



TRABAJO
DE FIN DE
GRADO

LA SECA DE LA ENCINA EN ANDALUCÍA



Universidad de Sevilla. Facultad de Farmacia

Trabajo de Fin de Grado

Grado en Farmacia

La seca de la Encina en Andalucía

JOAQUÍN MOYA GONZÁLEZ

Lugar de presentación: Aula 2.2. 5 Julio 2016

Departamento: BIOLOGÍA VEGETAL Y ECOLOGÍA

Área de conocimiento: BOTÁNICA

Tutor: Dr. Pablo J. García Murillo

TRABAJO DE REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

RESUMEN:

La “seca” de la Encina y otros *Quercus* es una enfermedad con múltiples agentes etiológicos. La sintomatología se manifiesta mediante la defoliación, clorosis y destrucción de las raíces del árbol, todo ello conlleva la muerte del árbol en un periodo de tiempo de 6 meses a 2 años. Su causa no resulta clara, se atribuye a la presencia de parásitos como hongos e insectos xilófagos, a largos periodos de sequía y a la sinergia de estos elementos.

Entre los principales organismos causantes destaca el hongo *Phytophthora cinnamomi*, que se hospeda en las raíces del árbol y se ha demostrado su presencia en 6 de cada 9 árboles diagnosticados de “seca”. Con respecto a los insectos xilófagos predomina la presencia de cerambícidos, como *Cerambyx welensii*.

Se ha observado un aumento considerable en el decaimiento de Encinas y Alcornos desde 1980. Ante esta perspectiva, el cambio climático con el consiguiente aumento de las temperaturas y disminución de recursos hídricos puede considerarse otro factor importante a contemplar.

En Andalucía la prevalencia de la “seca” es mucho mayor en las provincias occidentales (Huelva, Sevilla y Cádiz). Como prevención y prácticas adecuadas, son muy importantes la profilaxis y las prácticas silvícolas adecuadas, en la dehesa se aconseja también implantar un sistema de reposición continua de árboles e implantar una técnica de poda de mantenimiento no agresiva con el uso de cicatrizantes para heridas.

El tratamiento más eficaz es químico, basado en el uso de moléculas que actúan estimulando la respuesta de defensa por parte del huésped para inhibir el crecimiento del patógeno y la esporulación de *Phytophthora*.

PALABRAS CLAVE:

Seca de la encina, *Phytophthora cinnamomi*, decaimiento de la encina, decaimiento de los *Quercus*

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. OBJETIVO.....	5
3. METODOLOGÍA.....	5
4. EL HOSPEDANTE: LA ENCINA.....	5
5. SÍNTOMAS.....	6
6. ORGANISMOS PATÓGENOS.....	7
6.1. HONGOS.....	7
6.1.1. <i>Phytophthora cinnamomi</i>	7
6.1.2. Otros hongos.....	12
6.2. INSECTOS.....	14
7. FACTORES NO PATÓGENOS.....	15
7.1. CLIMÁTICOS.....	16
7.2. EDÁFICOS.....	17
7.3. FACTORES BIOLÓGICOS NO PATÓGENOS.....	17
7.4. FACTORES ANTRÓPICOS.....	18
7.4.1. SOBREEXPLOTACIÓN DE ACUIFEROS.....	18
7.4.2. GANADERÍA EXTENSIVA.....	19
7.4.3. PODA Y DESBROCE.....	19
8. INCIDENCIA DE LA SECA EN ANDALUCÍA.....	20
9. CONTROL Y TRATAMIENTO.....	23
10. PAPEL DEL FARMACEÚTICO ANTE EL PROBLEMA.....	26
11. CONCLUSIONES.....	27
12. AGRADECIMIENTOS.....	28
13. BIBLIOGRAFÍA.....	28

INTRODUCCIÓN

Con el término “seca” se hace referencia a un síndrome producido por diversos factores (climáticos, edáficos, biológicos y humanos) y por la actividad de organismos patógenos, que provocan el decaimiento de encinas (*Quercus ilex* subsp. *ballota*) y alcornoques (*Quercus suber*) (IPROCOR, 2016). La palabra “seca” alude a uno de estos síntomas que se observan en la parte aérea de los árboles, en relación con las lesiones que se aprecian en las hojas, la “seca” causa la pérdida de estas, con síntomas parecidos a los de la sequía. De acuerdo con Caetano y cols. (2016) la “seca” no es una enfermedad en sí misma, sino la consecuencia de un complejo fenómeno donde operan múltiples factores, que culmina generalmente con la muerte del árbol.

Las primeras referencias a los síntomas de la “seca” aparecen en Europa en el siglo XIX bajo la denominación de la enfermedad de la “tinta” del castaño (*Castanea sativa*) cuyo agente causal se atribuyó a *Phytophthora cinnamomi*, (Sampaio e Paiva y cols., 2013). El origen geográfico de *P. cinnamomi* no está claro. Se describió por primera vez en la isla de Sumatra (Indonesia) y su entrada en Europa fue posiblemente a través de Turquía (García y Monte, 2005).

La “seca”, denominada en inglés “oak decline” afecta a numerosas especies del género *Quercus* (como *Q. coccifera*, *Q. ilex*, *Q. pyrenaica*, *Q. faginea* y *Q. suber*). Pero también se han observado efectos parecidos en plantaciones de aguacate (*Persea americana*) y al castaño (*Castanea sativa*), (Fernández, 1997; Caetano y cols., 2010; Ruiz y cols., 2012). Incluso en Australia ha arrasado a poblaciones de Eucaliptus (Brassier, 1996).

Existen numerosas referencias a “oak decline” durante el siglo XX en Europa (Eisenhauer, 1991; Luisi y cols., 1993; Scortichini y cols., 1993; Przybyl, 1994; Sicoli y cols., 1998) y Norteamérica (Biocca y cols., 1993; Dwyer y cols., 1995; Oak y cols., 1996).

Percibir la enfermedad es difícil ya que tiene una sintomatología muy inespecífica y poco útil para el diagnóstico. Como se indicó anteriormente, aparecen síntomas parecidos a los del marchitamiento: Clorosis y/o marchitez foliar, defoliación, muerte regresiva de brotes y ramas (puntisecado), etc. Por otro lado, *Phytophthora cinnamomi* causa la muerte masiva de raíces absorbentes, reduciendo la capacidad del árbol de tomar del suelo agua y nutrientes, ocasionando síntomas parecidos a los antes descritos (ver más adelante en el apartado 6.1.1). El desconocimiento exacto de las causas de esta patología impide saber con claridad que actuaciones de lucha o control son las adecuadas.

OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es recopilar información relativa a la “seca” de *Quercus* (centrándonos en la de *Quercus ilex* subsp. *ballota*, la encina), analizarla, clasificarla y valorarla, con objeto de ofrecer una explicación razonable a esta patología, discutir sus posibles causas y factores causantes, indicar su relevancia en España y Andalucía, y exponer los tratamientos más utilizados para combatirla. Entre las causas de la “seca” se ha desarrollado más el apartado dedicado al hongo *Phytophthora cinnamomi* debido a la importancia que tiene este organismo en el desarrollo de la mencionada patología.

METODOLOGÍA

El trabajo se ha elaborado a partir de una extensa revisión bibliográfica basada fundamentalmente en las bases de datos Pubmed, Scopus, ResearchGate y Google Scholar, usando como palabras clave: “oak decline”, “holm oak decline”, “oak dieback”, “holm oak dieback”, “oak mortality”, “holm oak mortality”, “*Phytophthora cinnamomi*”, “declive de la encina” y “Seca de la encina”. También se han consultado la documentación de las bibliotecas de la Universidad de Sevilla (Catálogo FAMA) y la Universidad de Córdoba, así como de las Consejería de Medio Ambiente y Agricultura de la Junta de Andalucía.

La selección de la bibliografía utilizada se hizo en función de su relevancia y de la información específica que aparecía en ella.

EL HOSPEDANTE: LA ENCINA

Bajo el nombre de encina se designa a unos árboles de la familia de las Fagáceas, que son parte fundamental de la mayor parte de los bosques y masas forestales de la Península Ibérica. Dichos árboles según Flora Ibérica (Amaral Franco, 1990) corresponden al nombre científico *Quercus ilex* L. subsp. *ballota* (Desf.) Samp. Dicho nombre tiene numerosos sinónimos hallándose a *Q. rotundifolia* Desf. y *Q. ilex* subsp. *rotundifolia* (Desf.) O Schwartz ex Ta. Morais, como los más frecuentes.

De acuerdo con la descripción de la Flora Vascular de Andalucía Occidental (Valdés y cols. 1987), la encina es un árbol de hasta 27 m, de copa ovoide o redondeada, o arbusto; su corteza no es suberosa, es dura, gruesa, cenicienta y escamoso-agrietada; sus hojas son

pequeñas, de 2-9(12) × (1)1,5-4(6) cm, desde orbiculares a oblongo-lanceoladas, las de tipo juvenil de aserradas o serruladas a dentado-espinosas, las adultas de enteras a dentadas o serradas, de un verde oscuro y apagado por el haz y ceniciento-tomentosas en el envés. Las flores son unisexuales y están agrupadas, las masculinas en amentos 3-8 cm, con perianto de lóbulos ovados, vellosos o glabros en la antesis; y las femeninas solitarias dentro de una cúpula acrescente con estilos divergentes desde la base. Los aquenios, las bellotas, maduran anualmente, y son de 15-35 × 8-18 mm, de color castaño-negruzco en la madurez; con pedúnculo fructífero 8-15 mm, rígido y tomentoso; y cúpula 7-14 × 10-20 mm, con escamas ovadas u ovado-oblongas, imbricadas y aplicadas.

