

Mapas de riesgo de aparición y desarrollo de la enfermedad del marchitamiento de los pinos (*Bursaphelenchus xylophilus*) en Extremadura

J. M.^a Fernández y A. Solla*

Departamento de Biología y Producción de los Vegetales, Ingeniería Técnica Forestal. Universidad de Extremadura. Av. Virgen del Puerto 2. 10600-Plasencia. España

Resumen

La reciente aparición en Setúbal del nematodo *Bursaphelenchus xylophilus*, causante del marchitamiento de los pinos, ha obligado a Portugal a adoptar medidas de cuarentena en cuanto a la exportación de madera. Se evalúa el riesgo de aparición y desarrollo de esta enfermedad en Extremadura, y para ello se tuvo en cuenta la susceptibilidad específica de *Pinus* spp., las temperaturas medias diarias de julio, y el riesgo de aparición del nematodo a través de su difusión desde la frontera portuguesa o desde aserraderos ubicados en la región. El riesgo se definió en cuatro clases y se plasmó en mapas a través de un SIG. Los resultados mostraron que casi el 70% de los pinares extremeños están incluidos en las clases de riesgos alto (81.043 ha) y muy alto (27.091 ha). Esto se debe a que la región cuenta con temperaturas cálidas prolongadas y con casi un 75% de sus pinares ocupados por *P. pinaster*, especie muy susceptible al nematodo. Las principales masas con riesgo muy alto se ubican en las Comarcas de Herrera del Duque y de Puebla de Alcocer. Se discuten los resultados obtenidos y su utilidad como apoyo a la prevención.

Palabras clave: nematodo de la madera del pino, *Monochamus galloprovincialis*, *Pinus* spp., Sistema de Información Geográfico, geofitopatología, epidemiología.

Abstract

Risk maps of appearance and development of the pine wilt disease (*Bursaphelenchus xylophilus*) in Extremadura

The recent outbreak of the pine wilt disease in Setúbal, caused by *Bursaphelenchus xylophilus*, has forced Portugal to adopt quarantine measurements in relation to wood exportations. The risk of appearance and development of the disease in Extremadura was evaluated. The specific susceptibility of *Pinus* spp., the average daily temperatures of July, and the risk of appearance of the nematode from the Portuguese border or from sawmills located in Extremadura were considered. The risk was defined in four classes, which were represented in maps using a GIS. The results showed that almost 70% of the Extremadura pine stands were included within the high (81.043 ha) and very high (27.091 ha) risk classes. This could be explained due to the continued hot temperatures within the region, and due to the presence of the highly susceptible *P. pinaster* species, occupying about 75% of the pine stands. The main pine stands with very high risk were located at the Herrera del Duque and Puebla de Alcocer regions. The obtained results and the usefulness of the risk maps as tools for disease prevention are discussed.

Key words: pine wood nematode, *Monochamus galloprovincialis*, *Pinus* spp., Geographic Information System, geophytopathology, epidemiology.

Introducción

La enfermedad del marchitamiento de los pinos (pine wilt disease), causada por el nematodo *Bursaphe-*

lenchus xylophilus (Steiner y Buhrer) Nickle, es la patología forestal que mayores daños maderables ha causado en el este asiático y en Japón (Mamiya, 1988). Los principales hospedantes de la enfermedad son las especies del género *Pinus*, siendo *P. pinaster* Ait., *P. nigra* Arn. y *P. sylvestris* L. altamente susceptibles (Evans *et al.*, 1996). La enfermedad se transmite a partir de ce-

* Autor para la correspondencia: asolla@unex.es
Recibido: 15-11-05; Aceptado: 04-04-06.

rambícidos del género *Monochamus*, que en estado de imago y durante su maduración se alimentan de ramillos de pino infectando los árboles sanos (Mamiya y Enda, 1972). Una vez que *B. xylophilus* coloniza el árbol, se produce la cavitación y obstrucción de las traqueidas y una consecuente pérdida de conductividad hidráulica del xilema (Fukuda, 1997), lo que resulta en un rápido marchitamiento de acículas, y muerte del árbol (Mamiya, 1983; Bedker *et al.*, 1987).

Nativo de Norteamérica, el nematodo se introdujo a principios del siglo XX en Japón, generando entre 1978 y 1981 pérdidas anuales de madera superiores a $2 \cdot 10^6$ m³ (Mamiya, 1988). Sucesivamente, el nematodo fue detectado en China, 1982, en Taiwán, 1985, y en la península de Corea en 1988. A finales de los 90, *B. xylophilus* se detecta por primera vez en Europa, sobre unas masas de *P. pinaster* ubicadas en Setúbal, Portugal (Mota *et al.*, 1999) (Fig. 1), confirmandose su transmi-



Figura 1. Situación del foco de *Bursaphelenchus xylophilus* detectado en 1999 en Setúbal, Portugal (flecha), y área de estudio delimitada por comarcas (partidos judiciales).

sión por *Monochamus galloprovincialis* (Oliv.) (Sousa *et al.*, 2001). Dado que la Unión Europea no permite el transporte de madera infectada entre sus estados miembros (Anónimo, 2000a), Portugal ha sido sometido a medidas de cuarentena desde 1999 en cuanto a la exportación de madera de pino. Asimismo, todas las Comunidades Autónomas españolas, excepto Canarias, se han visto obligadas a realizar prospecciones anuales del nematodo a partir de muestras de madera de pinares, aserraderos, industrias madereras, y puntos de inspección de frontera (PIFs) (Anónimo, 2000b).

Para que la enfermedad del marchitamiento de los pinos se desarrolle, resulta necesario que coincidan en un mismo lugar el nematodo, el vector, el hospedante, y una serie de factores, entre ellos climáticos, que aumenten el grado de susceptibilidad de los árboles al patógeno. El factor que más influye en el desarrollo de la enfermedad es la temperatura, de modo que a temperaturas en julio o agosto superiores a 20-25°C se observa mortalidad del arbolado (Mamiya, 1984; Rutherford y Webster, 1987; Rutherford *et al.*, 1990; Evans *et al.*, 1996). Estudios previos de la enfermedad en Norteamérica y Japón indican que la mortalidad se relaciona positivamente con las isotermas estivales, especialmente con las temperaturas medias del mes más cálido (Rutherford y Webster, 1987; Rutherford *et al.*, 1990). Otros factores que influyen en el desarrollo de la enfermedad son el déficit de humedad en el aire y el estrés hídrico de la planta (Suzuki y Kiyohara, 1978; Mamiya, 1984; Rutherford y Webster, 1987).

