

Incidencia de la podredumbre radical causada por *Phytophthora cinnamomi* en masas de *Quercus* en Andalucía.

M.E. SÁNCHEZ HERNÁNDEZ, J.E. SÁNCHEZ SOLANA, R.M. NAVARRO CERRILLO, P. FERNÁNDEZ REBOLLO, A. TRAPERO CASAS

Entre los factores bióticos implicados en la Seca de los *Quercus* destaca la podredumbre radical causada por *Phytophthora cinnamomi*. En este trabajo se ha estudiado la incidencia de *P. cinnamomi* en masas de *Quercus* afectadas de Seca en Andalucía. El estudio se ha llevado a cabo en ocho fincas situadas en las cuatro provincias andaluzas más afectadas por este decaimiento forestal. En la mayor parte de las fincas *P. cinnamomi* ha sido el principal agente fitopatógeno asociado, aunque no el único. Se han observado diferencias morfológicas entre los aislados de *P. cinnamomi* obtenidos de encina y los procedentes de alcornoque, mientras que las temperaturas óptimas de crecimiento fueron similares para todos los aislados. Además, se ha estudiado la correlación entre la presencia del hongo en árboles afectados y las variables meteorológicas. Se ha establecido que el aislamiento de *P. cinnamomi* no presenta buena correlación con la lluvia acumulada, humedad del suelo o temperaturas registradas en las fincas antes de la toma de muestras, aunque le favorecieron las temperaturas mínimas y medias elevadas.

M.E. SÁNCHEZ HERNÁNDEZ, J.E. SÁNCHEZ SOLANA, A. TRAPERO CASAS: Dpto. Agronomía. ETSIAM. Universidad de Córdoba. Apdo. 3048. 14080-Córdoba. Dirección de correo electrónico: trapero@uco.es
R.M. NAVARRO CERRILLO, P. FERNÁNDEZ REBOLLO: Dpto. Ingeniería Forestal. ETSIAM. Universidad de Córdoba. Apdo. 3048. 14080-Córdoba.

Palabras clave: *Phytophthora cinnamomi*, *Quercus ilex*, *Quercus suber*, Seca de los *Quercus*.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se ha observado en las masas de *Quercus ilex* y *Quercus suber* del sudoeste de España y sureste de Portugal un síndrome de decaimiento denominado Seca de los *Quercus*, causado por un número variable de factores bióticos y abióticos que producen un deterioro gradual y general de los árboles afectados, hasta su muerte (BRASIER, 1993; BRASIER *et al.*, 1993a, 1993b; COBOS *et al.*, 1993; MONTOYA, 1994; TUSET, 1995; BRASIER, 1996; TUSET *et al.*, 1996; GALLEGO *et al.*, 1999; NAVARRO y FERNÁNDEZ, 2000; SÁNCHEZ *et al.*, 2000b). La sintomatología asociada es inespecífica: defoliación, muerte regresiva de

brotos y ramos, abundante emisión de brotes adventicios (chupones), necrosis de sistema radical y muerte del árbol completo (BRASIER *et al.*, 1993a; MONTOYA, 1994; BRASIER, 1996; SÁNCHEZ *et al.*, 2000b).

Los factores de decaimiento son típicamente múltiples y ninguno de ellos por separado es capaz de reproducir los síntomas. Otra característica es que 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 (MANION, 1991).

Entre los factores bióticos implicados en el decaimiento de *Quercus* destaca la podredumbre radical causada por el oomiceto

Phytophthora cinnamomi. Si bien, en numerosas ocasiones este hongo ha sido citado como el principal agente del decaimiento (BRASIER *et al.*, 1993a; COBOS *et al.*, 1993; TUSET *et al.*, 1996; GALLEGU *et al.*, 1999), en otros casos su asociación con la Seca ha sido más vaga (FERNÁNDEZ y MONTERO, 1993), no existiendo información precisa acerca de su incidencia y distribución en las masas de *Quercus* que sufren el síndrome en Andalucía. El esclarecimiento de la importancia real de esta podredumbre radical de *Quercus* es un paso previo necesario para el establecimiento de estrategias de control eficaces contra la Seca.

En este contexto los objetivos de este trabajo han sido: a) estudiar la incidencia de *P. cinnamomi* asociada a la podredumbre radical en masas de *Quercus* afectadas por la Seca en Andalucía, b) caracterizar morfológica y fisiológicamente los aislados de *P. cinnamomi*, y c) relacionar las variables meteorológicas con la presencia del hongo en raíces y rizosfera de árboles afectados.

MATERIAL Y MÉTODOS

Elección de las fincas y tratamientos en las parcelas de ensayo

Las provincias en las que se ha llevado a cabo este trabajo son Cádiz, Córdoba, Huelva y Sevilla, las más afectadas en Andalucía por la Seca de *Quercus*. Las fincas (dos por provincia) se eligieron de entre las señaladas en el Censo de Focos de Seca de Andalucía (NAVARRO *et al.*, 2001) y en ellas se establecieron las parcelas experimentales (una parcela por finca). Se eligieron fincas representativas de la zona, en cuanto al tipo de masa, especie dominante, tipo de explotación y tipo de suelo. Además, las parcelas experimentales se situaron en focos de Seca también representativos de la zona, en cuanto al estado de los árboles afectados y porcentaje de árboles muertos. Las fincas seleccionadas fueron (Figura 1):

1.-Monte Mogea Luenga (Los Barrios, Cádiz). Monte alcornocal enclavado en el Parque Natural Los Alcornocales, con altas

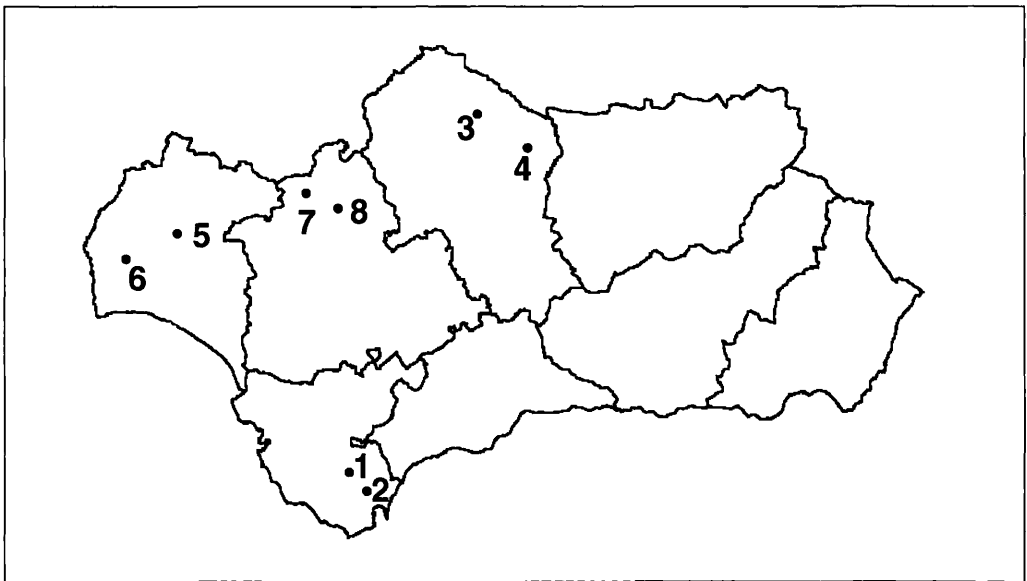


Figura 1.- Localización de las parcelas experimentales: 1) Monte Mogea Luenga, 2) San Carlos del Tiradero, 3) La Rozuela, 4) Viñuela Alta, 5) La Encarnación, 6) La Pizarra, 7) Las Navas y el Berrocal, 8) Los Labrados.

densidades de arbolado y aprovechamiento principalmente corchero.

2.-San Carlos del Tiradero (Los Barrios, Cádiz). Monte alcornocal también situado en el Parque Natural Los Alcornocales. Posee altas densidades de alcornoque con aprovechamiento corchero.

3.-La Rozuela (Pozoblanco, Córdoba). Está enclavada en la Dehesa del Valle de los Pedroches y su aprovechamiento es ganadero, principalmente ovino. Es una dehesa de encinas con pies senescentes y en baja densidad.

4.-Viñuela Alta (Montoro, Córdoba). Dehesa en la que la especie dominante es la encina, aunque también hay alcornoque. Al igual que en el caso anterior su aprovechamiento es ganadero, principalmente bovino y porcino.

5.-La Encarnación (Calañas, Huelva). Monte encinar cuyo aprovechamiento principal es la caza menor.

6.-La Pizarra (Villanueva de los Castillejos, Huelva). Dehesa de encinas con aprovechamiento principalmente cinegético y en menor medida ganadero (ovino).

7.-Las Navas y el Berrocal (Almadén de

la Plata, Sevilla). Monte encinar con algún alcornoque disperso, cuyo aprovechamiento principal es la caza menor.

8.-Los Labrados (El Pedroso, Sevilla). Dehesa de alcornoque con alguna encina dispersa. Situada en el Parque Natural de Sierra Norte. Su aprovechamiento principal es la ganadería porcina.

En cada finca se señaló una parcela de ensayo de 4 ha, cuyo centro se hizo coincidir con el centro del foco de Seca y se dividió en 4 subparcelas de 1 ha (Figura 2). Se realizó un inventario de todos los árboles presentes en cada una de las parcelas. De las cuatro subparcelas se dejaron en cada finca dos como testigo (las números 2 y 4) y en las otras dos (números 1 y 3), se realizaron los siguientes tratamientos selvícolas (NAVARRO *et al.*, 2001):

-Poda doble: Consistente en una primera poda sanitaria en la que se eliminaron las ramas secas, seguida de una poda ordinaria de ramas sanas. Todas las heridas de poda se sellaron con un producto que incluye Quinosol 0.5% y Cobre 4% en forma de oxiclورو, para facilitar su cicatrización y evitar la infección por agentes patógenos.