La importancia de la encina en la Península Ibérica es indiscutible, ya que es el componente fundamental de las dehesas, un paisaje semi natural desarrollado en la Península Ibérica desde hace milenios para criar y mantener ganado, y que se ha convertido en el paradigma de las explotaciones sostenibles. Su superficie en el sudoeste de la Península Ibérica excede los 2 millones de hectáreas (Torres y cols., 2012), principalmente repartidas, en masas dominantes, por el Centro y Sur, y el Suroeste.

LOS SÍNTOMAS

Como se indicó en la introducción, la “seca” no se interpreta actualmente como una enfermedad, sino un conjunto de síntomas, producido por diversos factores y agentes.

Sus síntomas son completamente regulares e inespecíficos en su aparición y generalmente acaban con la muerte del árbol después de una serie de cambios funcionales y morfológicos en éste (Gil-Pelegrin y cols., 2008). Estos son: clorosis y marchitez foliar, seguidos de defoliación y muerte regresiva de brotes y ramas (puntisechado), cambios en la arquitectura de las ramas, incremento en el desarrollo de chupones, reducción del sistema radical, muerte de las raíces y senescencia prematura.

La figura 1 ilustra un ejemplo de decaimiento de una encina.

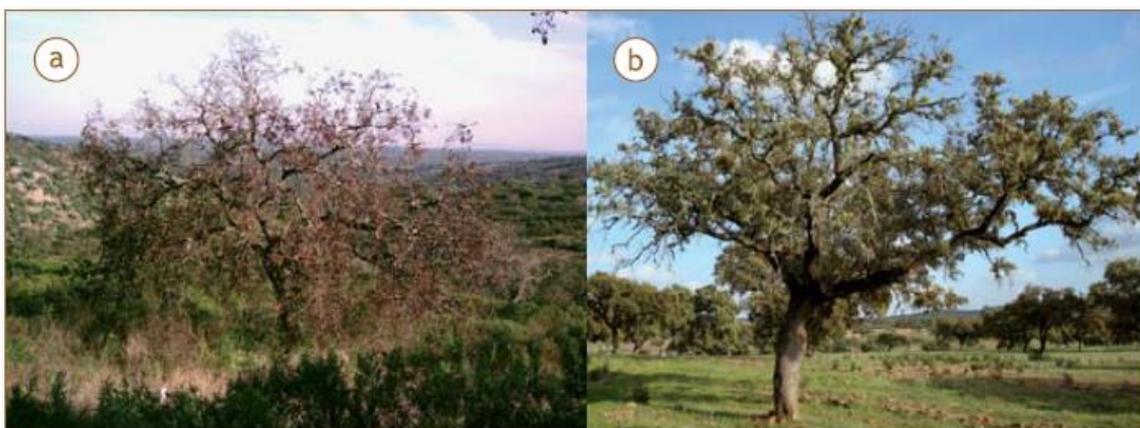


Figura 1: Desarrollo temporal del decaimiento: a) Se trata de un caso agudo b) Muerte lenta del árbol (Caetano y cols., 2010).

ORGANISMOS PATÓGENOS

Los síntomas señalados se relacionan con la actividad de diversos patógenos correspondientes a hongos y escarabajos, como *Phytophthora*, o los cerambícidos.

HONGOS

Phytophthora cinnamomi

Phytophthora cinnamomi Rands, es un oomyceto perteneciente a la familia Pythiaceae, y se considera el principal factor en el decline de los *Quercus* (Maia y cols., 2009). Su actividad se localiza en las raíces del árbol (Ruiz y cols., 2012).

Este hongo está ampliamente distribuido en regiones tropicales, como se indicó anteriormente. Se extendió por Europa en el siglo XIX a través de los cultivos de castaños (*Castanea sativa*). La distribución en España es generalizada. A principios del siglo pasado *P. cinnamomi* estaba presente en casi todos los sotos gallegos y se estima que en los años 1940 la mitad de los castaños de Lugo habían sido destruidos por la tinta (García y Monte, 2005).

El origen geográfico de *P. cinnamomi* no está claro, probablemente fue en la región de Papúa Nueva Guinea (Brassier, 1996). Se describió por primera vez en la isla de Sumatra (Indonesia)

por Rands en 1922 en el árbol de la canela (*Cinnamomum zeylanicum*), por lo que podría tratarse de un hongo propio de climas tropicales o subtropicales que se dispersó a otros países debido a la actividad humana. En 1838 se describió en el norte de Portugal una enfermedad de la raíz de castaño conocida como “tinta”, aunque la enfermedad podría haberse extendido con el árbol desde su entrada en Europa a través de Turquía (García y Monte, 2005). Sampaio e Pavia y cols. (2013) refieren que Brassier y col. aislaron *Phytophthora cinnamomi* en 6 de cada 9 lugares estudiados donde había sido diagnosticada la “tinta” y señalaron que, en la Península Ibérica, *P. cinnamomi* fue descrito por primera vez como un hongo patógeno de la raíz de alcornoque (*Quercus suber*) en 1994 por Lopes-Pimentel. En el estudio realizado por Sánchez Hernández y cols. (2003) sobre la podredumbre radical causada por *Phytophthora cinnamomi* en Andalucía, encontraron esta especie en el 75% de los puntos muestreados.

Está considerada como una de las 100 especies exóticas invasoras más dañinas del mundo por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) (Lowe y cols., 2000).

Cuadro 1. Número de encinares y alcornoques prospectados en España y Portugal durante el período 2003-2005 y aislamiento de oomicetos

País	Provincia	Huésped	Prospectados	Número de encinares y alcornoques			
				Afectados por podredumbre radical	Con aislamiento positivo de <i>Phytophthora cinnamomi</i>	Con aislamiento positivo de <i>Pythium spiculum</i>	Con aislamiento positivo de ambos patógenos
España	1. Cáceres	<i>Q. suber</i>	1	1	0	1	0
	2. Badajoz	<i>Q. rotundifolia</i>	1	1	0	1	0
	3. Toledo	<i>Q. rotundifolia</i>	1	1	0	1	0
	4. Ciudad Real	<i>Q. rotundifolia</i>	7	3	0	2	1
	5. Huelva	<i>Q. rotundifolia</i>	39	27	8	9	10
		<i>Q. suber</i>	3	3	0	0	3
	6. Sevilla	<i>Q. rotundifolia</i>	5	4	2	2	0
		<i>Q. suber</i>	1	1	0	1	0
	7. Córdoba	<i>Q. rotundifolia</i>	14	12	1	4	7
8. Jaén	<i>Q. rotundifolia</i>	2	2	0	2	0	
9. Cádiz	<i>Q. suber</i>	2	1	0	1	0	
Portugal	10. Alentejo	<i>Q. rotundifolia</i>	1	1	0	0	1
		<i>Q. suber</i>	11	7	4	0	3
	11. Algarve	<i>Q. suber</i>	13	10	4	1	5
Total			101	74	19	25	30

Tabla 1: muestra el número de encinares prospectados en España y Portugal entre 2003 y 2005 y el aislamiento de oomicetos (Jiménez y cols., 2008).

Biología

Phytophthora cinnamomi tiene gran capacidad de resistencia, puede crecer alimentándose de la materia vegetal en descomposición (saprófito), y aunque lo hace de forma limitada, esto le permite sobrevivir durante varios años, sin hospedante, si las condiciones de humedad son adecuadas, aún sin hospedante. Por ello entre sus características destaca que puede sobrevivir 6 años en suelos húmedos (IPROCOR, 2016).

Se localiza en las raíces, pero ataca principalmente a aquellas más finas, las grandes raíces son rara vez atacadas. Afecta con más gravedad a la encina que al alcornoque. Los mecanismos de acción molecular de este parásito no son bien conocidos (Maia y cols., 2009). Su micelio está formado por hifas no tabicadas y se desarrolla en las células periféricas del floema y xilema de las raíces infectadas. El patógeno no es capaz de hidrolizar las células lignificadas. En su aislamiento, se ha descrito una temperatura mínima de crecimiento de 10°C y en algunos casos de 5°C. El agua es importante para la dispersión de zoosporas, aunque no es esencial para la producción de clamidosporas u oosporas (Sampaio e Paiva y cols. 2013).

P. cinnamomi necesita agua libre para desarrollarse, pero puede vivir en el suelo sobre materia orgánica durante varios años. Cuando las condiciones de humedad son favorables. Desarrolla esporangios que al germinar liberan zoosporas capaces de nadar hasta las raíces del castaño, a una distancia de 35 mm en agua estancada o largas distancias en corriente. Las zoosporas son atraídas por quimio y electrotactismo hacia las raíces, donde penetran directamente o por zonas lesionadas. El patógeno invade progresivamente el sistema radicular del árbol hasta alcanzar el cuello de la planta produciendo finalmente la muerte. Cuando las condiciones son desfavorables para el crecimiento vegetativo, *P. cinnamomi* puede producir oosporas y clamidosporas que, junto al micelio saprofito, pueden ser transportadas por el agua, tierra, hombre, animales, labores agrícolas, aperos, etc., hacia otras zonas. Cuando las condiciones de agua y temperatura del suelo (15-30°C) son favorables, las oosporas y clamidosporas germinan, y se producen esporangios y zoosporas que continúan el ciclo (García y Monte, 2005). La figura 2 muestra la morfología de *P. cinnamomi*.