En Extremadura, y en gran parte de la Península Ibérica, se dan las condiciones idóneas para el desarrollo de la enfermedad debido a la presencia del hospedante y del vector (De Castro y Blanco, 1993; Vives, 2000), y a que las temperaturas medias mensuales durante julio y agosto son superiores a 20°C. Además, la acusada sequía estival y la ubicación de los pinares en la región, habitualmente sobre suelos poco profundos, condicionan el vigor del arbolado. Por ser Extremadura la Comunidad española más próxima al foco detectado en Portugal, resulta necesario evaluar el riesgo de introducción y desarrollo de la enfermedad. Los mapas de riesgo proporcionan al gestor forestal una valiosa información que sirve para definir estrategias de control ante plagas, enfermedades, incendios, y otros daños (Booth *et al.*, 2000a, b; Meentemeyer *et al.*, 2004; Van Staden *et al.*, 2004). No sólo facilitan las labores de prospección fitosanitarias, sino que sirven, a modo de prevención, para evitar repoblar con especies susceptibles a un

patógeno, insecto plaga, o agente meteorológico adverso, en zonas donde el riesgo es mayor. El objetivo de este trabajo es cuantificar, mediante un Sistema de Información Geográfico el riesgo de aparición y de desarrollo de *B. xylophilus* en Extremadura.

Material y Métodos

Área de estudio

Se ha estudiado el territorio de la Comunidad Autónoma de Extremadura, por ser la comunidad española más próxima al foco de origen detectado en Portugal (Fig. 1) (Mota *et al.*, 1999). El territorio abarca 4.163.457 ha, de las cuales 740.154 ha son de uso forestal arbolado (18%); entre las coníferas destacan *Pinus pinaster* y *P. pinea* L., que como especies dominantes ocupan 105.314 y 11.399 ha, respectivamente (MAPA-ICONA, 1995). El clima es mediterráneo con influencia continental, aunque la ausencia de relieves montañosos al oeste de la región permite la entrada de aire húmedo del atlántico. Las precipitaciones medias anuales oscilan entre 450 mm en La Serena y Tierra de Barros, y 1.200 mm en las comarcas del norte de Cáceres (Núñez y Sosa, 1999).

Elaboración de los mapas

Para la elaboración de los mapas se utilizaron y generaron distintas capas temáticas mediante el Sistema de Información Geográfico (SIG) ArcView v.3.1 (ESRI® Redlands, CA, US). Estas capas se solaparon sucesivamente (Fig. 2), a semejanza de Pérez *et al.* (2002), hasta obtener los mapas de riesgo potencial, riesgo por especies, y riesgo de aparición y desarrollo de la enfermedad.

Delimitación de las zonas de riesgo potencial

Las zonas de riesgo potencial para el desarrollo de *B. xylophyllus* en Extremadura se delimitaron a partir de las isotermas del mes más cálido (Rutherford y Webster, 1987; Pérez *et al.*, 2002). Se utilizaron los datos de 92 estaciones meteorológicas (Fig. 3), proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología. Las tempera-

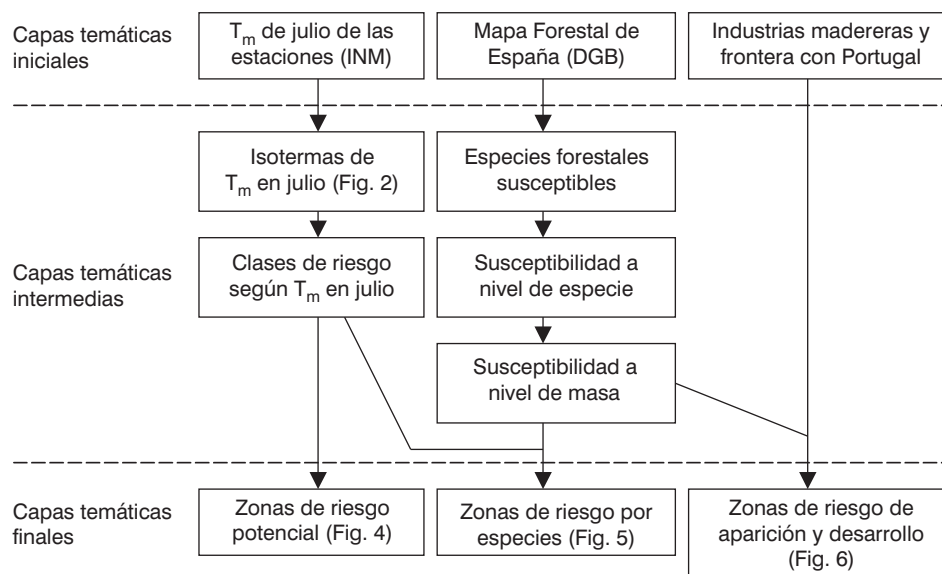


Figura 2. Capas temáticas originadas en el Sistema de Información Geográfica para la obtención de los mapas de riesgo.

turas medias mensuales se calcularon a partir de las máximas y mínimas diarias, considerando un período de 30 años (1961-1990) (Van Staden *et al.*, 2004). En Extremadura, el mes de temperaturas medias diarias (T_m) más altas es julio, con un valor medio de 25,8°C (desv. est. = 1,1). A partir de los datos de temperaturas disponibles, el cálculo de las isotermas se hizo mediante una interpolación geoestadística, o kriging, a través de la extensión Spatial Analyst de ArcView. Las isotermas se crearon cada 2°C, entre el rango de 24 a 28°C (Fig. 3), y teniendo en cuenta diversos estudios (Rutherford y Webster, 1987; Rutherford *et al.*, 1990; Evans *et al.*, 1996; Pérez *et al.*, 2002), se definieron cuatro clases de riesgo según T_m de julio (x): i) riesgo nulo, muy bajo o bajo si $x < 18^\circ\text{C}$, ii) medio si $18^\circ\text{C} \leq x < 22^\circ\text{C}$, iii) alto si $22^\circ\text{C} \leq x < 26^\circ\text{C}$, y iv) muy alto si $x \leq 26^\circ\text{C}$.