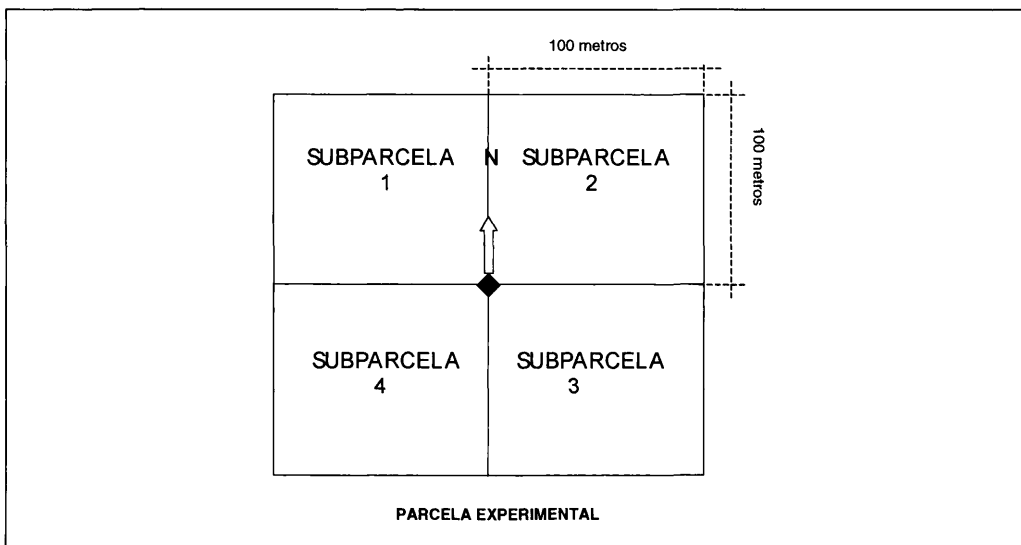


Figura 2.- Esquema de la parcela experimental establecida en cada una de las ocho fincas.

Cuadro 1.- Características de las parcelas experimentales

Provincia	Municipio	Finca	Especie dominante	Tratamiento selvícola	Nº Árboles
Cádiz	Los Barrios	Monte Mogeá Luenga	Alcornoque	Poda y tratamiento de chancros	645
	Los Barrios	S. Carlos del Tiradero	Alcornoque	Poda y tratamiento de chancros	1344
Córdoba	Pozoblanco	La Rozuela	Encina	Poda	150
	Montoro	Viñuela Alta	Encina	Poda	169
Huelva	Villanueva de los Castillejos	La Pizarra	Encina	Poda y roza manual del matorral	204
	Calañas	La Encarnación	Encina	Poda y roza manual del matorral	305
Sevilla	Almadén de la Plata	Las Navas y el Berrocal	Encina	Poda y gradeo con tractor pequeño	272
	El Pedroso	Los Labrados	Alcornoque	Poda	187

-Poda extraordinaria: Se aplicó a aquellos pies que presentaban un alto porcentaje de defoliación, y en los que se estimó que para sanear la copa se debía de podar ramas de diámetro superior a 15 cm. También se aplicó el cicatrizante anteriormente citado a las heridas producidas.

-Tratamiento de chancros: Se cortó la corteza necrótica con hacha y se realizó un raspado del chancro hasta encontrar corteza sana. Posteriormente, se aplicó el cicatrizante ya citado.

-Eliminación de restos de poda: Se eliminaron los restos no maderables por medio de quema o, si se realizó un desbroce, enterrándolos en el suelo. Los restos maderables se sacaron de la parcela y se trataron las trozas con un insecticida de Fenitrothion al 50% y un fungicida con cobre al 35% en forma de oxiclورو cuprocálcico para evitar que actuaran de foco de insectos perforadores y hongos.

-Desbroce del matorral: Según los grados de cobertura del matorral, se realizó roza manual o un gradeo con tractor. Este tratamiento se llevó a cabo sólo en tres de las ocho parcelas, ya que el resto no lo requería. En las fincas La Encarnación y La Pizarra (ambas en Huelva) se realizó una roza manual del matorral, mientras que en la finca Las Navas y el Berrocal (Sevilla) se procedió a un gradeo con un tractor pequeño.

En el Cuadro 1 se recoge un resumen de las principales características de las fincas seleccionadas.

Datos meteorológicos

Los datos de las estaciones meteorológicas más cercanas a las parcelas experimentales fueron solicitados al Instituto Nacional de Meteorología: valores diarios de temperatura máxima, mínima y precipitación, desde octubre de 1999 hasta abril de 2001. Las estaciones meteorológicas seleccionadas fueron: Algeciras y Alcalá de los Gazules (Cádiz), Pozoblanco y Montoro (Córdoba), Alosno y Valverde del Camino (Huelva), Cazalla de la Sierra y Almadén de la Plata (Sevilla).

Evaluación del estado sanitario del arbolado

Para la evaluación inicial (febrero de 2000) del estado sanitario de los árboles se asignó a cada árbol una clase de defoliación. Estas clases varían de 0 a 5 y determinan el porcentaje de marchitez foliar y/o defoliación que presenta el árbol según la siguiente escala: Clase 0: 0-10%, Clase 1: 11-25%, Clase 2: 26-50%, Clase 3: 51-75%, Clase 4: 76-99%, Clase 5: árbol muerto (FERRETI, 1994).

Se realizaron dos nuevas evaluaciones: en julio de 2000, de nuevo sobre el total de los pies inventariados, aunque no se evalua-

ron las fincas San Carlos del Tiradero (Cádiz) y Los Labrados (Sevilla); y en diciembre de 2000, sobre 120 pies por parcela. Las evaluaciones fueron realizadas por la Universidad de Córdoba a través del Convenio con la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía para la elaboración de un censo de daños de Seca en la Comunidad Autónoma (NAVARRO *et al.*, 2001).

Para el análisis estadístico de la influencia de los tratamientos selvícolas en la evolución del arbolado se realizó una matriz mediante el programa "Statistix" (Analytical Software, Tallahassee, USA). Las variables utilizadas fueron parcela, tratamiento e índice de defoliación en las tres evaluaciones realizadas. El test aplicado fue la correlación de Pearson con un nivel de significación del 95% ($P=0.05$) y un análisis general de la varianza (STEEL y TORRIE, 1985).

Toma de muestras y aislamiento de *Phytophthora cinnamomi*

Se realizaron tres tomas de muestras de raíz y suelo de la rizosfera en árboles sintomáticos elegidos en cada una de las parcelas de ensayo. La primera toma de muestras tuvo lugar en la primavera de 2000, antes de realizar los tratamientos selvícolas. Se eligieron 2 árboles por subparcela (8 por parcela), de forma que el número total de árboles muestreados fue 64 (40 encinas y 24 alcornoques). En la segunda toma de muestras, realizada en el otoño de 2000, se aumentó a 3 árboles por subparcela (12 por parcela) de forma que se muestrearon 96 árboles (60 encinas y 36 alcornoques). Por último, en la primavera de 2001, se realizó una toma de muestras adicional en aquellas parcelas en las que previamente se habían obtenido resultados negativos. Se muestrearon 3 árboles por subparcela, con un total de 36 árboles (24 encinas y 12 alcornoques).

Para las 3 tomas de muestras, se eligieron árboles sintomáticos (que presentasen amarillez o marchitez foliar, defoliación...) evitando los árboles muertos o muy severamente afectados. Con este criterio, las muestras provinieron fundamentalmente de árboles con clase de defoliación 2. Se elaboró además una

ficha de campo, donde se anotaron los síntomas y signos de enfermedades presentes en las parcelas, así como plagas de insectos.

El procedimiento seguido para la toma de muestras de suelo y raíz para el aislamiento de *P. cinnamomi* fue el descrito por SÁNCHEZ *et al.* (2000a). Para el aislamiento de suelo se utilizaron como cebos biológicos trozos de filodio de *Eucalyptus globulus* (HERMOSO *et al.*, 2001). El medio de cultivo utilizado para las muestras de suelo y de raíz fue PARPH (JEFFERS y MARTIN, 1986), selectivo para especies de *Phytophthora*. Para el cálculo de la humedad del suelo, se colocaron 10 g de suelo limpio de partículas gruesas extendidos sobre una placa Petri de vidrio en estufa a 120° C. Al cabo de 2 horas se realizaron pesadas cada 10 minutos hasta peso constante. La humedad se expresó como el porcentaje de pérdida de peso.

Correlación del aislamiento de *Phytophthora cinnamomi* con las variables meteorológicas

Para tratar de correlacionar el aislamiento de *P. cinnamomi* y las variables meteorológicas se elaboró una matriz de datos mediante el programa "Statistix" (Analytical Software, Tallahassee, USA). Las variables utilizadas fueron: porcentaje de árboles muestreados (raíz o suelo) de los que se aisló *P. cinnamomi*, porcentaje de aislamiento en raíz y suelo teniendo en cuenta sólo los árboles con aislamiento positivo, porcentaje de aislamiento en raíz y suelo teniendo en cuenta todos los árboles muestreados, humedad del suelo (media de la humedad del suelo de los árboles muestreados), lluvia acumulada desde 1 hasta 8 semanas antes de la toma de muestras, temperatura media de máximas y media de mínimas desde 1 hasta 8 semanas antes de la toma de muestras, temperatura media (media aritmética de la temperatura máxima y mínima diaria) desde 1 hasta 8 semanas antes de la toma de muestras. A partir de esta matriz se aplicó un test de correlación de Pearson entre el porcentaje de aislamiento del hongo y todas las variables meteorológicas.

Caracterización e identificación de los aislados obtenidos

A partir de las colonias fúngicas obtenidas, tanto de raicillas como de suelo, se obtuvieron cultivos puros en el medio zana-horia-agar (CA) (DHINGRA y SINCLAIR, 1995). Para la identificación de los aislados se realizaron observaciones directas de las estructuras vegetativas características (hinchazones hifales y micelio botrioso-coraloi-de) (ERWIN y RIBEIRO, 1996) en el microscopio invertido, así como en montajes teñidos con fucsina ácida en lactofenol para su observación en el microscopio óptico.

Para estimular la producción de estructuras reproductivas de tipo asexual (esporangios) se usó un medio líquido de extracto de suelo (RIBEIRO, 1978). Una vez verificada la producción de esporangios con el microscopio invertido, se realizaron montajes microscópicos teñidos con fucsina ácida en lactofenol, procediéndose a determinar para 10 de los aislados obtenidos, las dimensiones de 30 esporangios maduros por aislado.

Además se caracterizó el crecimiento de 18 aislados a distintas temperaturas (5 a 35° C) en el medio de cultivo CA, con 3 repeticiones por aislado y temperatura de incubación. Periódicamente se midieron los diámetros de las colonias a las distintas temperaturas de crecimiento y se determinaron las tasas de crecimiento diario (SÁNCHEZ *et al.*, 2000a). Para cada aislado se elaboraron curvas de crecimiento a las distintas temperaturas. Para ello, los datos de tasa de crecimiento en función de la temperatura de incubación se ajustaron matemáticamente a una curva de regresión, eligiendo los modelos que mejor se ajustaban para cada uno de los aislados. La elección definitiva del modelo se realizó en base a los siguientes criterios: el coeficiente de determinación (R^2), la significación de los coeficientes y la distribución de residuos. Utilizando la ecuación resultante, se calcularon las temperaturas óptima y mínima de crecimiento para cada aislado.

RESULTADOS

Datos meteorológicos

Los datos suministrados por el Instituto Nacional de Meteorología aparecen en la Figura 3, que muestra la fluctuación de la lluvia y la temperatura cada 10 días, en cada una de las estaciones consultadas. En general, los datos procedentes de las dos estaciones meteorológicas situadas en la misma provincia difirieron relativamente poco. Hay que resaltar que las lluvias fueron mucho más abundantes en el invierno de 2000-2001, que fue especialmente lluvioso en Andalucía, que en el de 1999-2000, que puede catalogarse de seco. Además, la primavera de 2000 fue bastante lluviosa.