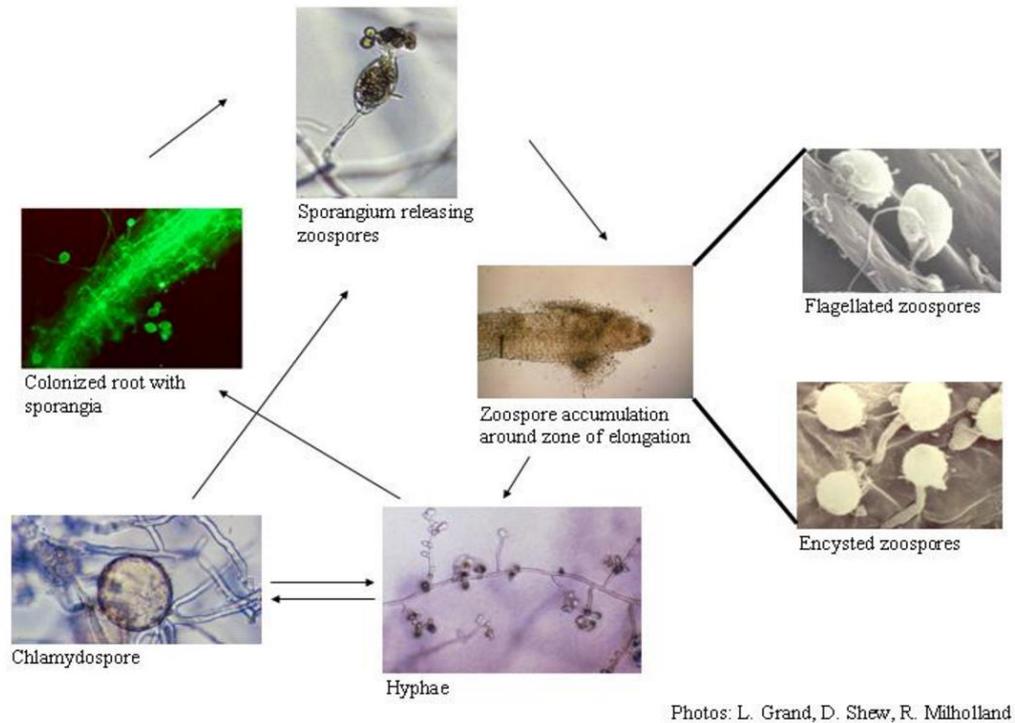


Figura 2: Morfología de *P. cinnamomi* (Reuters, 2005).

Detección

P. cinnamomi se puede detectar por métodos tradicionales y por métodos moleculares.

En los métodos tradicionales se aísla el hongo de suelos infectados para posteriormente cultivarlo en el laboratorio en medios selectivos e identificarlo mediante el microscopio.

Los métodos moleculares incluyen técnicas inmunológicas y comparación de ADN. El inmunoensayo del tipo ELISA-DAS es probablemente el más utilizado para detectar organismos patógenos en los vegetales son específicos del género *Phytophthora* y se han validado para *P. cinnamomi*. Los kit ELISA diseñados para *Phytophthora* son muy fáciles de usar y presentan una alta sensibilidad pudiendo detectar contenidos de hasta el 1% de tejido infectado (IPROCOR, 2016). Según García y Monte (2005), MacDonald y Duniway en 1979 desarrollaron un método de detección de *P. cinnamomi* basado en anticuerpos fluorescentes. De la misma manera existen técnicas moleculares, basadas en la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), que permiten identificar *P. cinnamomi* de otras especies de *Phytophthora*. García y Monte (2005) también citaron que Coelho y cols. en 1997 determinaron polimorfismos en el gen que codifica para el metabolito cinnamomina, pero no deja de haber reacciones cruzadas con *P. cambivora*.

Propagación

Las zoosporas son el inóculo más efectivo del hongo para producir una infección una vez puestas en contacto con los tejidos del hospedante. Como observamos en la figura 3, que muestra el ciclo biológico de *P. cinnamomi*, las Zoosporas son formadas, de forma asexual, en el interior del esporangio y son liberadas, por ello necesitan agua. Las fluctuaciones térmicas de temperaturas entre 8º y 16ºC hacen que el esporangio se rompa y las zoosporas queden libres en medio líquido. Una vez liberadas se dispersan en el suelo (Tusset y cols., 2006).

La clamidospora se constituye a expensas de la hifa por acumulación de protoplasma, tiene forma redondeada y posee una gruesa pared. Es una estructura de resistencia del hongo (hasta 8-10 meses) dependiendo la humedad (hasta el 4%), temperatura, etc. Tienen un tamaño superior a las zoosporas y se forman en las raíces absorbentes colonizadas por el hongo, desde allí son difundidas a través del suelo. Las clamidosporas producen esporangios o bien germinan directamente. Existen otro tipo de esporas, las oosporas, que se forman mediante recombinación asexual (Commonwealth of Australia, 2006; Tusset y cols., 2006).

Los esporangios que producen las zoosporas miden 50-70 µm, las clamidosporas 20-70 µm, las oosporas 19-54 µm y las zoosporas, menos de 10 µm (Commonwealth of Australia, 2006).

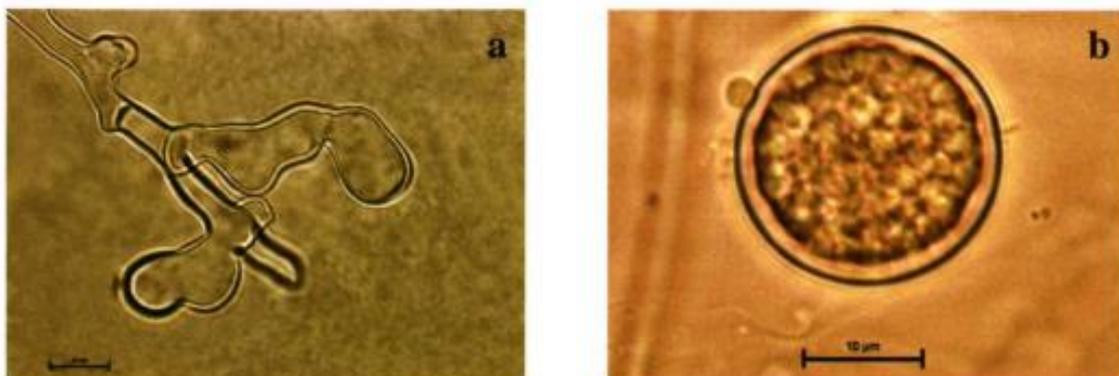


Figura 3: a) Micelio con hinchazones hifales en racimo de *P. cinnamomi* y b) Clamidosporas de *P. cinnamomi* (Jimenez y cols., 2008).

La dispersión activa, se entiende como la producida por el mismo hongo por mecanismos de motilidad del mismo hongo, movimiento de zoosporas (en agua) o crecimiento del micelio. *P. cinnamomi* puede crecer hasta 1 cm/día en tiempo cálido y con el suelo húmedo. La dispersión más usual de *P. cinnamomi* se produce de forma pasiva, a través del agua de lluvia (que arrastra parte del hongo, clamidosporas o zoosporas), o mediante fómites (Tusset y cols., 2006). Asimismo, y de forma general, se puede decir que los hongos que afectan a la raíz: se

propagan mediante esporas que se encuentran en fómites (material de poda), animales o humanos (en el calzado por ejemplo) o por el viento o el agua que arrastra las esporas (Carrasco y cols., 2009).

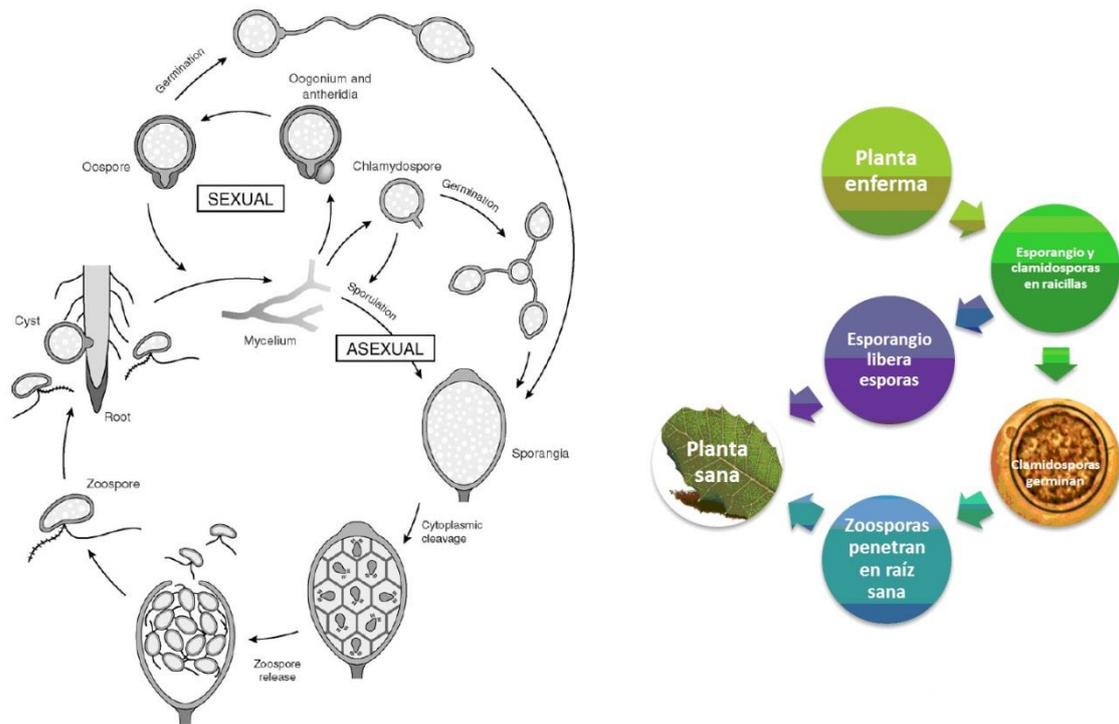


Figura 4: Ciclo biológico de *Phytophthora cinnamomi* (Commonwealth of Australia, 2006).