Delimitación de las zonas de riesgo por especies

Las zonas de riesgo se delimitaron para las 5 especies de pino que forman masas en Extremadura: *P. pinaster*, *P. sylvestris*, *P. pinea*, *P. halepensis* Mill. y *P. radiata* D. Don. La distribución de estas masas se obtuvo a partir del Mapa Forestal Español 1:50.000 (DGB, Ministerio de Medio Ambiente).

El riesgo se determinó a partir de: i) la susceptibilidad intrínseca de cada especie, ii) el nivel de presencia de cada especie en una masa, y iii) T_m de julio en cada masa. El estrés del arbolado no se consideró por tratarse de un parámetro de difícil evaluación. A partir del listado de susceptibilidad elaborado por Evans *et al.* (1996), las especies se clasificaron en susceptibles (*P. pinaster* y *P. sylvestris*) y en moderadamente susceptibles (*P. pinea*, *P. halepensis* y *P. radiata*). En el Mapa Forestal Español, la presencia de las especies en una masa se indica como 'de primera especie' (máxima presencia), 'de segunda', 'de tercera' y 'de cuarta' (menor presencia). Según el nivel de presencia de los pinos en las masas, se establecieron dos tipos de masas: A, masas con especies susceptibles que aparecen como primera o segunda especie; y B, masas en el resto de situaciones. Esta clasificación se cruzó con las clases de riesgo definidas según las temperaturas, de modo que finalmente se establecieron seis clases de riesgo de desarrollo de la enfermedad: muy alto, alto, medio, bajo, muy bajo y nulo (Tabla 1).

Delimitación de las zonas de riesgo de aparición y desarrollo

Se consideraron zonas de riesgo de aparición de la enfermedad: i) una banda de 5 km de ancho a partir del

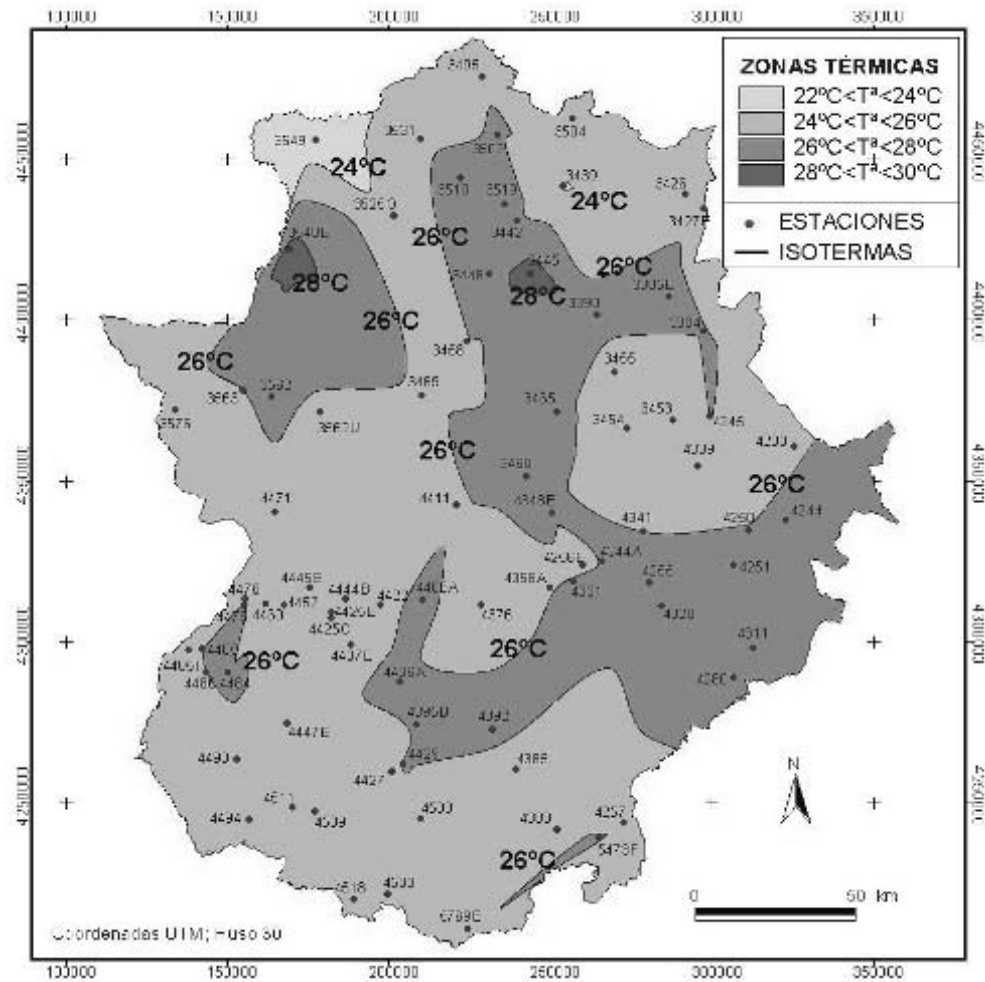


Figura 3. Mapa de isotermas del mes de julio en Extremadura, obtenido a partir de las estaciones meteorológicas señaladas. Los números se corresponden con los códigos que utiliza el Instituto Nacional de Meteorología para identificar las estaciones.

perímetro fronterizo de Extremadura con Portugal, y ii) el área de 5 km de radio a partir de núcleos en los que existen industrias de transformación de madera de co-

níferas, que importen, almacenen o manipulen madera, tales como serrerías. La distancia de 5 km representa un margen de seguridad ante la máxima capacidad de vue-

Tabla 1. Clases de riesgo de desarrollo de *Bursaphelenchus xylophilus* según la temperatura media del mes de julio y la composición específica de la masa

Temperatura (x)	Masa tipo A*	Masa tipo B**
$x < 18^{\circ}\text{C}$	Bajo	Nulo
$18^{\circ}\text{C} \leq x < 22^{\circ}\text{C}$	Medio	Muy Bajo
$22^{\circ}\text{C} \leq x < 26^{\circ}\text{C}$	Alto	Bajo
$26^{\circ}\text{C} \leq x$	Muy alto	Medio

* Masas con especies susceptibles (*P. pinaster* y *P. sylvestris*) que aparecen como primera o segunda especie.