Evaluación del estado sanitario del arbolado

Los datos de las tres evaluaciones de clase de defoliación en las parcelas experimentales se reflejan en la Figura 4 y se resumen en el Cuadro 2. Las parcelas situadas en San Carlos del Tiradero (Cádiz) y La Encarnación (Huelva) presentan los índices de defoliación más elevados en la primera evaluación. En la segunda evaluación, las parcelas experimentaron una ligera disminución en los índices medios de defoliación, si bien el análisis estadístico mostró una correlación del 83,9% entre el índice de defoliación de las parcelas en la primera y la segunda evaluación. Sin embargo, en la tercera evaluación las parcelas experimentaron un sensible aumento en el índice de defoliación medio (Figura 4, Cuadro 2). De hecho, la correlación entre los índices de defoliación medios en la primera y la tercera evaluación fue únicamente del 27,8%.

El análisis estadístico de la influencia de los tratamientos selvícolas en el estado del arbolado mostró que el índice de defoliación no varía significativamente en función de la aplicación o no del tratamiento selvícola en ninguna de las tres evaluaciones. Sí se observó una variabilidad significativa entre las distintas parcelas, ya que las condiciones iniciales de cada parcela son diferentes.

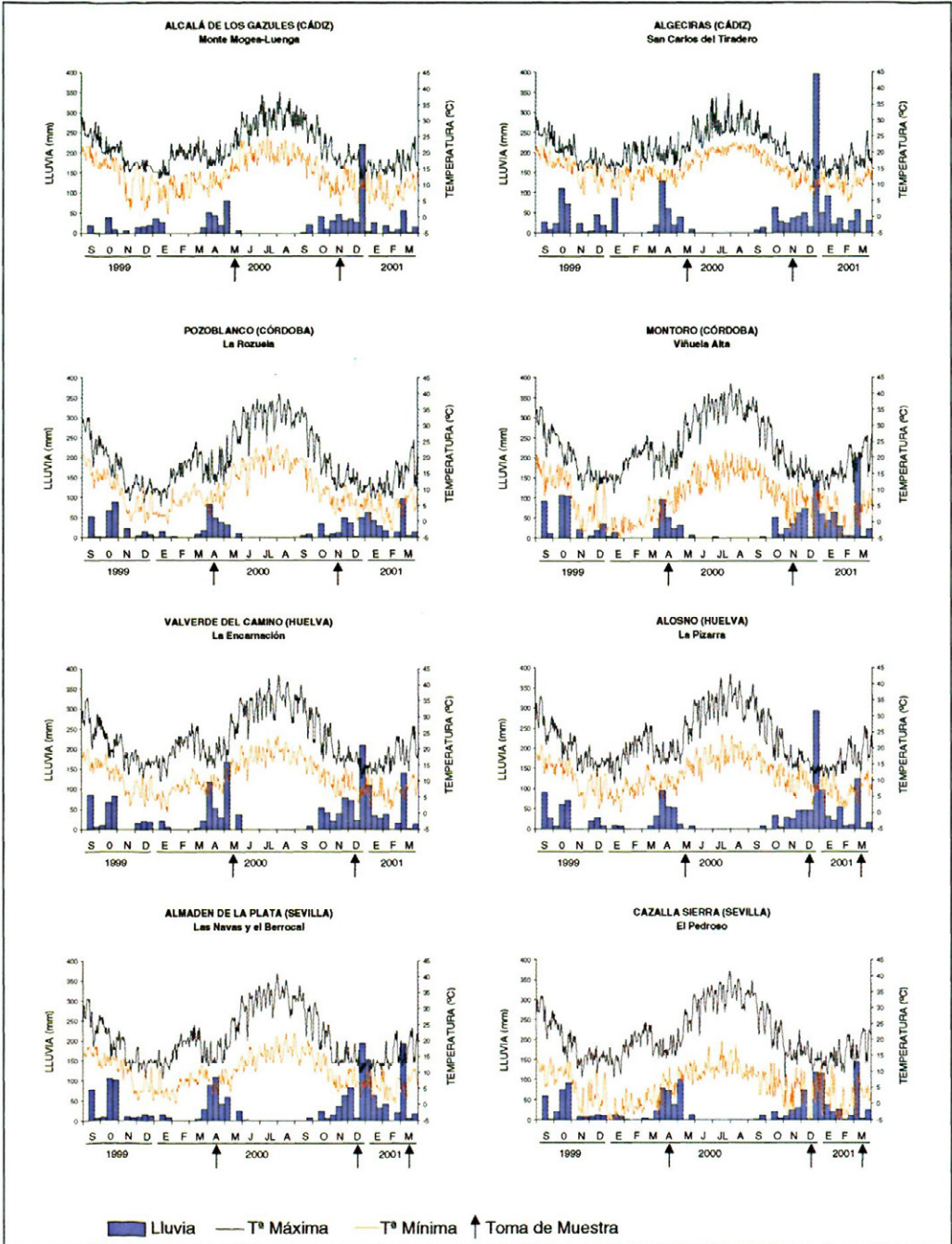


Figura 3.- Fluctuación cada diez días de la lluvia, temperatura máxima y temperatura mínima registradas en las ocho estaciones meteorológicas más próximas a las parcelas experimentales. Las flechas indican los momentos en los que se efectuaron las tomas de muestras. Gráficos elaborados a partir de los datos diarios suministrados por el Instituto Nacional de Meteorología.

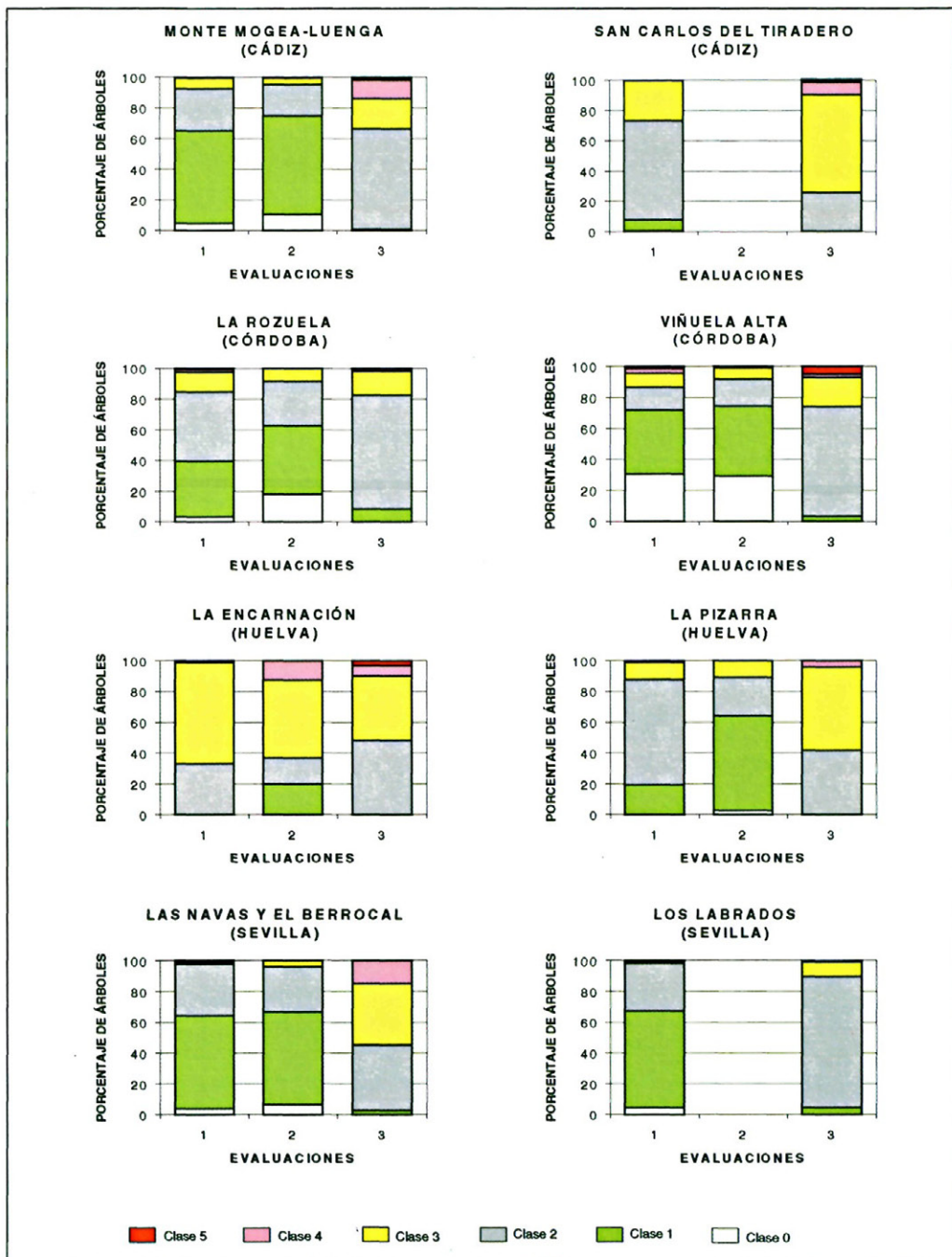


Figura 4.- Porcentaje de árboles en cada una de las clases de defoliación a lo largo de las tres evaluaciones efectuadas en las ocho parcelas experimentales. Evaluaciones realizadas por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía según la escala: Clase 0 = 0-10% de defoliación, clase 1 = 11-25%, clase 2 = 26-50%, clase 3 = 51-75%, clase 4 = 76-99%, clase 5 = árbol muerto.

Cuadro 2.- Índice de defoliación medio observado en cada una de las subparcelas

Parcela	Tratamiento selvícola	Índice de defoliación medio		
		Febrero	Julio	Diciembre*
Monte Moguea Luenga (Cádiz)	Subparcelas Tratadas	1.4**	1.2	2.3
	Subparcelas No tratadas	1.4	1.2	2.6
San Carlos del Tiradero (Cádiz)	Subparcelas Tratadas	2.2	-	2.7
	Subparcelas No tratadas	2.2	-	3.0
La Rozuela (Córdoba)	Subparcelas Tratadas	1.7	1.3	2.1
	Subparcelas No tratadas	1.8	1.3	2.1
Viñuela Alta (Córdoba)	Subparcelas Tratadas	0.9	1.0	2.4
	Subparcelas No tratadas	1.4	1.1	2.3
La Pizarra (Huelva)	Subparcelas Tratadas	2.1	1.5	2.8
	Subparcelas No tratadas	1.8	1.4	2.5
La Encarnación (Huelva)	Subparcelas Tratadas	2.6	2.5	2.5
	Subparcelas No tratadas	2.8	2.7	2.8
Las Navas y el Berrocal (Sevilla)	Subparcelas Tratadas	1.4	1.4	3.1
	Subparcelas No tratadas	1.3	1.2	2.2
Los Labrados (Sevilla)	Subparcelas Tratadas	1.2	-	2.1
	Subparcelas No tratadas	1.4	-	2.1

*Evaluación realizada sobre 120 árboles por finca.
 **Valor obtenido como la media ponderada por el número de árboles existentes en cada clase de defoliación.