También, en relación con esta patología, se han encontrado aunque con mucha menos frecuencia otras especies del género *Phytophthora*, como *P. megasperma* y *P. drechsleri* (Jiménez y cols., 2008).

Otros Hongos

Especies de *Pythium* han aparecido en encinas y alcornoques afectados de decaimiento: *Pythium spiculum* y *P. sterilum*. Pero estas últimas se han encontrado sobretodo en la rizosfera de encinas enfermas en el centro de España, por lo que más que considerarse un factor importante en el decaimiento, es un riesgo potencial. Son consideradas menos virulentas que *Phytophthora cinnamomi* (Jiménez y cols., 2008).



Figura 5: Oosporas esféricas ornamentadas de *P. spiculum* (Jimenez y cols., 2008).

Botryosphaeria corticola (anamorfo de *Diplodia corticola*) es un hongo ascomiceto causante de “chancros”. Se ha descrito como el principal agente fúngico asociado al decaimiento de *Quercus* en Italia (Ragazzi y cols., 2000), Marruecos (El-Badri y Abadie, 2000), y nordeste español (Luque y cols., 2000). Los “chancros”, se encuentran en las ramillas y presentan síntomas foliares muy inespecíficos tales como amarillez, empardecimiento y marchitez. En troncos sólo se han visto en alcornoques y su presencia se asocia al descorche (Sánchez y cols., 2003).

Biscogniauxia mediterranea (*Hypoxyylon mediterraneum*) causa el “chancro carbonoso”. Se le atribuye a *B. mediterránea* la capacidad de degradar el leño y producir la rotura de la rama afectada (Carrasco y cols., 2009).

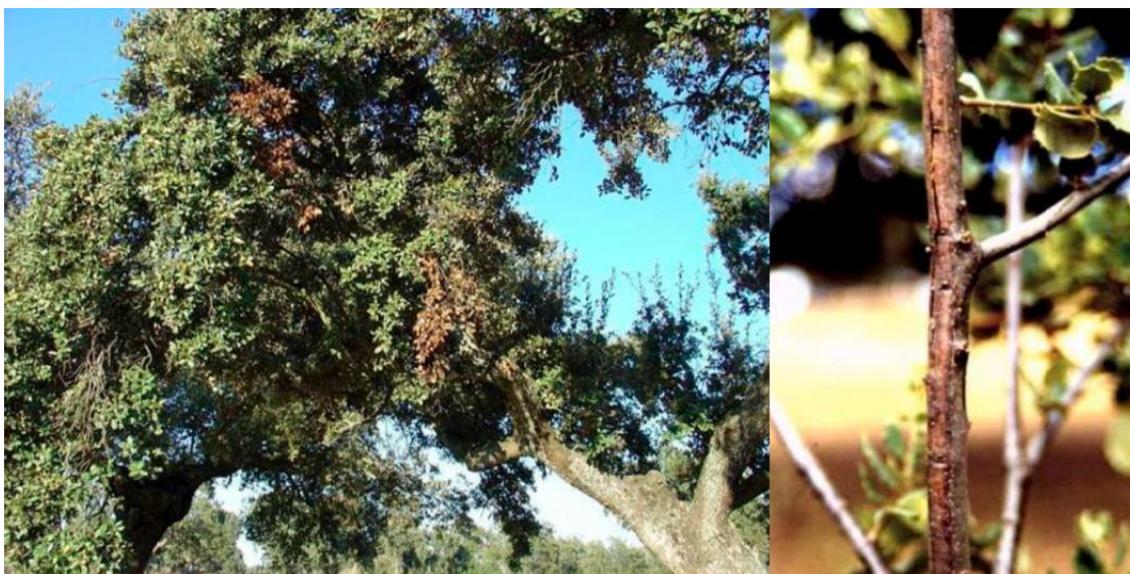


Figura 6: a) Muerte de ramillos producidos por *Botryosphaeria corticola* en encina (Zamora Rojas y cols., 2014).

INSECTOS

La mayoría de las especies corresponde al orden Coleóptera, y dentro de ese orden a la familia Cerambycidae (Cerambícidos). Según Carrasco y cols. (2009), de los aproximadamente 3000 cerambícidos capturados en los muestreos, muestra que casi un 70% se correspondían a *Cerambyx welensii*, mientras el resto se identificó como *Prinobius myardi*. También apareció el escarabajo-avispa *Xylotrechus antilope* y *Dorcus parallelipedus* de la familia Lucanidae y se ha constatado la presencia de *Oryctes nasicornis* de la familia Scarabeidae, en árboles muy afectados pero aún vivos, este insecto es un descomponedor de madera de cuya contribución al proceso de decaimiento está aún por determinar (Carrasco y cols., 2009).

Posición sistemática:

Especie	Familia	Orden	Clase	División/phylum	Reino
<i>Phytophthora cinnamomi</i>	Pythiaceae	Pythiales	Oomycetes	Oomycota	Fungi
<i>Botryosphaeria corticola</i>	Botryosphaeriaceae	Botryosphaeriales	Dothideomycetes	Eumycota	Fungi
<i>Biscogniauxia mediterránea</i>	Xylariaceae	Xylariales	Ascomycetes	Eumycota	Fungi
<i>Cerambyx welensii</i>	Cerambycidae	Coleoptera	Insecta	Arthropoda	Animalia
<i>Prinobius myardi</i>	Cerambycidae	Coleoptera	Insecta	Arthropoda	Animalia

Tabla 2: muestra la posición taxonómica de los principales patógenos que intervienen en el proceso de decaimiento.

Propagación e infección

La principal forma de propagación e infección de insectos xilófagos es a partir de las heridas en tronco y ramas principales, producidas por podas o aperos, que cuando no se tratan adecuadamente favorecen la infestación y la puesta de huevos. También las heridas en el descorche favorecen la probabilidad de infección (Carrasco y cols., 2009). Las dos especies principales de cerambícidos estudiados, *Cerambyx welensii* y *Prinobius myardi*, responden

olfativamente de manera significativa ante un grupo de compuestos volátiles, especialmente monoterpenos (Sánchez, 2005). Este mecanismo es empleado por estos insectos para localizar un hospedante óptimo para su reproducción. La proporción y composición de los volátiles emitidos por las encinas y alcornoques está relacionada con la atracción, positiva o negativa, que ejerce sobre estos cerambícidos (Sánchez y cols., 2007).

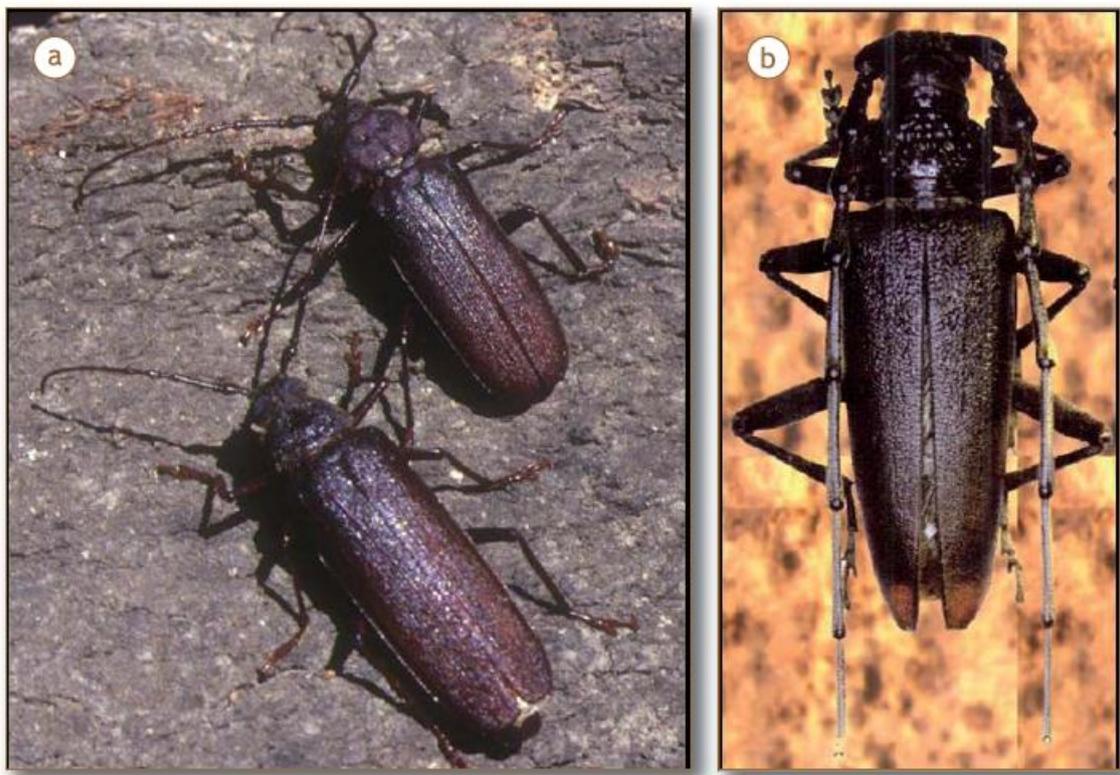


Figura 7: a) *Prinobius* sp. Y b) *Cerambyx* sp. (Carrasco y cols., 2009).