** Masas con especies susceptibles que aparecen como tercera o cuarta especie, y masas con especies moderadamente susceptibles (*P. pinea*, *P. halepensis* y *P. radiata*).

Tabla 2. Distribución de la superficie (ha) ocupada por las diferentes especies de *Pinus* sp. en Extremadura atendiendo al riesgo de desarrollo de *Bursaphelenchus xylophilus*

Especie*	Riesgo			
	Muy alto	Alto	Medio	Bajo
<i>P. pinaster</i> (A)	27.091	79.192	544	13.734
<i>P. pinea</i> (M)	0	0	32.818	7.875
<i>P. sylvestris</i> (A)	0	1.851	0	3
<i>P. halepensis</i> (M)	0	0	88	38
<i>P. radiata</i> (M)	0	0	0	41
Total (porcentaje)	27.091 (17)	81.043 (50)	33.450 (20)	21.691 (13)

* Entre paréntesis se indica la susceptibilidad al nematodo según Evans *et al.* (1996): A, alta; y M, moderada.

lo observada en los insectos vectores, de hasta 3,3 km (Kobayashi *et al.*, 1984; Evans *et al.*, 1996). La información relativa a la ubicación de las industrias de transformación de madera de coníferas fue proporcionada por Marcelino Valdés (Servicio de Sanidad Vegetal, Junta de Extremadura). El mapa de riesgo de aparición y desarrollo de *B. xylophilus* en Extremadura se obtuvo solapando las zonas de mayor riesgo de aparición con las clases de riesgo según la temperatura media en julio, y la susceptibilidad de los pinos a nivel de masa (Tabla 2, Fig. 2). Además, se añadió la capa temática de carreteras.

Resultados

Riesgo potencial

Dado que en Extremadura las temperaturas medias del mes más cálido (julio) oscilan entre 22,8 (Villamiel, comarca de Coria) y 28,7°C (Torrejón el Rubio, Plasencia), el territorio presenta sólo dos clases de riesgo potencial: alto y muy alto. El mapa de riesgo potencial se muestra en la Fig. 4, y abarca una extensión de 2.699.503 y 1.463.954 ha con riesgos potenciales alto y muy alto, respectivamente.

Riesgo específico

Extremadura cuenta con 128.902 ha de pinar cuyas especies, además de susceptibles (*P. pinaster* y *P. sylvestris*), aparecen como primera o segunda especie en la masa (tipo A). El resto de las masas de pinar ocu-

pan 34.373 ha (tipo B). En la Tabla 2 se muestra la distribución del riesgo por especies, el cual es alto mayoritariamente. Atendiendo a los criterios utilizados, sólo un 13% de los pinares extremeños presentan un riesgo bajo ante el desarrollo de la enfermedad.

Se pueden distinguir tres zonas con importante representación de *P. pinaster* (Fig. 5). La primera se corresponde con la Sierra de Gata-Las Hurdes (comarcas de Coria y de Hervás), la segunda comprende las Villuercas (comarcas de Logroñán y de Herrera del Duque) y La Serena (Puebla de Alcocer), y una tercera zona, menor, ubicada en las comarcas de Plasencia, Jaraíz, y Navalmoral de la Mata. Debido a las mayores T_m en julio, la mayoría de las masas situadas en las comarcas de Herrera del Duque, Puebla de Alcocer, sur de Plasencia y sur de Navalmoral, presentan un riesgo muy alto (Fig. 5). Al norte de las comarcas de Coria y Hervás se observan extensiones de riesgo bajo debido a que las temperaturas de julio son inferiores a 26°C, y a que *P. pinaster* se encuentra presente como tercera o cuarta especie, entremezclada con cultivo de olivos y cerezos, o dominada por matorral de *Erica australis* L. y *Cistus ladanifer* L., principalmente. La especie *P. pinea* presenta sus masas de mayor extensión en Brozas, Herrera del Duque y Don Benito, con riesgo medio, a excepción de las presentes en Llerena, con riesgo bajo (mapa no presentado). Las apenas 1800 ha de *P. sylvestris* en Extremadura se localizan en su mayoría en las comarcas de Hervás y Jaraíz, presentando un riesgo alto. Las pequeñas masas de *P. halepensis*, ubicadas en los alrededores de los Santos de Maimona (comarca de Almendralejo, 88 ha) y en el término municipal de Lobón (Mérida, 38 ha), presentan riesgos medio y bajo, respectivamente. Por último, al suroeste de la comarca