Cuadro 3.- Enfermedades y plagas presentes en las parcelas experimentales. En negrilla, principal enfermedad asociada al decaimiento

Provincia	Finca	Enfermedades	Plagas
Cádiz	Monte Moguea Luenga	Podredumbre radical (<i>P. cinnamomi</i>) Chancro (<i>Botryosphaeria spp.</i>) Chancro sangrante (<i>B. quercina</i>)	<i>Coroebus undatus</i> , <i>Platypus cylindrus</i>
	San Carlos del Tiradero	Podredumbre radical (<i>P. cinnamomi</i>) Chancro (<i>Botryosphaeria spp.</i>) Chancro sangrante (<i>B. quercina</i>)	-
Córdoba	La Rozuela	Podredumbre radical (<i>P. cinnamomi</i>) Chancro (<i>Botryosphaeria spp.</i>) Chancro sangrante (<i>B. quercina</i>) Chancro carbonoso (<i>B. mediterranea</i>) Escobas de Bruja (<i>T. kruchii</i>)	<i>Cerambyx sp.</i>
	Viñuela Alta	Podredumbre radical (<i>P. cinnamomi</i>) Chancro (<i>Botryosphaeria spp.</i>) Chancro carbonoso (<i>B. mediterranea</i>)	<i>Cerambyx sp.</i> , <i>Coroebus undatus</i>
Huelva	La Pizarra	Podredumbre radical (<i>P. cinnamomi</i>) Chancro (<i>Botryosphaeria spp.</i>)	<i>Cerambyx sp.</i> , <i>Kermococcus sp.</i>
	La Encarnación	Podredumbre radical (<i>P. cinnamomi</i>) Chancro (<i>Botryosphaeria spp.</i>) Repilo (<i>S. quercus-ilicis</i>)	-
Sevilla	Las Navas y el Berrocal	Chancro (<i>Botryosphaeria spp.</i>) Repilo (<i>S. quercus-ilicis</i>) Escobas de Bruja (<i>T. kruchii</i>)	<i>Cerambyx sp.</i>
	Los Labrados	Chancro (<i>Botryosphaeria spp.</i>) Chancro sangrante (<i>B. quercina</i>) Chancro carbonoso (<i>B. mediterranea</i>)	<i>Coroebus undatus</i>

Sintomatología y enfermedades asociadas

Las observaciones llevadas a cabo durante las tres tomas de muestras en cada una de las parcelas experimentales permitieron detectar la presencia de diversas plagas y enfermedades (Cuadro 3). Los síntomas comunes observados en todas las parcelas fueron muy genéricos (Figura 5): clorosis y marchitez foliar, defoliación, puntisecado de ramas, muerte y/o ausencia de raicillas absorbentes. Otros síntomas, como la presencia de chancros, no aparecen tan generalizados. Cabe destacar que el principal síntoma asociado a los árboles afectados fue la podredumbre radical causada por *P. cinnamomi* (Figura 6a), excepto en las fincas de Sevilla, en las cuales el principal problema fue el chancro de tronco y ramas causado por *Botryosphaeria* spp. (SÁNCHEZ *et al.*, 2001a) (Figura 6b). Las sangraduras o chancros sangrantes causados por *Brenneria quercina* (SORIA *et al.*, 1997) se observaron en las tomas de muestras de primavera y otoño de 2000 en las fincas La Rozuela (Córdoba), Los Labrados (Sevilla), San Carlos del Tiradero (Cádiz) y más abundantemente en Mogeja Luenga (Cádiz) (Figura 6c). Además, también se ha constatado la presencia en varias fincas del chancro carbonoso causado por *Biscogniauxia mediterranea* (= *Hypoxylon mediterraneum*) (TORRES JUAN, 1985), especialmente abundante en La Rozuela (Córdoba) (Figura 6d). Dentro de las plagas de insectos destaca la frecuencia de ataques de *Cerambyx* sp. (Figura 6e) (ROMANIK y CADAHÍA, 1992). Todas estas enfermedades y plagas ya han sido asociadas anteriormente a la Seca (NAVARRO y FERNÁNDEZ, 2000; SÁNCHEZ *et al.*, 2000b), pero además se han observado otras enfermedades y plagas de los *Quercus* no asociados a la Seca. Este es el caso de las Escobas de Bruja, cuyo agente causal es *Taphrina kruchii* (MUÑOZ y RUPÉREZ, 1987; TORRES JUAN, 1993). En nuestro estudio, las Escobas de Bruja sólo aparecieron de forma esporádica en las fincas La Rozuela (Córdoba) en primavera de 2000 (Figura 6f) y Las

Navas y el Berrocal (Sevilla) en otoño de 2000. También se ha detectado en árboles aislados de la finca Las Navas y el Berrocal (Sevilla) y La Encarnación (Córdoba) el Repilo de la encina (Figura 6g), una micosis foliar producida por *Spilocaea quercus-ili-cis* (NAVARRO y TRAPERO, 1998). Además se detectó un ataque de *Kermococcus* sp. en la finca La Pizarra (Huelva) en el otoño de 2000. La plaga apareció asociada a la presencia de ramillas terminales marchitas que además presentaban chancros (Figura 6h). Existen especies de homópteros que actúan como vectores de hongos fitopatógenos, por lo que se sospecha que estos cóccidos podrían actuar como vectores de *Botryosphaeria* spp. (IBARRA *et al.*, 2001).

Aislamiento de *Phytophthora cinnamomi* y correlación con las variables meteorológicas

En el Cuadro 4 se recoge la incidencia de *P. cinnamomi* en los árboles muestreados a lo largo de las tres prospecciones realizadas. En las fincas Viñuela Alta (Córdoba) y La Encarnación (Huelva) es donde apareció el mayor número de árboles afectados por *P. cinnamomi* (83,3% en la toma de muestras de otoño).

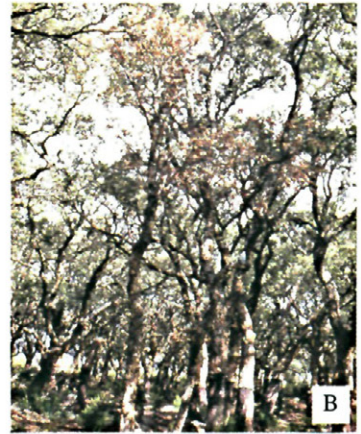
La mayoría de los aislamientos se realizaron a partir de muestras de suelo. Destaca el hecho de que el mayor porcentaje de aislamiento se obtuvo en la segunda toma de muestras, tanto en número de árboles con aislamiento positivo como en porcentaje de aislamiento por cada árbol, que en general variaron entre el 4 y el 100% de aislamiento por muestra. Sólo en 2 de las 8 fincas, ambas situadas en Sevilla, no se aisló *P. cinnamomi* a partir de muestras de raíz o de suelo en ninguna de las tres prospecciones.

Teniendo en cuenta los bajos porcentajes de aislamiento de raíz, las variables meteorológicas se correlacionaron con el porcentaje de aislamiento de suelo. En general, no apareció ninguna correlación claramente significativa, salvo entre el porcentaje de aislamiento en suelo y la temperatura mínima y media de las semanas anteriores a la toma de muestras. Existe una buena correlación posi-



Figura 5.- Vista general de las parcelas experimentales:

- a) Monte Mogea Luenga, Cádiz,
- b) San Carlos del Tiradero, Cádiz,
- c) La Rozuela, Córdoba,
- d) Viñuela Alta, Córdoba,
- e) La Encarnación, Huelva,
- f) La Pizarra, Huelva,
- g) Las Navas y el Berrocal, Sevilla,
- h) Los Labrados, Sevilla.