FACTORES NO PATÓGENOS

Además de los organismos patógenos, existen otros factores correlacionados con la aparición de la “seca” y son climáticos, edáficos, biológicos (no patógenos) y antrópicos.

Sampaio e Paiva y cols. (2013) señalaron que determinados factores abióticos pueden favorecer el desarrollo de *P. cinnamomi*. A modo de ejemplo, estos autores mostraban una figura (la figura 8) en la que se aparece representada la importancia de cada uno de los factores estudiados por dichos autores en el declive de la encina y el alcornoque. Siendo, según estos autores, la profundidad del suelo y la compactación los factores más influyentes. Estos autores en su análisis no consideraron los factores climáticos.

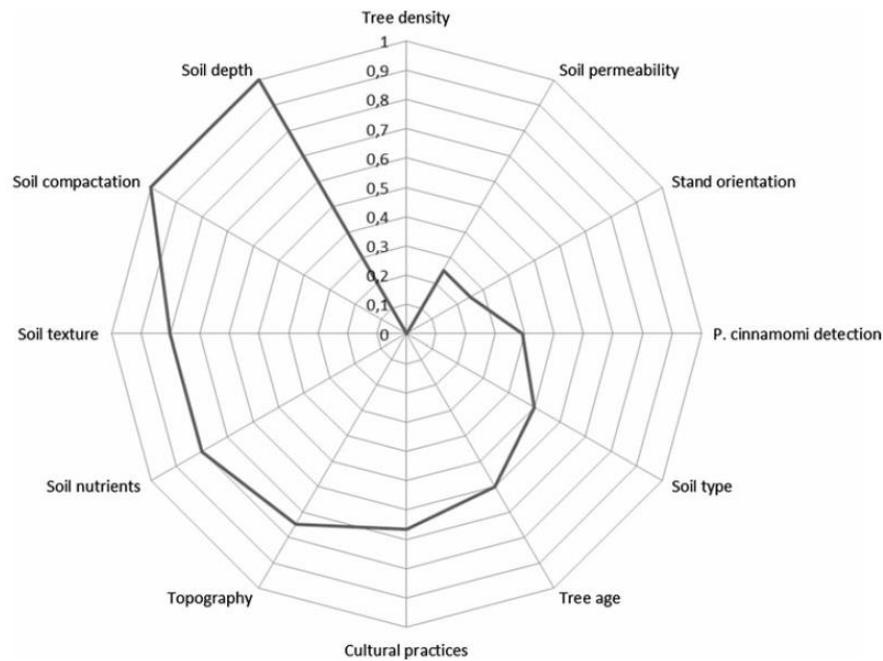


Figura 8: factores que pueden influir en el decaimiento de las quercíneas, ordenados por importancia donde el valor 1 es el más influyente (Sampaio e Paiva y cols. 2013).

FACTORES CLIMÁTICOS

Inicialmente se pensó que el principal factor de incitación en los procesos de “seca” del género *Quercus* era la sequía (Montoya, 1994). De acuerdo con Allué (1995), las alteraciones sufridas por el clima en los últimos años tienen un claro reflejo en el empeoramiento del estado general de las coberturas vegetales y responden a un cambio climático que, en nuestro país, se caracteriza por una tendencia al aumento del estrés hídrico y una mayor irregularidad climática (Allué, 1995). El incremento en los períodos de sequía y de calor a escala global es un factor emergente relacionado con los procesos de mortalidad de árboles (Allen y cols., 2010; Choat y cols., 2012; Anderegg, 2013; Natalini y cols., 2016). En la actualidad, se considera que este proceso parece estar más relacionado con el estrés hídrico resultante de combinar la falta de precipitaciones y las elevadas temperaturas (Carrasco y cols., 2009).

La “seca” muestra una importante conexión con los períodos de sequía. Así en la “seca” se puede señalar un comienzo hacia 1980 y un aparente final en 1995 (con un solo año húmedo); es decir casi 15 años de sequía prácticamente ininterrumpida. La intensidad de la sequía entendida como una disminución global de las precipitaciones en la zona mediterránea ha podido rondar un 20-30%. El motivo para que se haya producido un proceso tan grave podría

estar en la presencia de un período 1955-1970 de precipitaciones anormalmente altas, seguido por una fase de disminución pluviométrica (1970-1979) que concluyó en la España mediterránea, con una brusca y larga fase muy seca (1980-1995). De acuerdo con esto, la causa de La “seca” parece pues provenir de una combinación de factores que comienzan a actuar en el período húmedo de 1955-1970 que dio lugar a una vegetación, unas repoblaciones forestales y unos tratamientos que estaban “poco prevenidos” contra el clima mediterráneo (Fernández, 1997).

El aumento de ejemplares muertos hizo que se incrementaran las licencias de quita de árboles; por ejemplo en Portugal entre 1990 y 1992 el nivel de defoliación en encinas y alcornoques aumentó considerablemente y las licencias de poda y quita de árboles muertos aumentaron en un 70 % (Sampaio e Paiva y cols. 2013).

Además, según los datos de Sampaio e Paiva y cols. (2013), realmente existe un sincronismo entre los periodos de sequía en España y Portugal (1943–1945, 1975–1976, 1980–1993) y la mortalidad de la encina.

FACTORES EDÁFICOS

Diversos estudios muestran que el suelo es un factor muy importante en la “seca” de la encina y el alcornoque. Concretamente la profundidad, su orientación y altura (afecta más en laderas abajo y hacia el sur), si tienen más areniscas le afecta más que si están compuestos por esquistos (debido a que la arenisca crea una capa compacta y no atraviesa el agua fácilmente provocando inundaciones y la propagación de esporas de los distintos hongos patógenos) (Costa y cols., 2010).

Por lo dicho anteriormente, la disponibilidad de agua en el suelo resulta también un factor fundamental. Y si el estrés hídrico es muy peligroso para el árbol, también lo es un suelo húmedo donde además de limitar la disponibilidad de oxígeno de las raíces, permite la rápida proliferación de los hongos patógenos (Costa y cols., 2010).

FACTORES BIOLÓGICOS NO PATÓGENOS

Igualmente se ha observado Según Costa y cols., (2010), que la abundante presencia de otras especies vegetales, también puede afectar al decaimiento de los *Quercus*. Se ha demostrado

que en poblaciones de alcornoques, matorrales de comunidades pioneras, como *Cistus ladanifer* (jara pringosa), afectan negativamente compitiendo por el agua y los nutrientes. La competencia con este tipo de matorral es el factor biótico no patógeno que más afecta al decaimiento de los *Quercus* (Costa y cols., 2010).

Además según otros estudios, *Cistus ladanifer* puede servir como reservorio para *Phytophthora cinnamomi*. (Sampaio e Paiva y cols. 2013).

FACTORES ANTRÓPICOS

SOBREEXPLOTACIÓN DE ACUIFEROS

La sobreexplotación de acuíferos ha hecho disminuir la cantidad de agua que puedan tener las plantas, contribuyendo a la aparición de periodos de marchitez. En estos periodos se aumenta la vulnerabilidad de las especies de *Quercus* hacia especies patógenas. Como se observa en la figura 9, hay zonas de España que se está consumiendo más agua de los acuíferos de la que se repone con el curso normal. Esto conducirá al agotamiento de dichos acuíferos, lo cual perjudicará gravemente a la vegetación

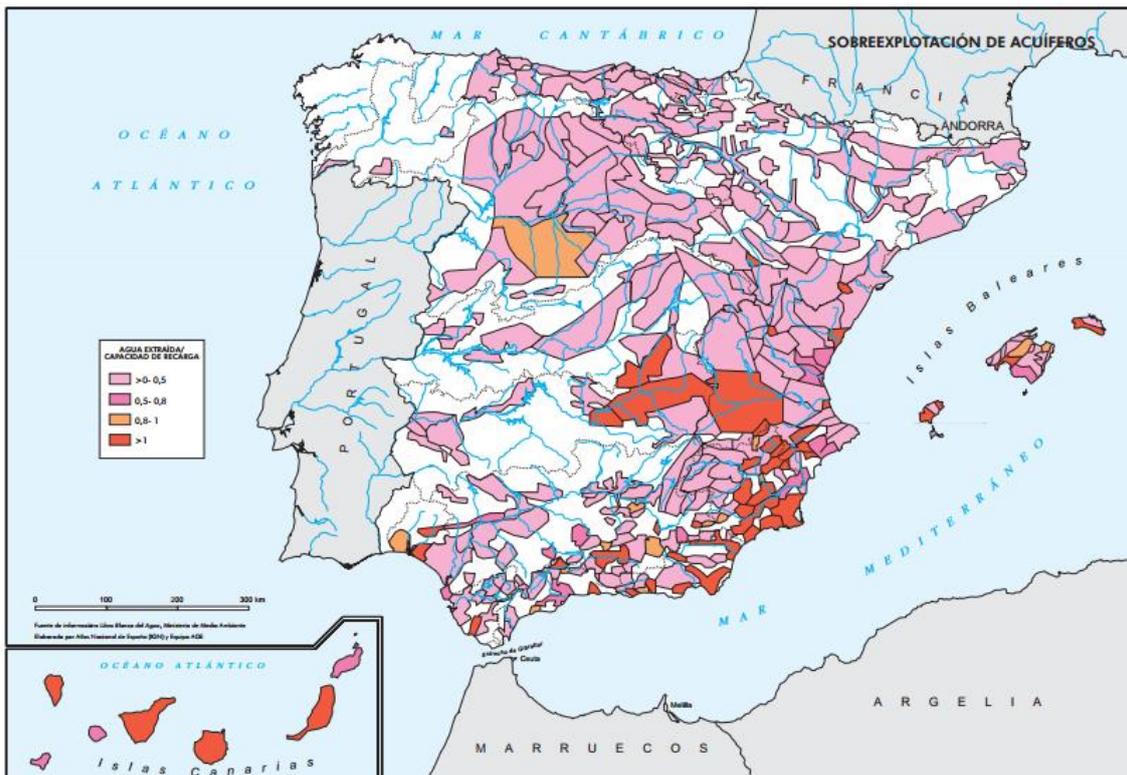


Figura 9: agua extraída/capacidad de recarga. Fuente: INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL (2008).