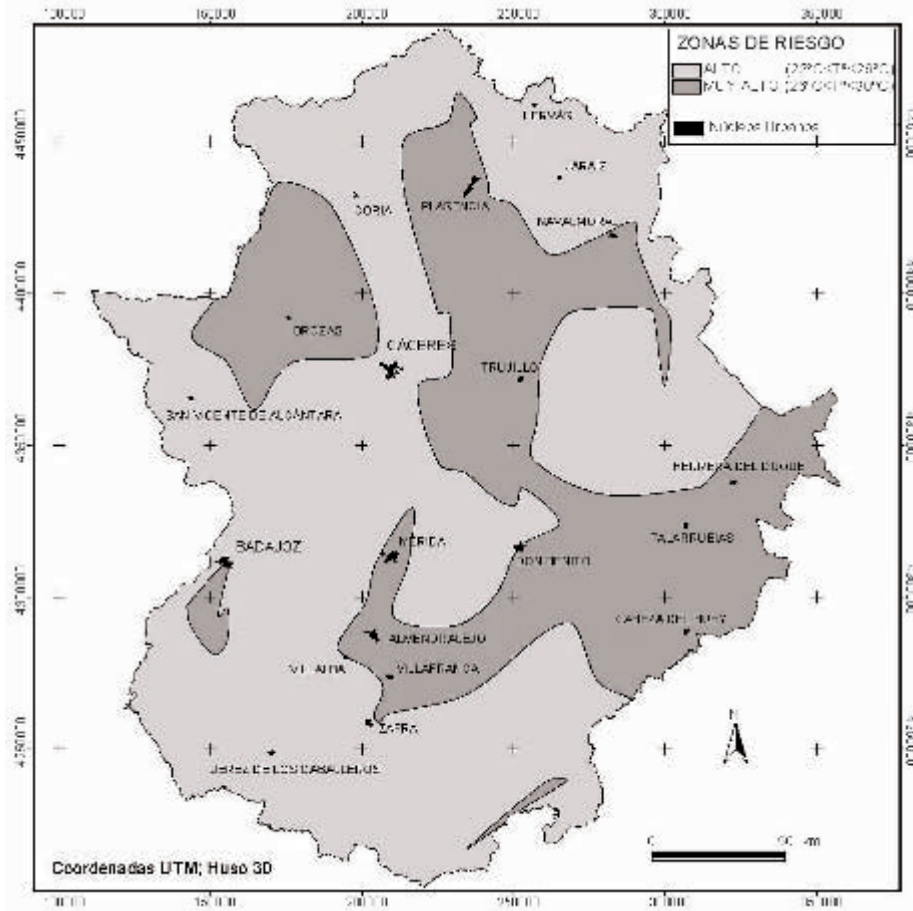


Figura 4. Mapa de zonas de riesgo potencial para el desarrollo de *Bursaphelenchus xylophilus* en Extremadura.

de Valencia de Alcántara, *P. radiata* está presente como tercera especie acompañada por *P. pinaster*, y con riesgo bajo.

Riesgo de aparición y desarrollo

Las 46 industrias de transformación de madera de coníferas en Extremadura se encuentran muy dispersas por la región, destacando una alta concentración al norte de la comarca de Coria y al oeste de la de Hervás (Fig. 6). En estas zonas se ubican numerosas masas de *P. pinaster* de riesgo alto. En la Fig. 6 se observa que las industrias de transformación se ubican próximas a los principales núcleos urbanos y vías de comunicación, destacando entre éstas las carreteras que comunican Plasencia con Monesterio (N-630), y Navalmoral con Badajoz (N-V).

Las masas con mayor riesgo de aparición de *B. xylophilus*, próximas a Portugal, son de *P. pinaster*; se ubican al oeste de las comarcas de Coria, Valencia de Alcántara y Alburquerque. El pinar de *P. pinea* de Oliva de la Frontera, al oeste de Jerez de los Caballeros, también se ubica dentro de la banda fronteriza (Fig. 6). Las únicas zonas en las que se observa continuidad de pinar, y en las que *B. xylophilus* pudiera desarrollarse abarcando una amplia extensión, son el norte (riesgo alto) y el centro-este de Extremadura (riesgo muy alto). En esta última zona, sólo se conoce una industria de transformación.

Discusión

Considerando que casi el 70% de los pinares extremeños se incluyen dentro de un riesgo alto y muy alto,

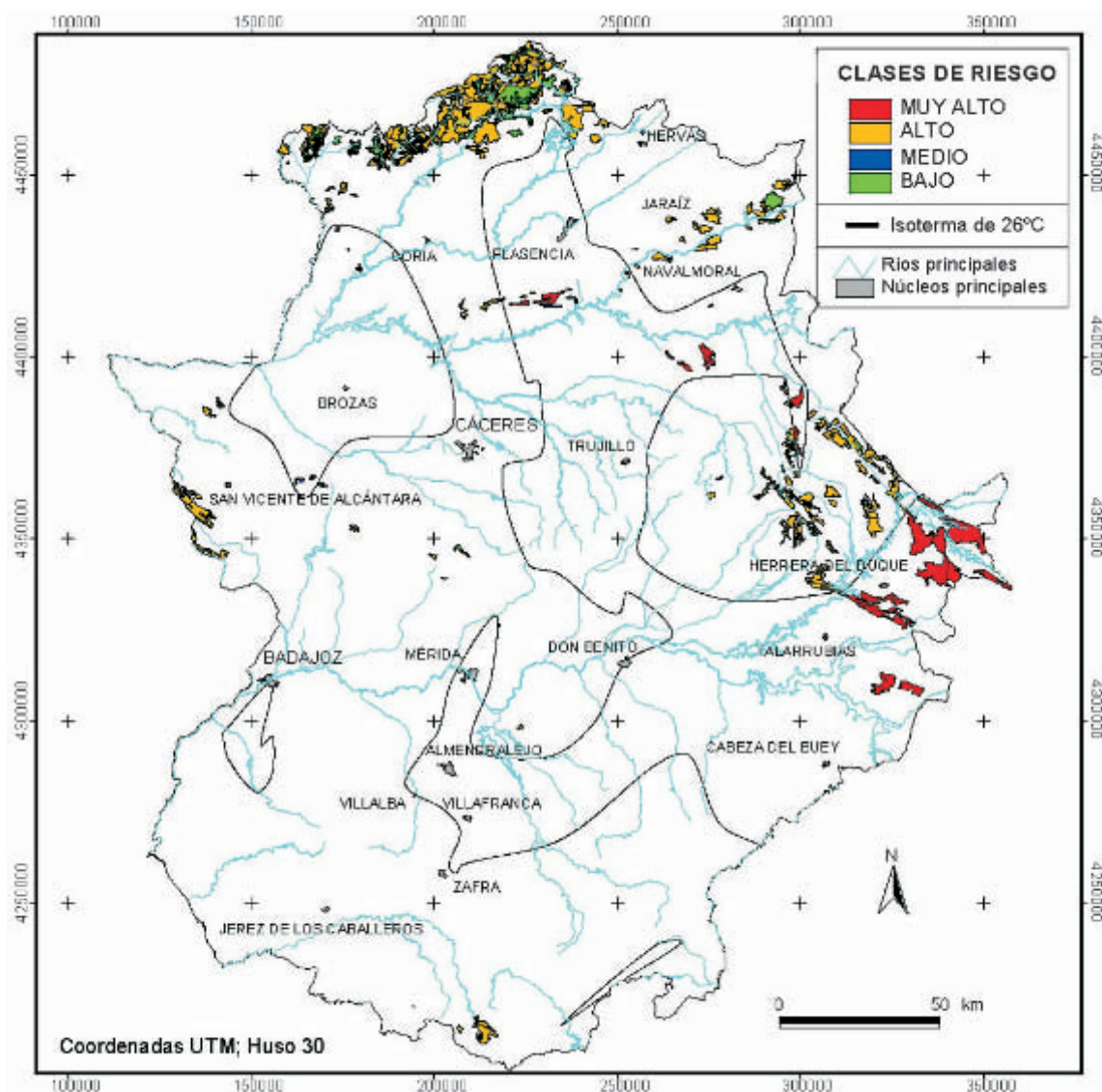


Figura 5. Mapa de riesgo para el desarrollo de *Bursaphelenchus xylophilus* en *Pinus pinaster* en Extremadura.