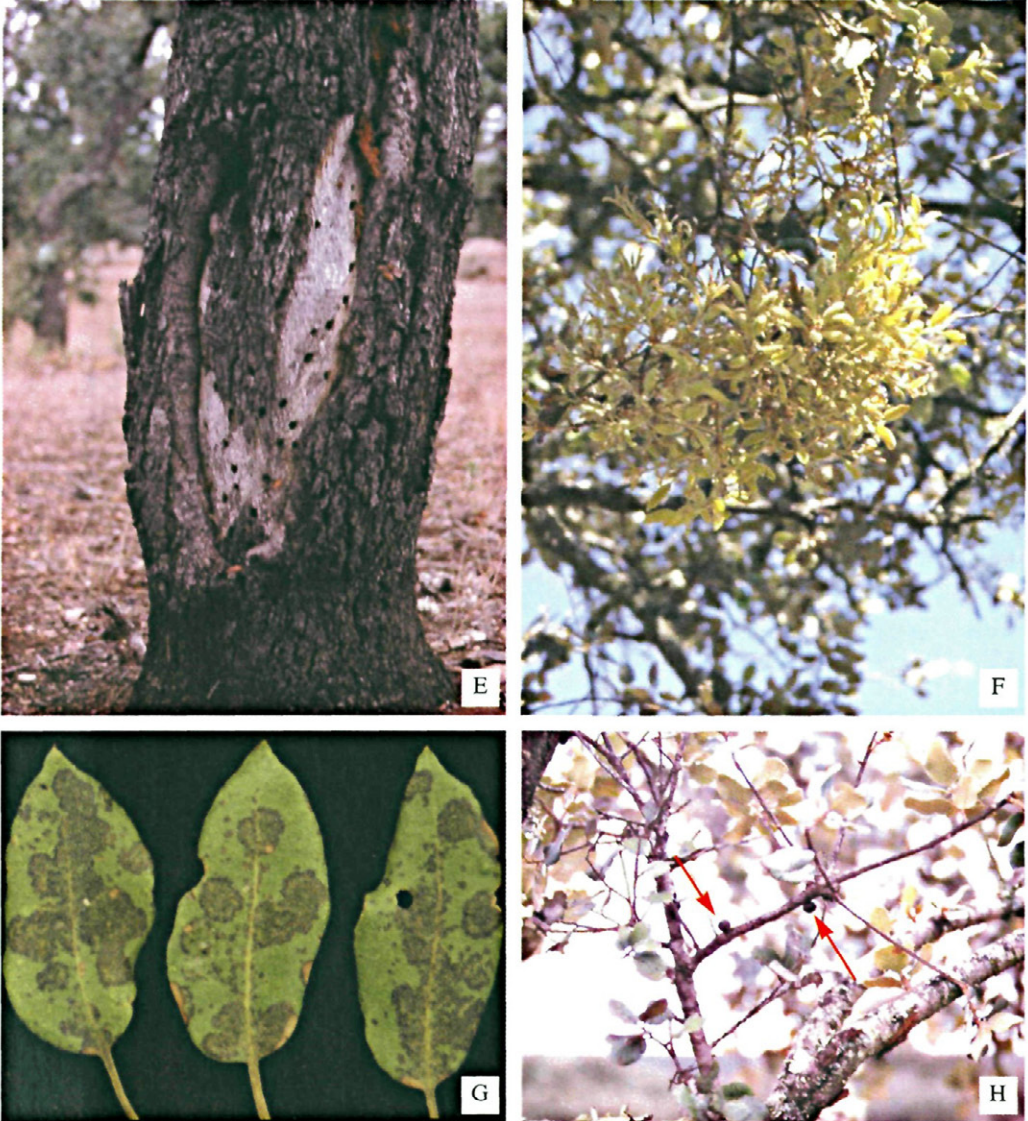


Figura 6.- Enfermedades y plagas detectadas en las parcelas experimentales: a) podredumbre de raicillas absorbentes causada por *Phytophthora cinnamomi*, b) chancro causado por *Botryosphaeria* spp., c) chancro sangrante causado por *Brenneria quercina*. Nótese el exudado bacteriano de color rojizo, d) chancro carbonoso causado por *Biscogniauxia mediterranea*, e) orificios de salida de adultos de *Cerambyx* sp., f) Escoba de Bruja causada por *Taphrina kruchii*, g) síntomas del Repilo de la encina causado por *Spilocaea quercus-ilex*, h) *Kermococcus* sp. (flechas) en ramillos de encina.

tiva (53%), con una significación menor o igual a 0,05, entre la temperatura mínima registrada desde 8 hasta 5 semanas antes de la toma de muestras y el porcentaje de aisla-

miento del hongo. En el caso de la temperatura media también existe una correlación positiva (50%, $P \leq 0,05$) considerando el mismo intervalo de tiempo.

Cuadro 4.- Incidencia de *Phytophthora cinnamomi* en las parcelas experimentales

Parcela experimental	Número de árboles muestreados			Humedad media del suelo (%)			Aislamiento de <i>P. cinnamomi</i> (%) ^a					
	1 ^b	2	3	1	2	3	Raíz			Suelo		
							1	2	3	1	2	3
Monte Moge Luenga (Cádiz)	8	12	-	23.6	23.1	-	0	0	-	0	41.7	-
San Carlos del Tiradero (Cádiz)	8	12	-	26.0	24.8	-	0	16.7	-	50.0	41.7	-
La Rozuela (Córdoba)	8	12	-	14.5	15.0	-	0	0	-	0	75.0	-
Viñuela Alta (Córdoba)	8	12	-	21.5	19.3	-	0	0	-	0	83.3	-
La Pizarra (Huelva)	8	12	12	12.0	11.2	6.3	0	0	16.7	0	0	16.7
La Encarnación (Huelva)	8	12	-	11.6	14.6	-	0	0	-	12.5	83.3	-
Las Navas y el Berrocal (Sevilla)	8	12	12	17.0	14.2	10.2	0	0	0	0	0	0
Los Labrados (Sevilla)	8	12	12	12.6	14.0	8.9	0	0	0	0	0	0

^a Porcentaje de árboles muestreados (raíz o suelo) de los que se aisló *P. cinnamomi* a lo largo de los tres muestreos realizados.

^b 1: Toma de muestras de primavera de 2000; 2: Toma de muestras de otoño de 2000; 3: Toma de muestras de primavera de 2001

Cuadro 5.- Origen, tasa máxima de crecimiento en el medio CA y temperatura óptima y mínima estimada de los aislados de *Phytophthora cinnamomi*

Aislado	Fecha de aislamiento	Finca	Origen	Tasa máxima de crecimiento (mm/día)	Temperatura óptima (°C)	Temperatura mínima (°C)
PE-85	26/6/00	La Encarnación	Suelo	19.47	25.6	8.1
PE-86	26/6/00	La Encarnación	Suelo	19.32	25.7	9.0
PE-87	26/6/00	La Encarnación	Suelo	18.91	25.5	8.0
Global				19.20	25.6	8.4
PE-88	13/12/00	Viñuela Alta	Suelo	23.33	25.1	6.0
PE-89	13/12/00	Viñuela Alta	Suelo	23.40	25.2	6.4
PE-90	13/12/00	Viñuela Alta	Suelo	21.43	25.2	6.0
PE-92	13/12/00	La Rozuela	Suelo	23.49	25.2	6.3
PE-93	13/12/00	La Rozuela	Suelo	24.08	25.1	6.1
PE-94	13/12/00	La Rozuela	Suelo	22.98	25.2	6.5
PA-25	30/5/00	S. Carlos del Tiradero	Suelo	22.01	25.6	7.5
PA-26	30/5/00	S. Carlos del Tiradero	Suelo	22.45	25.8	8.5
PA-27	30/5/00	S. Carlos del Tiradero	Suelo	23.81	25.8	8.2
PA-28	30/5/00	S. Carlos del Tiradero	Suelo	23.41	25.7	7.2
PA-29	14/6/00	S. Carlos del Tiradero	Suelo	23.44	25.8	8.2
PA-33	9/12/00	Monte Moge Luenga	Suelo	23.94	25.7	8.4
PA-34	9/12/00	Monte Moge Luenga	Suelo	22.93	25.2	6.1
PA-36	9/12/00	S. Carlos del Tiradero	Raíz	22.88	24.9	5.9
PA-37	9/12/00	S. Carlos del Tiradero	Raíz	22.41	25.4	6.3
Global				23.10	25.4	6.7

PE: aislados procedentes de encina.

PA: aislados procedentes de alcornoque.

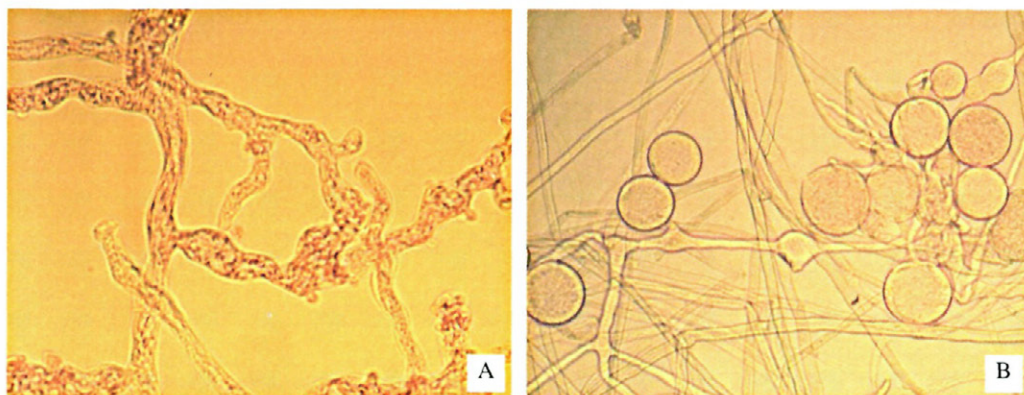


Figura 7.- Micelio de los aislados de *Phytophthora cinnamomi* teñido con fucsina ácida en lactofenol y observado al microscopio óptico (x400): a) micelio característico de los aislados procedentes de encina, con hinchazones hifales botriosas, b) micelio característico de los aislados procedentes de alcornoque, con hifas rectas e hinchazones hifales esféricas y en racimo.

Caracterización morfológica y fisiológica de los aislados obtenidos

El origen de los aislados obtenidos y conservados se muestra en el Cuadro 5.

Todos los aislados obtenidos fueron identificados como *P. cinnamomi*, en base a la observación de abundantes hinchazones hifales subsféricas, aisladas o en racimos, generalmente terminales y al micelio botrioso-coraloide típico de la especie (ERWIN y RIBEIRO, 1996). Tanto los aislados de encina como de alcornoque mostraron colonias ligeramente petaloides de color blanquecino, con micelio aéreo algodonoso muy abundante en el medio CA. En las observaciones realizadas con el microscopio invertido y óptico, todos los aislados presentaron un micelio cenocítico ramificado. Los aislados procedentes de encina (PE) presentaron hinchazones hifales en forma de ramificaciones botriosas (Figura 7a), mientras que los aislados procedentes de alcornoque (PA) mostraron hinchazones hifales grandes, esféricas, terminales e intercalares, simples y en racimo (Figura 7b).

En todos los aislados los esporangios formados fueron persistentes y no papilados, predominantemente ovoides, aunque también se observaron esporangios ovoides-obpiriformes, ovoides elipsoides y elipsoides. Las

dimensiones medias de los esporangios fueron $51,3 \pm 8,7 \times 36,0 \pm 6,0 \mu\text{m}$, con una razón longitud / anchura de $1,5 \pm 0,2$. En algún caso se observó proliferación interna y ramificación simpodial simple. Un 48,3 % de los esporangios presentaron el ápice truncado.

Para expresar la tasa de crecimiento en función de la temperatura, la ecuación seleccionada fue un polinomio de tercer grado: $Y = aT^3 + bT^2 + cT + d$, donde Y representa la tasa de crecimiento máximo diario, T es la temperatura de crecimiento, a, b, y c son los coeficientes de regresión y d el término independiente. Se obtuvieron dos patrones de crecimiento en el medio CA (Figura 8), uno para 15 de los aislados, con la temperatura óptima en torno a $25,4^\circ\text{C}$ y con una tasa de crecimiento máxima de 23,1 mm/día, y un segundo patrón con temperatura óptima de $25,6^\circ\text{C}$ y una tasa de crecimiento máxima de 19,2 mm/día en CA. Este segundo patrón de crecimiento correspondió a los aislados PE85, PE86 y PE87, procedentes de la finca La Encarnación (Cuadro 5).