GANADERÍA EXTENSIVA

Si no fuese por la ganadería extensiva el mantenimiento de las dehesas no tendría mucho sentido económicamente. La ganadería extensiva es aquella que se realiza en grandes superficies de terreno. Es el caso por ejemplo del aprovechamiento de las dehesas en España, donde los animales pastan por grandes extensiones de terreno. Algunos autores señalan a la ganadería extensiva como factor de riesgo para la “seca” (Carrasco y cols., 2009). En dehesas con árboles enfermos, los animales pueden actuar como fómites en la transmisión de *P. cinnamomi* (Carrasco y cols., 2009). Además la presencia de ganado modifica las propiedades del suelo, como el pH (Nie y cols., 1997), o la compactación del suelo, lo que disminuye su porosidad y la velocidad de infiltración del agua (Proffit y cols., 1993).

PODA Y DESBROCE

Las **podas** al arbolado son un tratamiento silvícola habitual en las dehesas. La función principal de las podas en las encinas es la consecución de una estructura adecuada del árbol para la producción de bellota y obtención de leñas. El objeto de estos tratamientos en alcornoques es optimizar la producción de corcho. Estas labores suponen la realización de heridas, en distintos momentos durante la vida del árbol, que pueden afectar a su vigor y salud (Carrasco y cols., 2009).

La necesidad de las podas de formación al comienzo de la vida del árbol, en especial en aquellas masas en espesura baja, no se pone en duda. Las podas de mantenimiento, muy habituales en las dehesas, afectan principalmente a ramas de pequeño calibre. Sin embargo, los altos costes económicos, el escaso valor de la leña, los resultados poco concluyentes sobre los efectos en la mejora de la fructificación y, especialmente, el papel tan importante que juegan en la entrada y transmisión de plagas y enfermedades obliga a cuestionar su interés ambiental y económico (Carbonero y cols., 2002)

Las podas de mantenimiento no han mostrado un efecto negativo sobre el estado general del arbolado, evaluado mediante el nivel de defoliación de la copa, que se ha mantenido en niveles similares en las campañas, desarrolladas por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, muestreadas hasta ahora. Se ha observado, sin embargo, en algunos cortes de poda, la presencia de perforaciones producidas por insectos xilófagos principalmente en las dehesas de Huelva, Sevilla, Córdoba y Málaga (Fernández y cols., 2003).

Las podas sanitarias son uno de los tratamientos realizados con mayor frecuencia en los focos de “seca” para intentar recuperar el arbolado y limitar la difusión de plagas y algunas enfermedades. Suelen ser intensas, realizándose a menudo sobre ramas gruesas, y producen en el árbol un desequilibrio que puede provocar la aparición de brotes chupones. El papel de las podas sanitarias en la recuperación de arbolado con distinto grado de decaimiento. Es un campo sobre el que la Consejería de Medio Ambiente viene realizando estudios desde finales del siglo XX. El proceso consiste básicamente en eliminar todas las ramas secas o moribundas, con presencia de perforaciones de insectos xilófagos, chancros, lesiones, corteza necrosada y ramas defoliadas; sellar con un producto cicatrizante, a la vez que fungicida-bactericida, las del árbol, y en eliminar de la explotación todos los restos de poda. Las observaciones realizadas con posterioridad a la actuación ponen de manifiesto que el grado de defoliación de la copa se ha mantenido sin encontrar diferencias en las tendencias entre árboles podados o no podados. En cuanto a desarrollo y la morfología de los brotes, no hay diferencias significativas de efecto a corto plazo de la poda sanitaria (Fernández y cols., 2001).

En las heridas de poda sobre las que se ha aplicado un producto sellador, no se han observado presencia de perforaciones producidas por insectos xilófagos. Comparando este hecho a dehesas en las que no se usan productos cicatrizantes, permite afirmar que la aplicación de productos protectores a los cortes de poda, pueden constituir una barrera eficaz que evita la invasión de insectos xilófagos (Carrasco y cols., 2009).

Los **desbroces** son una práctica tradicional realizada con un objetivo silvopastoral o bien para facilitar la saca de los productos, pero cuya utilidad como tratamiento silvícola no es clara. Tradicionalmente, la supresión del matorral, se ha considerado favorable para el arbolado ya que reduce durante algún tiempo la competencia por el agua y nutrientes y reduce el riesgo de incendio. Sin embargo, los desbroces continuados e intensos pueden dar lugar a importantes pérdidas de vigor en los árboles (Carrasco y cols., 2009).

INCIDENCIA DE LA SECA EN ANDALUCÍA

Las provincias con mayor número de focos son Cádiz, Huelva y Sevilla (Figura 10), lo cual puede justificarse por la distribución de *Quercus*, cuyas principales masas se concentran en estas provincias. No obstante, se considera que el número de focos censado en Córdoba no responde a la realidad de los daños, debido al escaso número de focos detectados por la Administración Regional, que se limitó básicamente a montes públicos, donde dominan masas

de coníferas. Otros casos menos relevantes, pero también importantes son Jaén y Granada, donde posiblemente la incidencia sea también mayor de la recogida en el censo, lo cual puede deberse a las mismas razones que en Córdoba, o bien, en el caso de Granada, a la incidencia particular de la “seca” en montes bajos, localizados en fincas particulares y con una ocurrencia muy ligada a procesos de fuerte sequía. (Navarro y cols., 2001)

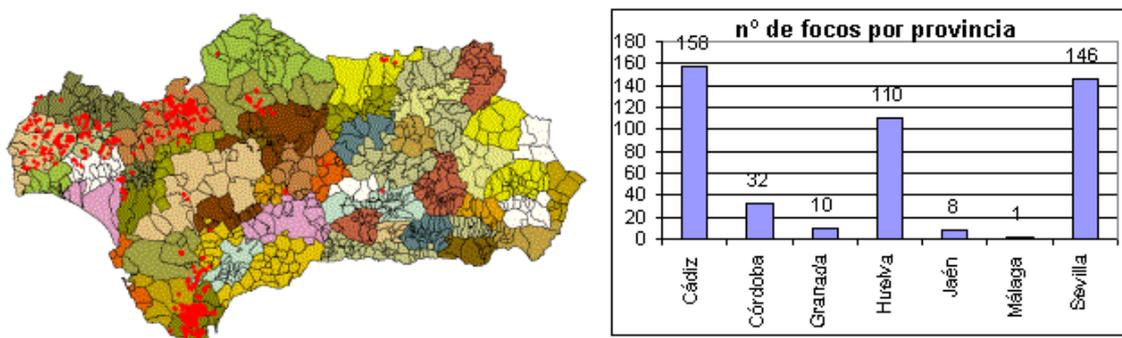


Figura 10: Muestra los focos de la “seca” en distintas provincias de Andalucía (Navarro y cols., 2001).

Según Caetano y cols. (2009), la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, ha señalado la presencia de esta patología, especialmente en: Valle de los Pedroches (Córdoba), Andévalo (Huelva), Parques Naturales de la Sierra de Hornachuelos (Córdoba), Sierra Norte (Sevilla), Los Alcornocales (Cádiz), Aracena y Picos de Aroche (Huelva).

Asimismo, a lo largo del periodo 2003-2007 la Red Andaluza de Seguimiento de Daños Sobre Ecosistemas Forestales (Red SEDA) realizó un estudio fitoclimático de la totalidad de los puntos que la componen, reconstruyendo en cada uno estaciones meteorológicas simuladas, con resolución mensual, utilizando algoritmos GENPT. Esta red de estaciones permite analizar perfectamente las zonas donde la vegetación dominante es el encinar – alcornocal (Fernández y cols., 2003).

El desarrollo de esta red de estaciones ha permitido detectar cambios en la estacionalidad de la precipitación y en las temperaturas que generan alteraciones abióticas y bióticas. Se ha puesto de manifiesto, dentro del período contemplado, una pérdida general de la precipitación media anual cercana al 10% y una subida de las temperaturas medias que, con escasas excepciones, oscilaría entre 0,3º C y 0,5º C (Carrasco y cols., 2009).