se concluye que el riesgo de desarrollo de la enfermedad en Extremadura es elevado. Las mayores extensiones de pinar se corresponden con *P. pinaster*, especie muy susceptible que habitualmente se encuentra como 1.^a o 2.^a especie dentro de las masas. En otros países, los mayores daños generados por *B. xylophilus* se observan ante temperaturas superiores de 25°C durante 55 días (Takeshita *et al.*, 1975), condición que cumple Extremadura en casi todas sus comarcas, salvo en Coria y en Hervás (Núñez y Sosa, 1999). Además, la acusada sequía que sufren los pinares durante el verano genera es-

trés hídrico en el arbolado, lo que favorece el desarrollo de *M. galloprovincialis*, presente en la región (De Castro y Blanco, 1993). En Extremadura se podrían presentar las siguientes situaciones: i) pino muy susceptible y altas temperaturas prolongadas, que conducen a un desarrollo de síntomas muy rápido (6-8 semanas), muriendo el árbol el mismo año; ii) pino muy susceptible y menores temperaturas, que ocasionan una mortalidad más lenta, pudiendo el árbol sobrevivir hasta el segundo año (Mamiya, 1983); iii) pino moderadamente susceptible y menores temperaturas, que originarían una

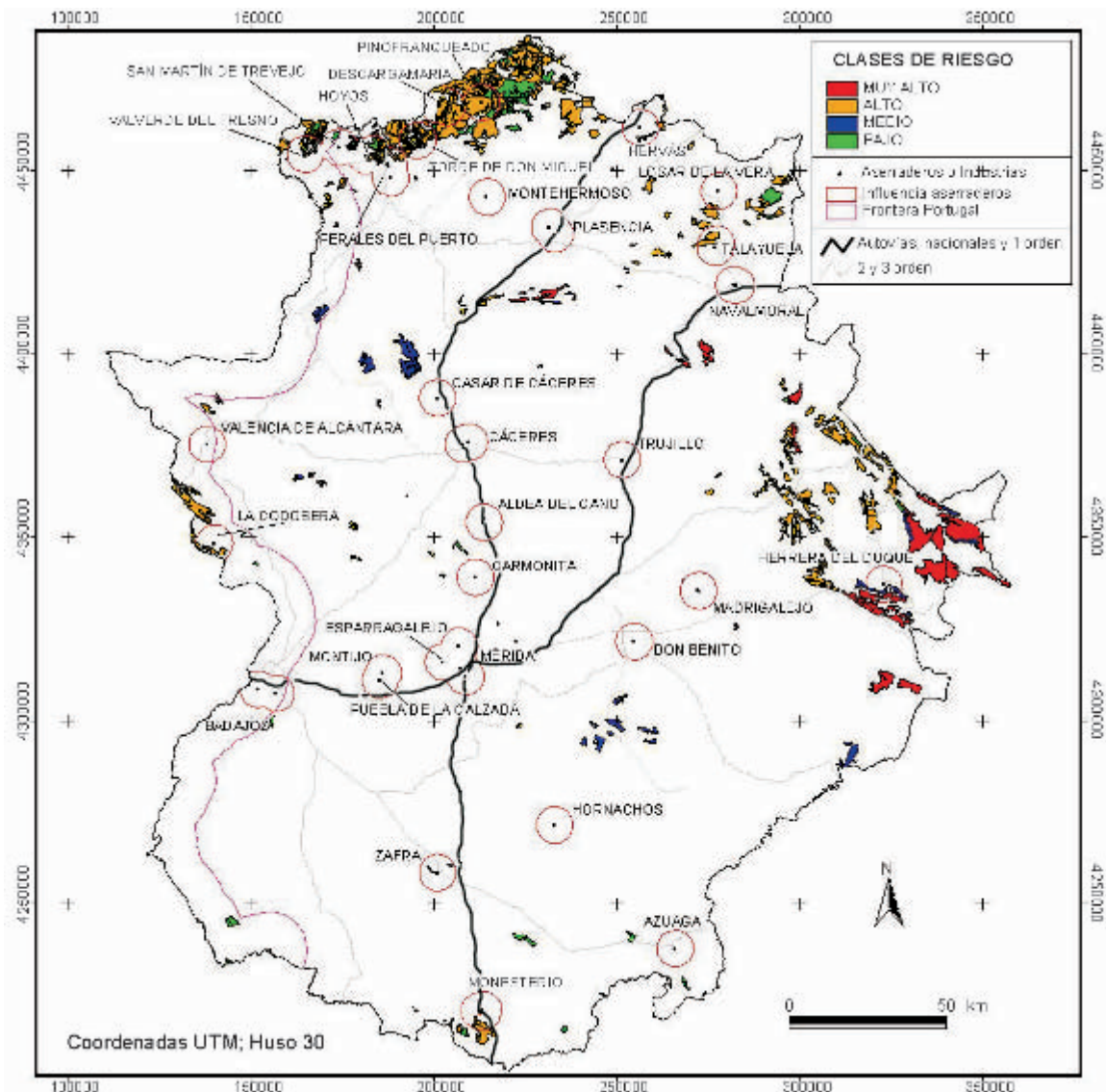


Figura 6. Mapa de riesgo de aparición y desarrollo de *Bursaphelenchus xylophilus* en Extremadura, incluyéndose la situación de aserraderos o industrias de transformación de madera, y las carreteras principales.

sintomatología y unos daños localizados (Bedker *et al.*, 1987), pudiendo el nematodo sobrevivir durante un periodo de tiempo considerable sin mostrar el pino síntomas aparentes (Halik y Bergdahl, 1994).

