a la primera cuestión que nos planteamos en la introducción, no se puede concluir que el decaimiento de *Q. ilex* esté asociado a variaciones extremas del nivel freático. En ninguno de los focos las fluctuaciones fueron mayores bajo árboles decaídos que bajo no decaídos. A nivel de foco, sin embargo, Vegaviana, con las mayores tasas de mortalidad de árboles, mostró las máximas fluctuaciones del nivel freático. En otros estudios se ha observado un decaimiento más severo de *Quercus* sp. en sitios donde había grandes fluctuaciones de nivel freático (SOLLA *et al.*, 2009). El efecto de las fluctuaciones del nivel freático en el vigor del árbol dependerá del periodo de tiempo en el cual las raíces estén expuestas al agua y de si bajo estas condiciones se favorecerá la acción de patógenos. El encharcamiento produce la inhibición del crecimiento de los árboles, especialmente el desarrollo de las raíces y la alteración del metabolismo y de diferentes parámetros fisiológicos (GÉRARD *et al.*, 2009). Si en los cinco focos estudiados asumimos que las raíces alcanzan

una profundidad de 1,2 m, durante dos meses en 2010 aproximadamente un tercio de las raíces habrían estado sufriendo encharcamiento. Por otra parte, si asumimos que las raíces alcanzan una profundidad de 5 m como el constatado en *Q. ilex* en fincas cercanas (MORENO *et al.*, 2005), durante 4 meses en 2010 y durante dos meses en 2011, en torno a un tercio de las raíces habrían estado encharcadas. Durante la estación seca, la captación de agua de las raíces depende de las capas profundas. Si las raíces localizadas en estas capas profundas sufren daños por la exposición a periodos prolongados de encharcamiento, el árbol tendrá más dificultades para absorber agua durante la estación seca, periodo que se extiende hasta noviembre o diciembre (Figura 2). Por otra parte, el encharcamiento también favorece la esporulación de *Phytophthora* spp. y la dispersión de las zoosporas facilitando así la infección (ROBIN *et al.*, 2001), especialmente en épocas cálidas. Estos periodos de encharcamiento podrían explicar en el experimento 1 la presencia de *P. cinnamomi* de forma similar en árboles decaídos y árboles no decaídos y la presencia de *P. gonapodyides* (CORCOBADO *et al.*, 2010).

¿Está el decaimiento directamente relacionado con valores bajos de θ ? Los valores observados de θ en este estudio no generan normalmente estrés hídrico en *Q. ilex* como se observó en fincas cercanas a los focos estudiados aquí (CUBERA y MORENO, 2007). Además, el hecho de que durante los periodos secos, θ sea mayor bajo árboles decaídos invalida nuestra segunda hipótesis. Esta interpretación debe ser tomada con cautela, ya que como se discute abajo, como los árboles decaídos tienen un 10% menos de raíces finas por metro cuadrado que los no decaídos, esto supone una reducción de la densidad de raíces finas de un 16,2% (en volumen).

Bajo árboles no decaídos θ aumentó desde la parte alta hacia la vaguada mientras que en árboles decaídos, sin embargo, θ aumentó desde la vaguada hacia la parte alta, patrón que se manifestaba también en las ob-

servaciones de NAGLE *et al.* (2010). La abundancia de raíces observada en la parte alta, mayor que en vaguada, tal vez explique esta diferencia. La relación inversa entre raíces y θ también revela la mayor fluctuación de θ bajo árboles no decaídos que decaídos. Diferencias en las fluctuaciones de θ son atribuidas a un uso más activo del agua por parte de los árboles no decaídos, especialmente bajo 1 m donde el sistema radical está bien desarrollado (MORENO *et al.*, 2005). De 0-2 m de profundidad se midieron valores más altos de θ lejos de la copa de *Q. ilex* que debajo de la copa (CUBERA y MORENO, 2007). Desde este punto de vista es razonable hallar diferencias de θ entre árboles con diferentes densidades de hojas y raíces. Los árboles decaen no por falta de agua edáfica, sino por su incapacidad a utilizarla por falta de raíces finas.