DISCUSIÓN

En la prospección de encinares y alcornoques llevada a cabo durante el año 2000 en Andalucía se observó un elevado número

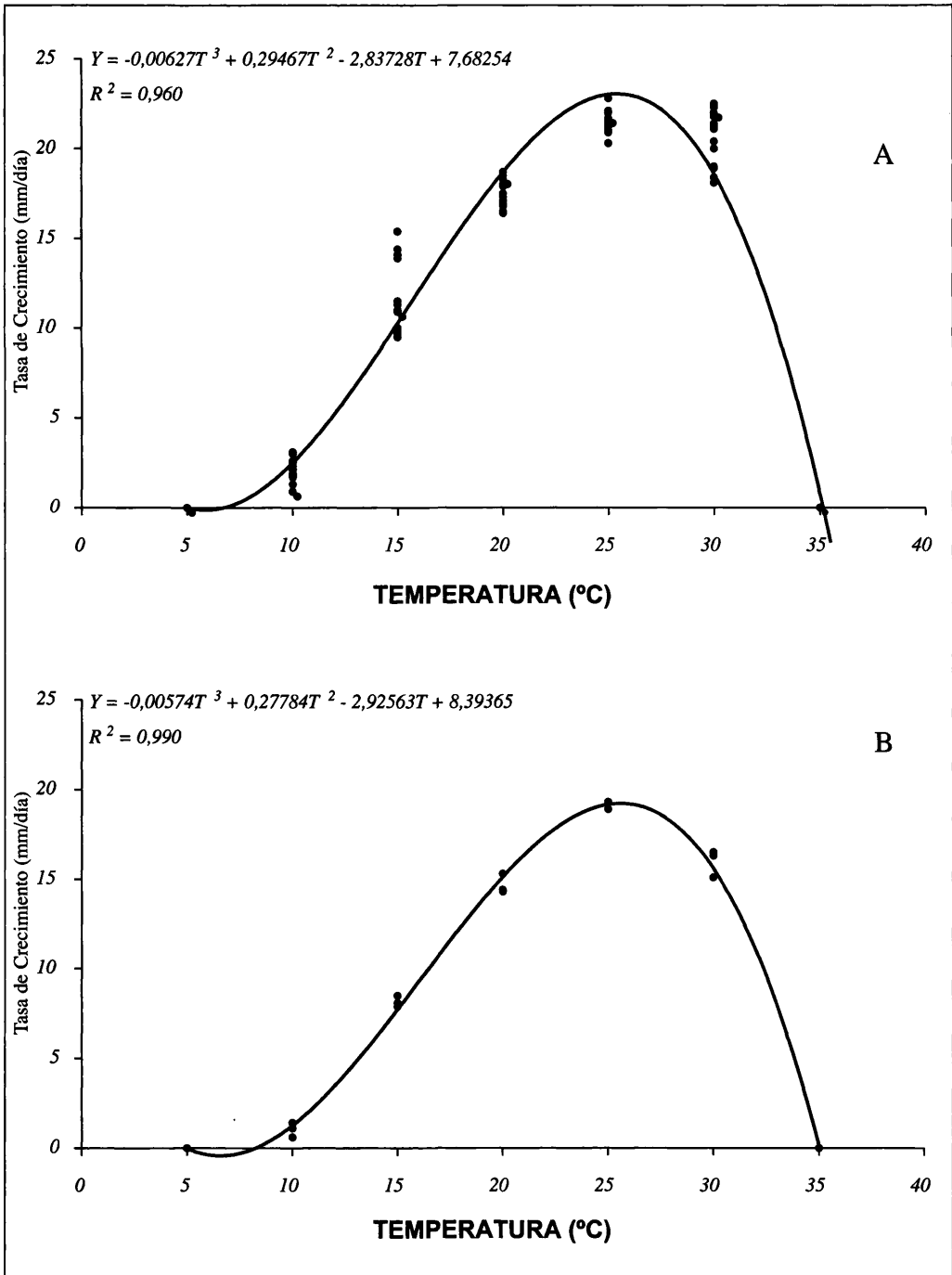


Figura 8.- Curvas de crecimiento de los aislados de *Phytophthora cinnamomi* en el medio de cultivo CA. a) Ajuste para los aislados PE88, PE89, PE90, PE92, PE93, PE94, PA25, PA26, PA27, PA28, PA29, PA33, PA34, PA36 y PA37. b) Ajuste para los aislados PE-85, PE-86 y PE-87. Los puntos indican los valores de tasa de crecimiento obtenidos.

de fincas afectadas por la Seca de los *Quercus*. Esta prospección ha servido para establecer el Censo de Focos de Seca de Andalucía (NAVARRO *et al.*, 2001). En las ocho fincas seleccionadas para este estudio, a pesar de partir de distintas situaciones en cuanto a la incidencia y severidad de los síntomas asociados a la Seca, la evolución de la enfermedad ha resultado bastante similar. El estado general de las masas de *Quercus* evaluadas ha empeorado, y este empeoramiento se ha debido más a la aparición de síntomas en árboles que no los mostraban al principio del estudio (clase de defoliación 0), que al empeoramiento o a la muerte de árboles sintomáticos muy afectados (clase de defoliación 4). Así, el porcentaje de árboles en las clases de defoliación 0 y 1 permanece más o menos constante entre la primera y segunda evaluación, mientras que en la tercera evaluación se observa un notable descenso en el número de árboles poco o nada afectados, e incluso en la mayoría de los casos el número de árboles en estas clases es cero. Por otro lado, en las clases de defoliación más altas (4 y 5) se observa que no hay un gran aumento en el número de árboles, a lo largo de las 3 evaluaciones, sino un aumento del número de árboles en las clases de defoliación 2 y 3. Este hecho tiene una especial relevancia a la hora de abarcar el control de la enfermedad, que ha de incidir especialmente en los tratamientos preventivos del arbolado asintomático que rodea a los focos de Seca, así como en los tratamientos curativos de los árboles poco afectados, como la estrategia más eficaz para detener el avance del decaimiento en las masas afectadas.

Algunos casos descritos de Seca de *Quercus* en España citan suelos con déficit hídrico, zonas de ladera con escasa profundidad de suelo y poca retención de agua, como las más propensas a sufrir la enfermedad (SÁNCHEZ GUTIÉRREZ y CABELLO MEDINA, 1993; SILLERO, 1999; NAVARRO y FERNÁNDEZ, 2000). Sin embargo, otros autores citan suelos de valles y vaguadas con escaso drenaje como los más afectados por el síndrome (TUSET *et al.*, 1996; NAVARRO y FERNÁNDEZ,

2000). Igualmente, en los decaimientos de *Quercus* en Centroeuropa se han descrito casos asociados a zonas altas con escasa profundidad de suelo (HANSEN y DELATOUR, 1999a; 1999b), y también zonas de suelos profundos con facilidad de encharcamiento (HANSEN y DELATOUR, 1999a; 1999b; Lévi, 1999). Por tanto, parece existir una amplia gama de circunstancias hídricas del suelo en las cuales se puede presentar la enfermedad. Esto concuerda con nuestras observaciones de campo, en las cuales las fincas evaluadas presentan características de capacidad de retención de agua en el suelo muy variables. En ocasiones, como en las fincas La Rozuela, Viñuela Alta, Los Labrados y La Pizarra, se trata de masas con poca pendiente, suelos profundos con baja densidad de pies en las que, no obstante, se localizan pequeñas depresiones topográficas que favorecen el encharcamiento del suelo cuando se producen fuertes lluvias. En otros casos, como en las fincas San Carlos del Tiradero y Mogeá Luenga se trata de parcelas con fuertes pendientes, suelos poco profundos, elevada pluviometría y densidades que superan los 300 pies/ha.

Todas las fincas comparten una característica común: la presencia de al menos un agente biológico virulento. En 6 de las 8 fincas estudiadas el síntoma común es la podredumbre radical causada por *P. cinnamomi*, y en las 2 fincas restantes (Los Labrados y Las Navas y el Berrocal, ambas en Sevilla) es el chancro asociado a *Botryosphaeria* spp. (SÁNCHEZ *et al.*, 2001a). Además, de forma puntual se han detectado en las parcelas experimentales otras enfermedades de los *Quercus* no asociadas al proceso de decaimiento (SÁNCHEZ *et al.*, 2000c; TRAPERO *et al.*, 2000).

A partir de nuestras observaciones de campo pueden realizarse dos interpretaciones:

1.- La Seca puede interpretarse como una enfermedad de etiología compleja con las sequías prolongadas como principal factor incitante y al menos un agente biológico virulento como factor contribuyente que causa el deterioro y finalmente, la muerte del

arbolado. Desde este punto de vista, la sequía como factor incitante de actuación general, afectaría a diferentes especies vegetales sobre diferentes tipos de suelo y en amplias condiciones topográficas y microclimáticas (FERNÁNDEZ y MONTERO, 1993; TIETJE *et al.*, 1993; ALLUÉ, 1995; ABADÍA *et al.*, 1996; NAVARRO y FERNÁNDEZ, 2000). El agente biológico directamente causante de la muerte de los árboles debilitados por la sequía variará según las condiciones particulares de cada foco en cuanto a potencial de inóculo, susceptibilidad de las especies afectadas y condiciones microclimáticas que favorezcan la infección y colonización de la planta por parte del patógeno. Varios hongos han sido descritos como patógenos primarios de encina y alcornoque. LUQUE y GIRBAL en 1989 demostraron la patogenicidad de *Botryosphaeria stevensii* en alcornoque; por otro lado, *P. cinnamomi* ha sido descrito como patógeno primario de encina y alcornoque (TUSET *et al.*, 1996, 1997; MOREIRA *et al.*, 1997; GALLEGO *et al.*, 1999; SÁNCHEZ *et al.*, 2000a). Así, en las fincas estudiadas, sobre una variedad de condiciones de la masa y del suelo, *P. cinnamomi* ha sido el agente más frecuentemente asociado (6 fincas), pero no el único.

2.- Otro punto de vista es considerar las distintas enfermedades y plagas que afectan a los *Quercus* de forma individual, agravada la incidencia y severidad de algunas de ellas por las prolongadas sequías sufridas en los últimos años (SÁNCHEZ *et al.*, 2000a). De hecho, los períodos de sequía largos intercalados con cortos períodos de encharcamiento del suelo favorecen las infecciones radicales de *P. cinnamomi* (SHEARER y TIPPET, 1989; BRASIER, 1996). Dado que se trata de una especie fúngica ubicua, presente en el suelo de toda Europa (ERWIN y RIBEIRO, 1996), cabe pensar que la infección radical de *Quercus* ocurrirá cuando se den las condiciones climáticas descritas, sobre suelos encharcadizos y/o poco profundos. En estas condiciones, cuando el árbol se encuentra debilitado por la sequía, no puede superar el déficit hídrico debido a la actividad del

hongo en las raíces y acaba muriendo (BRASIER, 1996; ERWIN y RIBEIRO, 1996; SÁNCHEZ *et al.*, 2000a). No obstante, las masas de *Quercus* se pueden ver afectadas por otras enfermedades y plagas, independientemente o no de la podredumbre radical causada por *P. cinnamomi*, cuya incidencia también puede verse afectada por el estado de debilidad del arbolado. Este es el caso de enfermedades detectadas en nuestro estudio, como el chancro carbonoso (TORRES JUAN, 1985; RAGAZZI *et al.*, 2000), chancros causados por *Botryosphaeria* (MUÑOZ y RUPÉREZ, 1987; LUQUE y GIRBAL, 1989) y plagas como *Cerambyx* (ROMANYK y CADAHÍA, 1992; NAVARRO y FERNÁNDEZ, 2000), y *Kermococcus* (IBARRA *et al.*, 2001).