No obstante, hay que destacar que la enfermedad todavía no ha sido observada en la Comunidad, y tras las prospecciones realizadas hasta la fecha en toda España peninsular y Baleares, incluyendo más de 6.000 muestras de madera, no se ha detectado la presencia *B. xylophilus* (Arias *et al.*, 2004). Los esfuerzos de erradi-

cación realizados en Portugal indican que el foco está controlado (J. M. Cobos, com. pers., 2005), y los sucesivos controles a camiones en carreteras y en la frontera realizados por el Servicio de Sanidad Vegetal de la Junta de Extremadura, en colaboración con el Seprona, no han detectado movimiento de madera de pino procedente de Portugal (M. Valdés, com. pers., 2004). No obstante, las medidas de cuarentena y prospección impuestas por la UE (Anónimo, 2005b) siguen en vigor. El mapa que se representa en la Fig. 6 servirá de apoyo

a la administración Extremeña para futuras prospecciones.

En el caso de *B. xylophilus* se detectara en España, las medidas de control podrían enfocarse hacia la erradicación mediante la eliminación del arbolado en focos, y tratamientos insecticidas contra el vector (Ikeda, 1984). La utilización de mapas como los aquí presentados permitiría planificar dichas medidas, tal vez evitándose pérdidas como las ocurridas ante otras pandemias de las que se carecía de información espacial del hospedante o del riesgo a contraer la enfermedad (grafiosis de los olmos, chancro del castaño, etc.). Habría que tener especial cuidado al realizar nuevas plantaciones en las zonas de mayor riesgo, utilizándose especies menos susceptibles, como *P. pinea* y *P. halepensis* (Evans *et al.*, 1996). Por último, resultaría útil estimar la población del insecto vector a partir de trampas de captura (Pajares *et al.*, 2004).

Los autores reconocen que la elaboración de los mapas realizados adolece de carencias, como el estudio de la abundancia del vector *M. galloprovincialis* dentro de la región, o la consideración de otros factores que pudieran influir en la biología del vector o en el desarrollo de la enfermedad, como la edad de las masas o el vigor del arbolado. Las plántulas de pinos son más susceptibles al nematodo que los árboles adultos (ver citas en Rutherford y Webster, 1987), pero obtener información acerca de la edad de las masas resulta difícil, sobre todo en Comunidades donde los incendios son devastadores. Es poco probable que la enfermedad avance desde Portugal a través de los insectos vectores, cuyo vuelo en la mayoría de los casos no supera los 400 m (Kobayashi *et al.*, 1984). Lo más probable es que se observen síntomas de la enfermedad en algún pinar a consecuencia de su introducción por el hombre a través de trozas de madera húmeda e infectada (Evans *et al.*, 1996), tal y como suele ocurrir en otras epidemias (Brasier, 2000; Meentemeyer *et al.*, 2004).

Hasta la fecha, son muy escasos los trabajos publicados en relación a la elaboración de mapas de riesgo ante enfermedades de ámbito forestal. Se conocen mapas de riesgo para *Eucalyptus* spp. ante *Cylindrocleftidium quinqueseptatum* Boedijn & Reitsma y *Puccinia psidii* Wint. (Booth *et al.*, 2000a, b); para *Pinus* y *Eucalyptus* spp. ante *Sphaeropsis sapinea* (Fr.) Dyko & B. Sutton y *Cryphonectia cubensis* (Bruner) Hodges, respectivamente (Van Staden *et al.*, 2004); y para *Quercus* spp. ante *Phytophthora ramorum* (Meentemeyer *et al.*, 2004). Son más numerosos los trabajos en los que

se utilizan los SIG para la presencia o evaluación de daños en masas forestales (Köhl y Gertner, 1997; Hall *et al.*, 1998; López *et al.*, 2002; Lundquist, 2005). En ambos tipos de trabajos, los SIG son la mejor herramienta para almacenar y georreferenciar datos de forma ordenada, plasmarlos en información gráfica, y permitir su modificación o ampliación a un bajo coste y de forma rápida. No existen publicados, hasta la fecha, mapas de riesgo ante enfermedades forestales en España. Los mapas aquí realizados sirven como ejemplo para la elaboración de mapas de riesgo en otras Comunidades a ésta y a otras enfermedades. Los resultados obtenidos permitirán definir una mejor estrategia de muestreos y facilitar la toma de decisiones de esta enfermedad, si llegara a detectarse.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Marcelino Valdés Barrios (Sanidad Vegetal, Cáceres, Junta de Extremadura), y a Gema Pérez Escolar (Centro de Sanidad Forestal de Calabazanos, Palencia, Junta de Castilla y León) sus valiosos consejos y la documentación aportada. Así mismo, agradecer a Juan Carlos Jiménez, Ángel Martín, y M.^a Jesús Nisa (IT Forestal, Plasencia, Universidad de Extremadura) la ayuda técnica prestada.

Referencias bibliográficas

- ANÓNIMO, 2000a. Directiva 2000/29/CE del Consejo, de 8 de mayo de 2000, relativa a las medidas de protección contra la introducción en la Comunidad de organismos nocivos para los vegetales o productos vegetales y contra su propagación en el interior de la Comunidad. Diario Oficial de la Unión Europea 169, 1-112.
- ANÓNIMO, 2000b. Decisión 2000/58/CE de la Comisión, de 11 de enero de 2000, por la que se autoriza a los Estados miembros para adoptar, con carácter temporal, medidas complementarias contra la propagación de *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner *et* Bühner) Nickle *et al.*, en lo que respecta a zonas de Portugal distintas de aquéllas en las que se haya comprobado la ausencia de *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner *et* Bühner) Nickle *et al.* Diario Oficial de la Unión Europea 21, 36-40.
- ARIAS M., ESCUER M., BELLO A., 2004. Nematodos asociados a madera y árboles de coníferas en pinares españoles. Bol. San. Veg. Plagas 30, 581-593.
- BEDKER P.J., WINGFIELD M.F., BLANCHETTE R.A., 1987. Pathogenicity of *Bursaphelenchus xylophilus* on three species of pine. Can. J. For. Res. 17, 51- 57.