Los resultados obtenidos en el muestreo extensivo confirman la hipótesis de que hay menos raíces finas bajo encinas decaídas que bajo las no decaídas debido al daño causado por *P. cinnamomi*. Muestreos similares confirman la destrucción de las raíces finas en otros árboles decaídos (JUNG *et al.*, 2000; SÁNCHEZ *et al.*, 2003). Bajo estas circunstancias la falta de agua jugaría un rol definitivo en la supervivencia del árbol, ya que el mínimo valor de θ , necesario para una suficiente absorción de agua ante menos raíces aumentaría. En febrero de 2012 se contabilizó la muerte de dos árboles decaídos en Cuartón, un árbol decaído en San Esteban y otro árbol decaído en Haza (3 de los focos monitorizados en experimento 1). Antes de la muerte, estos árboles decaídos probablemente se enfrentaron a dos tipos de situaciones: (i) una intensa pudrición radical combinada con una ligera falta de agua, y (ii) una ligera pudrición radical con una severa falta de agua. La primera circunstancia probablemente ocurrió en zonas cercanas a vaguada, donde θ es elevada y los árboles normalmente están sometidos a un encharcamiento temporal (BRASIER, 1996), circunstancias que favorecen la infección de *P. cinnamomi*. La segunda situación posiblemente ocurrió en

ladera y en las partes altas, donde *Phytophthora* es menos activa y θ y la capacidad de retención de agua es menor. El decaimiento severo de *Quercus* ha sido observado tanto en laderas como en vaguadas (SÁNCHEZ *et al.*, 2002).

Atendiendo a nuestros resultados, las fluctuaciones y el déficit de θ no son factores de predisposición al decaimiento como se sugiere en otros trabajos (JÖNSSON *et al.*, 2005). Las fluctuaciones y el déficit de θ pueden ser causas directas de la muerte de la planta una vez que ésta tiene su sistema radical dañado por la acción de patógenos de raíz. La supervivencia de árboles infectados en los ecosistemas dependerá de la cantidad de raíces finas disponibles, de la capacidad de retención del suelo y de la suficiente θ para permitir la captación de agua. Asumiendo que la capacidad de retención de agua en el suelo se mantuviera constante en un sitio, la supervivencia dependerá de las estrategias que desarrolle el genotipo del árbol para resistir la infección de *Phytophthora* y de la capacidad para reemplazar las raíces finas dañadas y para tolerar la sequía. Estas consideraciones podrían ser válidas para otras especies leñosas que sufren decaimiento en la Península Ibérica (por ejemplo, *Q. suber* y *Q. robur*) y deberían tenerse en cuenta en los programas de mejora.

De este estudio se concluye que *Q. ilex* en el suroeste de España (decaído o no) está

sometido a largos periodos de encharcamiento y a fluctuaciones extremas del nivel freático, lo cual puede contribuir a la esporulación e infección del patógeno. El déficit de θ detectado durante el verano no genera decaimiento, pero si los árboles sufren una pérdida de sus raíces finas, como es habitual debido sobre todo a la acción de *P. cinnamomi*, un déficit de θ sí originaría decaimiento. En el contexto actual de dispersión de *Phytophthora spp.* y de cambio climático, se espera un aumento del decaimiento de *Q. ilex* en España.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la ayuda recibida de Dra. Miren Lorente, Dr. Thomas Jung, Dra. M.^a Esperanza Sánchez (Universidad de Córdoba) y de Dra. M.^a Carmen Rodríguez-Molina (Centro de Investigación Finca La Orden). Los profesores Manuel Madeira, João Santos Pereira y Nuno Cortez (Instituto Superior de Agronomía, Lisboa) también prestaron una importante ayuda gracias a una Acción Integrada hispano-lusa financiada por MEC-UE. El estudio fue financiado a través de un acuerdo entre la Universidad de Extremadura y la Junta de Extremadura, y con los fondos ofrecidos por la Junta de Extremadura y la UE (proyectos regionales del III y IV PRI).

ABSTRACT

CORCOBADO, T., M. A. DELGADO, E. CUBERA, A. PÉREZ, E. JUÁREZ, G. MORENO, A. SOLLÀ. 2012. Soil water content dynamic under declining and non-declining trees in *Phytophthora cinnamomi* stands. *Bol. San. Veg. Plagas* **38**: 157-165.

Soil water table fluctuations, soil water content and fine roots abundance seem to play a role in the decline of oak forests in Iberia, especially if trees grow in *Phytophthora cinnamomi* infested soils. No experimental research has been conducted in the field, however, to test this hypothesis in mature trees. The study was performed in western Spain and included 101 *Quercus ilex* forest stands in which the soil water dynamic and the abundance of fine roots between declining and non-declining trees were compared. Exposure of roots to waterlogging (during 2 months maximum), annual fluctuations of the soil water table depth (about 3.5 m) or values of soil water content observed (about 25% vol during summer) could not explain alone the decline of trees. However, fine root density was about 16.2% lower in declining than in non-declining

trees, and significantly lower in *P. cinnamomi*-infected trees than in non-infected trees (59.1 and 84.8 roots m⁻², respectively; $p < 0.001$). Root damage caused by *P. cinnamomi* in combination with usual circumstances of waterlogging during bud-break period or water stress during summer will determine the health status of trees.