En el periodo de estudio los tratamientos selvícolas aplicados a 2 subparcelas de cada finca no parecen haber influido en el estado sanitario de la masa. Los índices de defoliación no presentan variabilidad en función de los tratamientos selvícolas, y a pesar de la eliminación de ramas secas y chancros en las subparcelas tratadas, en prospecciones posteriores se volvieron a observar estos síntomas. Este hecho no resulta sorprendente, puesto que el inóculo permanecía presente en la masa. El escaso porcentaje de aislamiento de *P. cinnamomi* en la raíz en las parcelas donde estaba presente, concuerda con la literatura consultada. SHEARER y TIPPET (1989) afirman que *P. cinnamomi* es efímera y a menos que las lesiones radicales estén frescas, es difícil de aislar el hongo. Los porcentajes obtenidos de aislamiento en suelo, en general son elevados. No obstante, el intervalo del porcentaje de aislamiento varía desde el 4,2 hasta el 100%. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por BRASIER *et al.* (1993a) en una toma de muestras realizada en el sudeste español y en el Algarve portugués, en la que obtuvieron porcentajes de aislamiento del 4 al 71%. En una prospección efectuada en la primavera y otoño de 1995 en las provincias de Cádiz, Toledo, Ciudad Real, Madrid y Ávila, la frecuencia de aislamiento fue mucho menor (4%) (TUSET *et al.*, 1996). En un estudio realizado

en la provincia de Huelva (SÁNCHEZ *et al.*, 2000a), los porcentajes de aislamiento obtenidos en diferentes épocas del año varían desde el 5 al 30% en raíz y del 8 al 63% en suelo, obteniéndose los mayores porcentajes tanto en suelo como en raíz en el mes de Julio, con una humedad del suelo del 8% (SÁNCHEZ *et al.*, 2000a).

En nuestro estudio, las tomas de muestras se realizaron en otoño y primavera por ser las épocas más favorables para obtener lesiones frescas de las raíces (TSAO, 1990; BRASIER, 1996; ERWIN y RIBEIRO, 1996), al tratarse generalmente de épocas de lluvias. La estación más propicia para el aislamiento de *P. cinnamomi* fue el otoño (año 2000), donde se aisló el hongo en 5 de las 8 parcelas de estudio, con elevados porcentajes de aislamiento en suelo.

La correlación entre el porcentaje de aislamiento de *Phytophthora* y los factores climáticos tales como lluvia, humedad del suelo, temperatura máxima, mínima y media no mostraron resultados claramente significativos. No obstante, las temperaturas medias y mínimas en las semanas anteriores a la toma de muestras se correlacionaron positivamente con el porcentaje de aislamiento en suelo. Estos resultados sugieren que *P. cinnamomi* se aísla con más facilidad a temperaturas medias y mínimas elevadas.

La escasa correlación entre la lluvia acumulada en las semanas anteriores a la toma de muestras y el porcentaje de aislamiento de *P. cinnamomi*, puede deberse a que la escala de tiempo seleccionada es pequeña, y que la lluvia inmediatamente antes de la toma de muestras no tiene tanta influencia como debe tener la lluvia acumulada en períodos de tiempo más largos. Esto se pone de manifiesto en la toma de muestras de la primavera de 2001 en la finca La Pizarra (Huelva). En trabajos anteriores se había aislado *P. cinnamomi* de esta misma finca (SÁNCHEZ *et al.*, 2000a). Sin embargo, en las dos primeras tomas de muestras no se consiguió aislar el hongo, aunque tras un invierno muy lluvioso (2000-2001) se aisló tanto de suelo como de raíz. Además, la humedad del suelo en las

dos primeras tomas de muestras fue bastante similar (11,5% de media) y en la tercera toma de muestras fue algo menor (6,3%), ya que había pasado más tiempo desde la última lluvia, confirmando que más que la humedad del suelo en el momento de la toma de muestras, el factor que más puede influir en el aislamiento del hongo es la acumulación de agua en el suelo a largo plazo.

En las observaciones realizadas en el microscopio invertido, todos los aislados de *P. cinnamomi* procedentes de encina presentaron un micelio botrioso-coraloide claramente distinguible del micelio de los aislados procedentes de alcornoque, constituido por hifas rectas, poco ramificadas, con abundantes hinchazones hifales esféricas y en racimo. Esta especie fúngica es heterotálica y en Europa sólo existe el talo A2 (ERWIN y RIBEIRO, 1996). Por tanto, no cabe atribuir estas variaciones morfológicas a la recombinación inherente a la reproducción sexual. Estas variantes morfológicas ya han sido detectadas en aislados procedentes de Huelva y Portugal, también asociadas al huésped (SÁNCHEZ *et al.*, 2000c). Sin embargo, estas diferencias morfológicas que evidencian la existencia de distintos genotipos no parecen corresponderse con diferencias patogénicas. Así, los aislados procedentes de encina pueden infectar raíz de alcornoques con la misma virulencia que los aislados de encina y viceversa (SÁNCHEZ *et al.*, 2000c; CAETANO *et al.*, 2001). En un estudio realizado por ROBIN y DESPREZ-LOUSTAU (1998), se demostró la distinta virulencia de aislados de *P. cinnamomi* de diversos huéspedes. No obstante, la virulencia de cada aislado era similar en todos los huéspedes ensayados. En contraposición, ZENTMYER y GUILLEMET (1981) encontraron especificidad de huésped entre cepas de *P. cinnamomi* de distintos huéspedes.

La morfología de los esporangios de nuestros aislados coincide con la descrita para la especie *P. cinnamomi* (ERWIN y RIBEIRO, 1996). Destaca el elevado porcentaje de esporangios de ápice truncado, característica que comparten con otros aislados andaluces del

género *Phytophthora* procedentes de *Quercus* (ANDICOBERRY, 2000; SÁNCHEZ *et al.*, 2000a) y otras especies leñosas o herbáceas. Este es el caso de *Phytophthora drechsleri* en *Pinus halepensis* (ANDICOBERRY, 2000) y *P. megasperma* en olivo (SÁNCHEZ HERNÁNDEZ *et al.*, 2001b) y garbanzo (RODRÍGUEZ TELLO, 1994).

Todos los aislados estudiados presentaron curvas de crecimiento muy parecidas, con elevadas tasas de crecimiento y temperaturas óptimas en torno a 25,5° C, que se ajustan bien a las descritas para *P. cinnamomi* (ERWIN y RIBEIRO, 1996). Destacan tres aislados obtenidos en la primera toma de muestras y procedentes de la misma finca de Huelva (La Encarnación), que presentan tasas de crecimiento menores que el resto, si bien presentan similares temperaturas óptimas de crecimiento. En un estudio realizado con aislados procedentes de la misma zona (Huelva) se obtuvieron temperaturas óptimas de 30,2° C (SÁNCHEZ *et al.*, 2000a), que difieren casi en 5° C con los obtenidos en este estudio. Por tanto, se pone de manifiesto la gran diversidad fisiológica de los aislados de *P. cinnamomi* de esta zona.

Las temperaturas mínimas de crecimiento son relativamente altas (de 6 a 9° C dependiendo del aislado, estando la mayoría de los casos en torno a 7-8 °C). Además, las tasas de crecimiento a 10° C son muy bajas, en parti-

cular para los aislados provenientes de la finca La Encarnación (Huelva), lo que implica que el hongo presenta una limitación de crecimiento a temperaturas bajas. Esto concuerda con las correlaciones obtenidas, según las cuales el hongo se aísla más fácilmente de suelo con temperaturas mínimas elevadas.

Como conclusión final se debe señalar que, si bien se han detectado diversas enfermedades y plagas de insectos asociados al deterioro del arbolado, la podredumbre radical causada por *P. cinnamomi* ha sido la enfermedad más frecuente y grave, lo que permite destacarla como un factor importante responsable de la Seca de *Quercus* en Andalucía occidental.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía la colaboración prestada en la realización de los trabajos selvícolas, así como la evaluación del estado de defoliación del arbolado. Este trabajo ha sido financiado por el Programa FEDER de la U.E. (proyecto 1FD97-0911-CO3-03) y el Convenio suscrito entre la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía y la Universidad de Córdoba para el estudio de la Seca de *Quercus* en Andalucía.

ABSTRACT

SÁNCHEZ HERNÁNDEZ M.E., J.E. SÁNCHEZ SOLANA, R.M. NAVARRO CERRILLO, P. FERNÁNDEZ REBOLLO, A. TRAPERO CASAS. Incidence of the root rot caused by *Phytophthora cinnamomi* in *Quercus* forests in Andalucía (southern Spain). *Bol. San. Veg. Plagas*, **29**: 87-108.

The root rot caused by *Phytophthora cinnamomi* is one of the biotic factors frequently associated with Mediterranean oak decline. The aim of this work has been to study the incidence of *P. cinnamomi* in declining *Quercus* forests in southern Spain. It was carried out in eight forests located in the provinces most affected by oak decline. The fungus *P. cinnamomi* has been the main pathogen associated with decline symptoms, but other diseases and insect pests have also been detected. Morphological differences have been observed between the isolates of *P. cinnamomi* from *Quercus ilex* and those from *Quercus suber*. In contrast, optimal growth temperatures were similar for all the isolates. In addition, the presence of *P. cinnamomi* in infected trees has been correlated with some climatic variables. Fungal isolation did not result correlated with rain, soil humidity and temperature registered before sampling. However, isolation appeared as favoured by high minimum and average temperatures.

Key words: *Phytophthora cinnamomi*, *Quercus ilex*, *Quercus suber*, oak decline.