- BRASIER C.M., 2000. Intercontinental spread and continuing evolution of the Dutch elm disease pathogens. En: *The Elms: Breeding, Conservation and Disease Management* (Dunn C.P., ed). Kluwer Academic Publishers, Boston, EE UU, pp. 61-72.
- BOOTH T.H., JOVANOVIĆ T., OLD K.M., DUDZUNSKI M.J., 2000a. Climatic mapping to identify high-risk areas for *Cylindrocladum quinqueseptatum* leaf blight on eucalyptus in mainland South East Asia and around the world. *Environ. Pollut.* 108, 365-372.
- BOOTH T.H., OLD K.M., JOVANOVIĆ T., 2000b. A preliminary assessment of high risk areas for *Puccinia psidii* (Eucalyptus rust) in the Neotropics and Australia. *Agric. Ecosyst. Environ.* 82, 295-301.
- DE CASTRO J., BLANCO I., 1993. Los Cerambycidae (Coleoptera) del norte de la provincia de Cáceres: distribución y claves sistemáticas. *Aegyptus* 11, 21-58.
- EVANS H.F., MCNAMARA D.G., BRAASCH H., CHADOEUF J., MAGNUSSON, C., 1996. Pest Risk Analysis (PRA) for the territories of the European Union (as PRA area) on *Bursaphelenchus xylophilus* and its vectors in the genus *Monochamus*. *EPPO Bull.* 26, 199-249.
- FUKUDA K., 1997. Physiological changes of the symptom development and resistance mechanism in pine wilt disease. *J. For. Res.* 2, 171-181.
- HALIK S., BERGDAHL, D.R., 1994. Long-term survival of *Bursaphelenchus xylophilus* in living *Pinus sylvestris* in an established plantation. *Eur. J. For. Pathol.* 24, 357-363.
- HALL R.J., VOLNEY W., WANG Y., 1998. Using a geographic information system (GIS) to associate forest stand characteristics with top kill due to defoliation by the jack pine budworm. *Can. J. For. Res.* 28, 1317-1327.
- IKEDA, T., 1984. Integrated pest management of Japanese pine wilt disease. *Eur. J. For. Pathol.* 14, 398-414.
- KOBAYASHI F., YAMANE A., IKEDA T., 1984. The Japanese pine sawyer beetle as the vector of pine wilt disease. *Annu. Rev. Entomol.* 29, 115-135.
- KÖHL M., GERTNER G., 1997. Geostatistics in evaluating forest damage surveys: considerations on methods for describing spatial distributions. *For. Ecol. Manage.* 95, 131-140.
- LÓPEZ A., DEMAESTRI M., ZUPAN E., BAROTTO O., VIALE S., DEGIOANNI A., 2002. Aplicación de un Sistema de Información Geográfica (SIG), en el manejo de *Sirex noctilio* F. «La avispa barrenadora de los pinos», en el valle de Calamuchita - Córdoba - Argentina. *Invest. Agr.: Sist. Recur. For.* 11, 299-310.
- LUNDQUIST J.E., 2005. Patterns in dispersal landscapes: A case study of a lodgepole pine forest infected by dwarf mistletoe. En: *Forest Pathology. From Genes to Landscapes* (Lundquist J.E., Hamelin R.C., eds). The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, EE UU, pp. 145-153.
- MAMIYA Y., 1983. Pathology of the pine wilt disease caused by *Bursaphelenchus xylophilus*. *Annu. Rev. Phytopathol.* 21, 201-210.
- MAMIYA Y., 1984. The pine wood nematode. En: *Plant and Insect Nematodes* (Nickle W.R., ed). Marcel Dekker, New York, EE UU, pp. 589-626.
- MAMIYA Y., 1988. History of pine wilt disease in Japan. *J. Nematol.* 20, 219-226.
- MAMIYA Y., ENDA N., 1972. Transmission of *Bursaphelenchus lignicolus* (Nematoda: Aphelenchoidae) by *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae). *Nematologica* 25, 252-261.
- MAPA-ICONA, 1995. Segundo Inventario Forestal Nacional, 1986-95. Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, España.
- MEENTEMEYER R., RIZZO D., MARK W., LOTZ E., 2004. Mapping the risk of establishment and spread of sudden oak death in California. *For. Ecol. Manage.* 200, 195-214.
- MOTA M.M., BRAASCH H., BRAVO M.A., PENAS A.C., BURGERMEISTER W., METGE K., SOUSA E., 1999. First report of *Bursaphelenchus xylophilus* in Portugal and in Europe. *Nematology* 1, 727-734.
- NÚÑEZ M., SOSA J.A., 1999. Climatología de Extremadura (1961-1990). Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, España, 218 pp.
- PAJARES J.A., IBEAS F., DÍEZ J.J., GALLEGO D., 2004. Attractive responses by *Monochamus galloprovincialis* (Col., Cerambycidae) to host and bark beetle semiochemicals. *J. Appl. Entomol.* 128, 633-638.
- PÉREZ G., DÍEZ J.J., PAJARES, J.A., 2002. Análisis del riesgo de desarrollo de la enfermedad del marchitamiento de los pinos en Castilla y León. XIX Reunión del Grupo de Trabajo Fitosanitario de Forestales, Parques y Jardines, Santander, 19-21 noviembre. pp. 81-93.
- RUTHERFORD T.A., WEBSTER J.M., 1987. Distribution of pine wilt disease with respect to temperature in North America, Japan, and Europe. *Can. J. For. Res.* 17, 1050-1059.
- RUTHERFORD T.A., MAMIYA Y., WEBSTER J.M., 1990. Nematode-induced pine wilt disease: factors influencing its occurrence and distribution. *For. Sci.* 36, 145-155.
- SOUSA E., BRAVO M.A., PIRES J., NAVES P., PENAS A.C., BONIFACIO L., MOTA M.M., 2001. *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda; aphelenchoididae) associated with *Monochamus galloprovincialis* (Coleoptera; Cerambycidae) in Portugal. *Nematology* 3, 89-91.
- SUZUKI K., KIYOHARA T., 1978. Influence of water stress on development of pine wilting disease caused by *Bursaphelenchus lignicolus*. *Eur. J. For. Pathol.* 8, 97-107.
- TAKESHITA, K., HAGIHARA, Y., y OGAWA S. 1975. Environmental analysis to pine damage in Western Japan. *Bull. Fukuoka For. Exp. Stan.* 24, 1-45 (en japonés con resumen en inglés).
- VAN STADEN V., ERASMUS B.F.N., ROUX J., WINGFIELD M.J., VAN JAARSVELD A.S., 2004. Modelling the spatial distribution of two important South African plantation forestry pathogens. *For. Ecol. Manage.* 187, 61-73.
- VIVES, E., 2000. Coleoptera, Cerambycidae. En: *Fauna Ibérica*, Vol. 12. (Ramos M.A. et al., eds). Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, Madrid, España, pp. 716.