El objetivo principal de la Red SEDA es la valoración de la magnitud del impacto climático sobre las especies forestales más importantes de Andalucía, mediante el análisis de los datos

aportados por su red de estaciones. Una aplicación de esta metodología, informa sobre el decaimiento de los *Quercus*. Asimismo, La Consejería de Medio Ambiente, ha desarrollado un estudio sobre el decaimiento de *Quercus* y otras especies, teniendo en cuenta los escenarios globales de cambio climático según la aproximación de 1999 de la Fundación para la Investigación del Clima (FIC) y del Instituto Nacional de Meteorología (INM). Las predicciones de los escenarios globales, que son más rápidos y fáciles de implementar que los locales de precisión, tienen un horizonte localizado en 2050 - 2080 en el que se contempla una subida homogénea de 2 °C, junto a diversos patrones de precipitación que oscilan en la banda $\pm 15\%$ (Carrasco y cols., 2009). Las predicciones anteriores prevén un aumento de la temperatura y por consiguiente, mayores épocas de sequía (factor fundamental en la “seca”).



Figura 11: distribución de daños de la “seca” en Andalucía.

Fuente: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes (2000).



Figura 12: densidad de focos de la “seca” en Andalucía.

Fuente: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes (2000).

CONTROL Y TRATAMIENTO

El primer paso en la lucha contra la “seca” es prospectar el área de trabajo para identificar los árboles afectados y cuantificar la superficie ocupada. Se deben georeferenciar los árboles o grupos de árboles y si el área de trabajo es grande, cartografiarlos. Sería también conveniente tomar muestras del suelo de lugares próximos a árboles afectados. (Francisco Vázquez com. Pers.)

Una vez hecho esto hay que tomar medidas de control. Estas pueden ser: métodos tradicionales, tratamientos químicos, y fitorremediación y uso de variedades resistentes.

Métodos tradicionales:

Se basan en desbroce de árboles infectados y podas. No parecen ser eficaces, ya que no actúan sobre el hongo *Phytophthora cinnamomi*, que queda en el suelo protegido. Más bien se trata de una práctica perjudicial, ya que la maquinaria y herramientas actúan como fómites en la transmisión de esta plaga. No obstante, en pequeños focos incipientes, se utilizan las podas junto al uso de fungicidas y herbicidas (IPROFOR, 2016).

Tratamientos químicos:

Se basan en el uso de moléculas con propiedades fungicidas sistémicas capaces de llegar por vía interna a las raicillas que son el blanco del ataque de *Phytophthora*.

Terapia con fosfitos:

Los fosfitos son fungicidas que controlan muchas plantas enfermas, cuya causa son varias especies de *Phytophthora*. El fosfito es mucho más eficaz que el fósforo. Son los únicos fungicidas que actúan en el xilema y el floema. En el floema, el fosfito está atrapado y por lo tanto translocado por la planta en asociación con fotoasimilados. Las concentraciones de los fotoasimilados y el fosfito serán mayores en las zonas de crecimiento rápido como raíces y brotes (Navarro y cols., 2004).

El fosfito tiene un complejo mecanismo de acción, actúa directamente sobre el patógeno e indirectamente en la estimulación de respuesta de defensa por parte del huésped para inhibir el crecimiento del patógeno. También se ha demostrado que ha sido capaz de inhibir la esporulación de *Phytophthora* (incluso a bajas concentraciones). Los fosfitos activan la vía fenilpropanoide (Hardy, 1999).

La fertilización con fosfatos no parece mejorar la resistencia a ataques de *P. cinnamomi*, mientras que a bajas concentraciones de fosfito (0.15 mg/planta) se consigue estimular la respuesta de defensa del hospedador, es un efecto a corto plazo (Navarro y cols., 2004).

El fosfito puede ser usado con seguridad como un spray foliar a concentraciones de 5 g/L de fosfito y 2.5 g/L de Synetrol (Protector de cultivos orgánicos) como agente adherente; con esto se contaría con una protección hasta 6 meses contra *P. cinnamomi*. Con niveles más altos de fosfito (10 y 20 g/L) hay síntomas tóxicos en las plantas, causando defoliación y muerte de algunas plantas. Otra aplicación es la de niebla rociada por aviones a 24 Kg por hectárea protegería de *P. cinnamomi* durante 2 años. En niveles superiores a 36 kg/Ha se da fitotoxicidad. El spray de 5 o 10 g/L da una concentración en las zonas de rápido crecimiento, similar a la niebla rociada por aviones a 100 o 200 g/L. Tras el tratamiento la enfermedad se detiene y/o avanza más lentamente, el patógeno puede ser controlado pero no eliminado, por ello es necesario repetir el tratamiento y rociar cada 1 o 2 años. En el oeste de Australia donde se han hecho tratamientos regulares con fosfitos se han dado casos de resistencia a fosfitos. (Hardy, 1999).

Inyección de fosfonato de potasio y Carbendazim:

Se trata de una inyección en el tronco del árbol. El ácido fosfónico es el componente activo que inhibe a *P. cinnamomi*; Carbendazim también es usado para el tratamiento de la “seca”, pero tiene poco efecto en Oomicetos por lo que se cree que su acción se debe a que es un material muy poco soluble, que se solubiliza con el ácido fosfónico para facilitar la toma de la inyección. En estudios in vitro este material es tóxico para *P. cinnamomi*. Este método es mejor que el spray, ya que así nos aseguramos que el tratamiento va a llegar a la raíz, es posible que el tratamiento por spray no llegue o sea degradado por microorganismos del suelo. No se observan apenas daños provocados por este tratamiento, quizás una exudación en el lugar de la inyección. El principal problema de dicho tratamiento es su alto coste. La inyección contendrá una media de 24.5 g de Ácido fosfónico en cada árbol. (Fernández-Escobar y cols., 1999).

Fitorremediación y uso de variedades resistentes:

Otra línea de acción se basa en la repoblación de focos con especies resistentes o que podrían segregar sustancias antifúngicas. Estas plantas, además de privar de soporte alimenticio a

Phytophthora, impiden la regeneración natural de las especies susceptibles y mantienen el suelo en sombra, reducen el encharcamiento y aumentan la materia orgánica del suelo; todas son condiciones que dificultan la proliferación del patógeno (IPROCOR, 2016).

Según Tapias y cols. (2006), de cara a una estrategia de conservación de las superficies de encina y alcornoque a medio y largo plazo basada en la mejora genética debemos distinguir dos escenarios.

a) Localidades con presencia del patógeno pero sin condiciones edáficas y fisiográficas desfavorables (tendencia al encharcamiento, texturas muy finas, capas impermeables a escasa profundidad), donde el proceso de decaimiento es lento, reduciendo progresivamente su densidad.

b) Superficies infestadas y con condiciones edáficas y fisiográficas desfavorables donde la densidad del arbolado ha quedado muy reducida, si no ha desaparecido completamente.

En la primera situación, la recuperación de las masas debe basarse en una estrategia conservadora, empleando plantas con alta variabilidad genética y con un buen comportamiento frente a la sequía y buena capacidad de regeneración de raíces. Además se debe complementar siempre con buenas prácticas culturales para mejorar la tolerancia de las plantas a la infección.

En la segunda situación es necesario contar con plantas altamente resistentes/tolerantes aun renunciando a una alta variabilidad genética. Estas plantas pueden proceder de propagación vegetativa de individuos que hayan resultado muy resistentes en ensayos de inoculación artificial en condiciones controladas.

No obstante, dado que en las nuevas plantaciones de *Quercus* se pretende la persistencia de los árboles durante decenas de años, cualquier medida está amenazada por una posible adaptación genética del patógeno que lo convierta en más virulento y/o por un incremento de la susceptibilidad de los árboles por la infección continuada (Tapias y cols., 2006).

Otras terapias:

Fundamentalmente se trata de la inhibición de *P. cinnamomi* mediante otros microorganismos como bacterias y hongos. Según Nyoman y Ian (2006), en un estudio se aislaron bacterias y hongos de abono de pollo, vaca, oveja y caballo, para comprobar su capacidad de inhibir a *P.*

cinnamomi en un cultivo in vitro. De los 180 aislamientos que se hicieron, incluyendo 31 actinomicetos, 64 hongos, 44 pseudomonas fluorescentes y 41 bacterias formadoras de endospora, 45 aislamientos mostraron significativamente inhibición del crecimiento de *P. cinnamomi*. Entre los microorganismos inhibidores se encuentran 24 hongos (incluyendo *Trichoderma sp.*, *Gliocladium penicillioides* y *Fussarium sp.*), 10 actinomicetos (todos *Streptomyces sp.*) 7 pseudomonas fluorescentes (*Pseudomonas sp.*) y 4 bacterias formadoras de endosporas (*Bacillus sp.*).

El mecanismo de acción más observado fue la antibiosis, también el crecimiento paralelo de hifas (las hifas de *P. cinnamomi* al entrar en contacto con el microorganismo mueren) (Nyoman y Ian, 2006).

PAPEL DEL FARMACEÚTICO ANTE EL PROBLEMA

Los farmacéuticos son especialistas en el medicamento. Si bien, a lo largo de su proceso de formación, el farmacéutico adquiere numerosos conocimientos de diversas disciplinas que lo facultan como profesional cualificado para hacer frente, con rigor y eficacia, a numerosas tareas relacionadas con el mundo de la salud (humana, animal y vegetal), química o biología. A este respecto, hay que señalar que su papel es idóneo para enfrentarse a un problema como es la “seca”. Un problema que presentan las especies forestales, donde la capacidad de interpretar diversos procesos: biológicos, químicos, edáficos y ambientales, correspondientes a distintos compartimentos de la ciencia, dificultan su solución. Este hecho, encaja perfectamente en el perfil del farmacéutico. Un profesional acostumbrado a conectar diversos campos de la ciencia, especialmente los procesos químicos y biológicos.