Key words: *P. gonapodyides*, *Quercus ilex*, decline, soil water table, root density.

REFERENCIAS

- BRASIER, C. M. 1996. *Phytophthora cinnamomi* and oak decline in southern Europe. Environmental constraints including climate change. *Ann. For. Sci.*, **53**: 347-358.
- CORCOBADO, T., CUBERA, E., PÉREZ-SIERRA, A., JUNG, T., SOLLA, A. 2010. First report of *Phytophthora gonapodyides* involved in the decline of *Quercus ilex* in xeric conditions in Spain. *New Disease Reports*, **22**: 33-33.
- COSTA, A., PEREIRA, H., MADEIRA, M. 2010. Analysis of spatial patterns of oak decline in cork oak woodlands in Mediterranean conditions. *Annals of Forest Science*, **67**: 204.
- CUBERA, E., MORENO, G. 2007. Effect of land-use on soil water dynamic in dehesas of Central-Western Spain. *Catena*, **71**: 298-308.
- DEL POZO, J. L. 2006. Prospección de la seca en Extremadura. Análisis de los resultados. En: M. ESPEJO, M. MARTÍN, C. MATOS, S. J. MESÍAS (eds.), *Gestión Ambiental y Económica del Ecosistema Dehesa en la Península Ibérica*: 131-143. Junta de Extremadura, Mérida.
- FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R., GALLEGO, F. J., BENLLOCH, M., MEMBRILLO, J., INFANTE, J., PÉREZ DE ALGABA, A. 1999. Treatment of oak decline using pressurized injection capsules of antifungal materials. *Eur. J. Forest Pathol.*, **29**: 29-38.
- GÉRARD, B., ALAOU-SOSSÉ, B., BADOT, P. M. 2009. Flooding effects on starch partitioning during early growth of two oak species. *Trees*, **23**: 373-380.
- JÖNSSON, U., JUNG, T., SONESSON, K., ROSENGREN, U. 2005. Relationships between health of *Quercus robur*, occurrence of *Phytophthora* species and site conditions in southern Sweden. *Plant Pathol.*, **54**: 502-511.
- JUNG, T., BLASCHKE, H., OBWALD, W. 2000. Involvement of soilborne *Phytophthora* species in Central European oak decline and the effect of site factors on the disease. *Plant Pathol.*, **49**: 706-718.
- MORENO, G., OBRADOR, J. J., CUBERA, E., DUPRAZ, C. 2005. Fine root distribution in Dehesas of Central-Western Spain. *Plant Soil*, **277**: 153-162.
- NAGLE, A. M., LONG, R. P., MADDEN, L. V., BONELLO, P. 2010. Association of *Phytophthora cinnamomi* with white oak decline in southern Ohio. *Plant Dis.*, **94**: 1026-1034.
- ROBIN, C., CAPRON, G., DESPREZ-LOUSTAU, M. L. 2001. Root infection by *Phytophthora cinnamomi* in seedlings of three oak species. *Plant Pathol.*, **50**: 708-716.
- ROMERO, M., SÁNCHEZ, J., JIMÉNEZ, J., BELBAHRI, L., TRAPERO, A., SÁNCHEZ, M. 2007. New *Pythium* taxa causing root rot on mediterranean *Quercus* species in south-west Spain and Portugal. *J. Phytopathol.*, **155**: 289-295.
- SÁNCHEZ, M. E., CAETANO, P., FERRAZ, J., TRAPERO, A. 2002. *Phytophthora* disease of *Quercus ilex* in southwestern Spain. *For Path*, **32**: 5-18.
- SÁNCHEZ, M. E., SÁNCHEZ, J. E., NAVARRO, R. M., FERNÁNDEZ, P., TRAPERO, A. 2003. Incidencia de la podredumbre radical causada por *Phytophthora cinnamomi* en masas de *Quercus* en Andalucía. *Bol. San. Veg. Plagas*, **29**: 87-108.
- SOLLA, A., GARCÍA, L., PÉREZ, A., CORDERO, A., CUBERA, E., MORENO, G. 2009. Evaluating potassium phosphonate injections for the control of *Quercus ilex* decline in SW Spain: implications of low soil contamination by *Phytophthora cinnamomi* and low soil water content on the effectiveness of treatments. *Phytoparasitica*, **37**: 303-316.
- TUSET, J. J., HINAREJOS, C., MIRA, J. L., COBOS, J. M. 1996. Implicación de *Phytophthora cinnamomi* Rands en la enfermedad de la seca en encinas y alcornoques. *Bol. San. Veg. Plagas*, **22**: 491-499.

(Recepción: 30 marzo 2012)

(Aceptación: 20 abril 2012)