REFERENCIAS

- ABADÍA, A., GIL-PELEGRÍN, E., MORALES, F., MONTAÑÉS, L., MONSERRAT, G., ABADÍA J. 1996. Marcescence and senescence in a sub-mediterranean oak (*Quercus subpyrenaica* E.H. del Villar). Photosynthetic characteristics an nutrient composition. *Plant Cell Environ.*, **19**: 685-694.
- ALLUÉ, J.L. 1995. El cambio climático y los montes españoles. *Cuadernos de la SECF*, **2**: 35-74.
- ANDICOBERRY, S. 2000. Identificación y patogenicidad de *Phytophthora* spp. asociadas con podredumbres radicales de *Quercus* spp. en viveros forestales de Andalucía. Trabajo Profesional Fin de Carrera, ETSIAM, Universidad de Córdoba. 181 pp.
- BRASIER, C.M. 1993. *Phytophthora cinnamomi* as a contributory factor in European oak declines. In: Recent advances in studies on oak decline. (N. Luisi, P. Lerario, A. Vannini, eds.), Brindisi. pp. 49-57.
- 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., ROBREDO, F., FERRAZ, J.F.P. 1993 a. Evidence for *Phytophthora cinnamomi* involvement in Iberian oak decline. *Plant Pathol.*, **42**: 140-145.
- BRASIER, C.M., MOREIRA, A.C., FERRAZ, J.F.P., KIRK, S. 1993 b. High mortality of cork oak in Portugal associated with *Phytophthora cinnamomi*. In: Recent advances in studies on oak decline (N. Luisi, P. Lerario, A. Vannini, eds.), Brindisi. pp. 461-462.
- CAETANO, P., SÁNCHEZ, J., SÁNCHEZ, M.E., TRAPERÓ, A. 2001. *Phytophthora* spp. in Iberian Mediterranean oak forests. Abstracts of the Annual Meeting of the Forest Pathology Group. Gregynog, Reino Unido. 1 pp.
- COBOS, J.M., MONTOYA, R., TUSET, J.J. 1993. New damage to *Quercus* woodlands in Spain. Preliminary evaluation of the possible implication of *Phytophthora cinnamomi*. In: Recent advances in studies on oak decline (N. Luisi, P. Lerario, A. Vannini, eds.), Brindisi. pp. 49-58.
- DHINGRA, O.D., SINCLAIR, J.B. 1995. Basic Plant Pathology methods. CRC Press, Boca Raton, FL. 434 pp.
- ERWIN, D.C., RIBEIRO, O.K. 1996. *Phytophthora* diseases worldwide. APS Press, St. Paul, MN. 562 pp.
- FERNÁNDEZ, J., MONTERO, G. 1993. Prospección de secas en *Quercus* de Extremadura y La Mancha. *Montes*, **32**: 32-37.
- FERRETI, M. (ed.). 1994. Especies forestales mediterráneas. Guía para la evaluación de copas. Comisión de las Comunidades Europeas, Bruselas.
- GALLEGO, F.J., DE ALGABA, A.P., FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R. 1999. Etiology of oak decline in Spain. *Eur. J. For. Path.*, **29**: 17-27.
- HANSEN, E., DELATOUR, C. 1999 a. *Phytophthora* species in oak forests of north-east France. *Ann. Sci. For.*, **56**: 539-537.
- HANSEN, E., DELATOUR, C. 1999 b. *Phytophthora* in a French oak forest. Proceedings of the 1st IUFRO Working Group on *Phytophthora* diseases of trees. (E.M. Hansen, W. Sutton, eds.), Oregon. pp. 116-117.
- HERMOSO, R., SÁNCHEZ, E., TRAPERÓ, A. 2001. Bioensayo para la detección de *Phytophthora cinnamomi* en el suelo de rodales afectados por la Seca de *Quercus*. Actas del III Congreso Forestal Español, Mesa 6, Granada. pp. 72-77.
- IBARRA, N., LASTANAO, C., GIL-PELEGRÍN, E. MARTÍN-BERNAL, E. 2001. *Kermes vermilio* Planchon, parásito de Quercíneas en Aragón. Primeras observaciones. Actas del III Congreso Forestal Español, Mesa 6, Granada. pp.187-193.
- JEFFERS, N.S., MARTÍN, J.B. 1986. Comparison of two media selective for *Phytophthora* and *Pythium* species. *Plant Dis.*, **70**: 1038-1043.
- LÉVI, A. 1999. Ink disease of the northern red oak caused *Phytophthora cinnamomi*: distribution in France, site factors in the piedmont of the western pyrénées. Proceedings of the 1st IUFRO Working Group on *Phytophthora* diseases of trees. (E.M. Hansen, W. Sutton, eds.), Oregon. pp: 122-123.
- LUQUE, J., GIRBAL, J. 1989. Dieback of cork oak (*Quercus suber*) in Catalonia (NE Spain) caused by *Botryosphaeria stevensii*. *Eur. J. For. Path.*, **19**: 7-13.
- MANION, P.D. 1991. Tree disease concepts. Prentice-Hall, Londres. 402 pp.
- MONTOYA, J.M. 1994. ¿Qué es la "seca de los *Quercus*"?. Actas de la X Reunión Anual del Grupo de Trabajo Fitosanitario de Forestales, Parques y Jardines, Madrid. 4 pp.
- MOREIRA, A.C., FERRAZ, J.F.P., CLEGG, J.M. 1997. Susceptibility of *Quercus suber* and *Q. rotundifolia* to infection by *Phytophthora cinnamomi*. Proceedings of the 10th Congress MPU, Montpellier. pp. 427-431.
- MUÑOZ, M., RUPÉREZ, A. 1987. La patología de la encina (*Quercus ilex* L.) en España. *Bol. San. Veg. Plagas*, **13**: 203-212.
- NAVARRO, N., TRAPERÓ, A. 1998. Gama de huéspedes de *Spilocaea oleagina*, agente del repilo del olivo. Resúmenes del IX Congreso de la SEF, Salamanca. pp.110.
- NAVARRO, R.M., FERNÁNDEZ, P. 2000. El síndrome de la Seca del encinar. Propuesta de solución para el Valle de los Pedroches. Ed. Fundación Ricardo Delgado Vizcaíno, Pozoblanco (Córdoba). 172 pp.
- NAVARRO, R.M., FERNÁNDEZ, P., TRAPERÓ, A., SÁNCHEZ, M.E. 2001. Desarrollo de modelos de evaluación de daños producidos por la seca de especies del género *Quercus* L. en Andalucía. Propuestas de solución. Informe Final 2001. Departamento de Ingeniería Rural y Departamento de Agronomía (ETSIAM, Universidad de Córdoba), Consejería de Medio Ambiente (Junta de Andalucía). 160 pp.
- RAGAZZI, A., MORICCA, S., DELLAVALLE, I., TURCO, E. 2000. Decline of oak species in Italy. Problems and perspectives. Ed. Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze. 257 pp.
- RIBEIRO, O.K. 1978. A source book of the genus *Phytophthora*. J. Cramer, Vaduz. 417 pp.
- ROBIN, C., DESPREZ-LOUSTAU, M. 1998. Testing variability in pathogenicity of *Phytophthora cinnamomi*. *Eur. J. Plant Pathol.*, **104**: 465-475.

- RODRÍGUEZ TELLO, A. 1994. La muerte de plántulas de garbanzo causada por *Pythium* spp. y *Phytophthora megasperma* en Andalucía: etiología y control. Tesis Doctoral, ETSIAM, Universidad de Córdoba. 375 pp.
- ROMANYK, N., CADAHÍA, D. (eds.). 1992. Plagas de insectos en las masas forestales españolas. Publicaciones del Organismo Autónomo Parques Nacionales, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid. 342 pp.
- 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.
- SÁNCHEZ, M.E., NAVARRO, R.M., TRAPERO, A., FERNÁNDEZ, P. 2000 b. La "seca" de encinas y alcornoques: una visión histórica. *Montes*, **62**: 29-39.
- SÁNCHEZ, M.E., NAVARRO, R.M., FERNÁNDEZ, P., TRAPERO, A. 2000 c. Hongos fitopatógenos asociados a la Seca de los *Quercus* en Andalucía. Resúmenes del X Congreso de la SEF, Valencia. pp. 75.
- SÁNCHEZ, M.E., VENEGAS, J., ROMERO, M.A., BLANCO, M.A., TRAPERO, A. 2001 a. Fungal canker diseases associated with Mediterranean *Quercus decline* in southern Spain. Proceedings of the 11th Congress of the MUP, Évora (Portugal). pp. 64-66.
- SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, E., MUÑOZ-GARCÍA, M., BRASIER, C.M., TRAPERO-CASAS, A. 2001 b. Identity and pathogenicity of two *Phytophthora* taxa associated with a new root disease of olive trees. *Plant Dis.*, **85**: 411-416.
- SÁNCHEZ GUTIERREZ, F.J., CABELLO MEDINA, J. 1993. Influence of abiotic factors on oak decline evolution in "Los Alcornocales" Natural Park, Andalucía (Spain). In: Recent advances in studies on oak decline. (N. Luisi, P. Lerario, A. Vannini, eds.), Brindisi. pp. 523-524.
- SHEARER, B.L., TIPPETT, J.T. 1989. Jarrah Dieback: The dynamics and management of *Phytophthora cinnamomi* in the jarrah (*Eucalyptus marginata*) forest of south-western Australia. Department of Conservation and Land Management, Western Australia, Res. Bull. N° 3. 76 pp.
- SILLERO, M.L. 1999. Estudio del decaimiento del encinar en el monte público "Dehesa de Pedroche" (Córdoba). Propuesta de actuación. Trabajo Profesional Fin de Carrera, ETSIAM, Universidad de Córdoba. 297 pp.
- SORIA, S., LÓPEZ, M., LÓPEZ, M. 1997. Presencia, sintomatología y daños de *Erwinia quercina* en España y su posible relación con la seca de la encina. *Ecología*, **11**: 295-301.
- STELL, G.D., TORRIE, J.H. 1985. Bioestadística: Principios y procedimientos. Mc Graw-Hill, Bogotá. 622 pp.
- TIETJE, W., WEITKAMP, W., JENSEN, W.A., GARCÍA, S. 1993. Drought takes toll on Central Coast's native oaks. *California Agriculture*, **47**: 4-6.
- TORRES JUAN, J. 1985. El *Hypoxylon mediterraneum* (De Not) Mill y su comportamiento en los encinares y alcornoques. *Bol. San. Veg. Plagas*, **11**: 185-191.
- TORRES JUAN, J. 1993. Patología Forestal. Ed. Mundi-Prensa, Madrid. 265 pp.
- TRAPERO, A., SÁNCHEZ, M.E., PÉREZ DE ALGABA, A., ROMERO, M.A., NAVARRO, N., VARO, R., GUTIÉRREZ, J. 2000. Enfermedades de especies forestales en Andalucía. *Agricultura*, **821**: 822-824.
- TSAO, P.H. 1990. Why many *Phytophthora* root and crown rots of tree and horticultural crops remain undetected. *EPPO Bull.*, **20**: 11-17.
- TUSET, J.J. 1995. Implicación del hongo *Phytophthora* en el decaimiento de las formaciones de *Quercus* en los ecosistemas mediterráneos. Actas de la XII Reunión Anual del Grupo de Trabajo Fitosanitario de Forestales, Parques y Jardines, Gerona. pp. 87-89.
- 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.
- TUSET, J.J., HINAREJOS, C., MIRA, J.L., COBOS, J.M. 1997. Síntomas de estrés hídrico y de "Seca" en encinas (*Quercus ilex* subsp. *ballota*) inoculadas con *Phytophthora cinnamomi* en una dehesa del centro de España. Actas del II Congreso Forestal Español. Tomo V, Pamplona. pp. 473-478.
- ZENTMYER, G.A., GUILLEMET, F.B. 1981. Evidence for strains of *Phytophthora cinnamomi*. *Plant Dis.*, **65**: 475-477.

(Recepción: 6 mayo 2002)

(Aceptación: 10 junio 2002)