En el hipotético caso de diseñar un rol en trabajos e investigaciones sobre la “seca” de la encina, su papel principalmente se podría centrar en el estudio del organismo hospedante, de los parásitos, de la patología, de los procesos químicos implicados, de los fisiológicos, del estudio ambiental y del diseño de las posibles soluciones para remediar el decaimiento del árbol. Obviamente, se trataría de un trabajo de equipo donde el farmacéutico trabajaría con forestales, agrónomos, ambientalistas o biólogos.

CONCLUSIONES:

- La “seca” de la Encina, más que una enfermedad, es una sintomatología que presentan estos árboles, cuya causa primera no está clara y que parece deberse a una sinergia de varios factores que producirían, primero el debilitamiento del árbol, luego su infección por organismos parásitos y finalmente su muerte.
- Entre los organismos parásitos relacionados con la “seca” destaca sobre el resto el hongo oomiceto *Phytophthora cinnamomi*. Ya que aparece en el 75% de los casos estudiados de “seca”. Se trata de un hongo que parasita las raíces de la encina.
- Son también relevantes en el proceso de la “seca”, aunque con mucha menor importancia que *Phytophthora cinnamomi*, algunas especies de escarabajos de la familia Cerambycidae.
- Hay varios factores abióticos que han sido referidos, por sus efectos facilitadores, en relación a la “seca” de la encina. De ellos los más destacados son la hidromorfía del suelo y los factores climáticos. En este sentido hay que señalar la relación que numerosos autores han observado entre el Cambio Climático y Calentamiento Global, y el incremento de esta patología en los últimos años.
- El decaimiento de los *Quercus* se extiende por diversos lugares del mundo, si bien en la Península Ibérica la “seca” de la encina constituye una patología importante que afecta a uno de los paisajes más tradicionales de este territorio: la dehesa. En Andalucía la “seca” afecta a importantes masas forestales localizadas, sobre todo, en las provincias de Cádiz, Huelva y Sevilla. Por este motivo la administración autonómica ha puesto en marcha programas para su control y prevención.
- El control y la prevención de esta patología es complicado. Los mejores resultados se están obteniendo empleando moléculas de actividad fungicida sistémica, con objeto de eliminar o debilitar a *Phytophthora cinnamomi*.
- Sería deseable un acercamiento multidisciplinar a este problema, así como incrementar las investigaciones sobre la “seca”, teniendo en cuenta sus efectos y la rapidez con que actúa. En este sentido indicamos que el perfil profesional del farmacéutico es especialmente adecuado para investigar y trabajar sobre el problema de la “seca” de la encina.

AGRADECIMIENTOS:

Deseamos agradecer al Dr. D. Francisco M. Vázquez Pardo, Coordinador de Proyectos, Responsable de Grupo de Investigación e Investigador del Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura, la ayuda prestada para la realización de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA:

-Allen CD, Macalady AK, Chenchouni H, Bachelet D, McDowell N, Vennetier M, et al. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*. 2010; 259(4): 660-684.

-Allué JL. El cambio climático y los montes españoles. Cuadernos de la SECF. 1995; 2: 35-64.

-Amaral Franco, J. Quercus L. En Castroviejo S, coordinador. Flora Ibérica. vol II. Madrid. CSIC. 1990. p. 15-36.

-Anderegg WR, Kane JM, Anderegg LD.. Consequences of wide-spread tree mortality triggered by drought and temperature stress. *Nature Climate Change*. 2013; 3: 30-36.

-Biocca, M, Tainter FH, Starke DA, Oak SW, Williams JG. The persistence of oak decline in the western North Carolina Nantahala Mountains. *Castanea*. 1993; 58: 178-184.

-Brasier CM. *Phytophthora cinnamomi* and oak decline in southern Europe. Environmental constraints including climate change. *Annals of Forest Science*. 1996; 53: 347-358.

-Caetano P, Sánchez JE, Sánchez ME, Trapero A. Podredumbre radical de la encina y el alcornoque. Córdoba: Grupo de Patología Agroforestal de la Universidad de Córdoba. Consejería de medio Ambiente. 2010.

-Carbonero MD, Fernández P, Blázquez A, Navarro R. Evaluación de la producción y del calibre de bellotas de *Quercus ilex*, L. subsp. *ballota* (Desf) Samp a lo largo de un ciclo de poda. Resultados de la campaña 2000-2001. Lleida: Universitat de Lleida; 2002.

-Caritat A, Vilar LI, Masson P, Molinas M. Influencia del desbroce y el pastoreo sobre el crecimiento apical del alcornoque. *Studia Oecologica*. 1993. p.10-11.

-Carrasco A, Fernández A, Trapero A, López G, Sánchez I, Ruiz JM et al. Procesos de Decaimiento Forestal (la Seca): Situación del Conocimiento. Córdoba: Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. 2009.

-Costa A, Pereira H, Madeira M. Analysis of spatial patterns of oak decline in cork oak woodlands in Mediterranean conditions. Lisboa (Portugal): Instituto Superior de Agronomía, Centro de Estudios Forestales, Universidad Técnica de Lisboa. Annals of Forest Science, Springer Verlag. 2010; 67 (2): 204-214.

-Choat B, Jansen S, Brodribb TJ, Cochard H, Delzon S, Bhaskar R, et al. Global convergence in the vulnerability of forests to drought. Nature. 2012; 491: 752-755.

-Commonwealth of Australia. Management of Phytophthora cinnamomi for Biodiversity Conservation in Australia Part 2 - National Best Practice Guidelines/Appendix 1. 2006 [Consultado en Mayo de 2016]. Disponible en:

<https://www.environment.gov.au/system/files/resources/23925ac2-8fda-4036-aa56-5451f5d8b06d/files/appendix1.pdf>

-Dwyer JP, Cutter BE, Wetteroff JJ. A dendrochronological study of black and scarlet oak decline in the Missouri Ozarks. Forest Ecology and Management. 1995; 75: 69-75.

-Eisenhauer DR. Development of the ecological stability of oak stands in the central and northeastern diluvium region of Germany. Ekologia. 1991; 10, 353-371.

-El-Badri N, Abadie M. Observations on the dynamic of Diplodia mutila Fr. apud Mont. development on the cork-oak, *Quercus suber* L., in Morocco. Cryptogamie, Mycologie. 2000; 21.

-Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. Universidad de Córdoba. 2000.

-Fernández A. Naturaleza y significado de "La Seca": un período crítico en nuestra historia forestal. Vida rural. 1997; 40: 56-58.

-Fernández A, Navarro RM, Fernández R, Gil P, Muñoz E, Calzado C. Evaluación y control de daños de Seca en encinar - alcornoque. Informe de la actividad del grupo de Fitoclimatología entre Enero de 2003 y junio de 2003. Servicio de Ordenación de los Recursos Forestales. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. 2003.

- Fernández P, Carbonero MD. Control y Seguimiento de los programas Agroambientales en la comunidad autónoma andaluza. Fomento y conservación de la dehesa en Andalucía. Informe Técnico Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía. 2003.
- Fernández P, Navarro RM, Ruiz JM. Estudio Morfológico de los crecimientos anuales de encinas y alcornoques con distinto nivel de decaimiento. Influencia de la poda sanitaria, el desbroce y el descorche. Resultados preliminares. Servicio de Ordenación de los Recursos Forestales. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. 2001.
- Fernández-Escobar R, Gallego FJ, Benlloch M, Membrillo J, Infante J, Pérez de Algaba A. Treatment of oak decline using pressurized injection capsules of antifungal materials. Eur. J. For. Path. 1999; 29: 29-38.
- García P, Monte E. Fitopatología del castaño: el chancro y la tinta en la provincia de Salamanca. Salamanca: Centro Hispano-Luso de Investigaciones Agrarias de la Universidad de Salamanca. Diputación de Salamanca y FEDER (Fondo Europeo de Desarrollo Regional), 2005.
- Gil-Pelegri E, Peguero-Pina JJ, Camarero JJ, Fernández-Cancio A, Navarro-Cerrillo R. Drought and forest decline in the Iberian Peninsula: a simple explanation for a complex phenomenon En: Sánchez J. (Ed.) Droughts: Causes, Effects and Predictions. Hauppauge NY: Nova Science Publishers, Inc.; 2008. p.27-68.
- Hardy GE St J. Phosphite and its potential to control *P. cinnamomi* in natural plant communities and adjacent rehabilitated minesites in western Australia. En: Everett M. Hansen and Wendy Sutton. Phytophthora Diseases of Forest Trees. Murdoch, Australia: School of Biology and Biotechnology, Division of Science and Engineering, Murdoch University. 1999. p. 82-86.
- Instituto Geográfico Nacional. Mapa contaminación y sobreexplotación de acuíferos. 2008. (Consultado en mayo de 2016). Disponible en: http://www.ign.es/espmap/mapas_conta_bach/pdf/Contam%20mapa_03_texto.pdf
- IPROCOR. Instituto del Corcho, la Madera y el Carbón Vegetal. Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura. Qué es la seca. Mérida. 2016 [Consultado en Mayo de 2016]. Disponible en <http://iprocor.gobex.es/que-es-la-seca/>
- Jiménez JJ, Serrano MS, Vicente M, Fernández P, Trapero A, Sánchez ME. Nuevas especies de *Pythium* que causan pobredumbre radical de *Quercus* en España y Portugal. Bol. San. Veg. Plagas. 2008; 34: 549-562.

- Luisi N, Lerario P, Vannini A. Recent advances in studies on oak decline. Brindisi Proc. Int. Congress; 1993.
- Lowe S, Browne M, Boudjelas S, De Poorter M. 100 of the World's Worst Invasive Alien Species. Auckland A selection from the Global Invasive Species. The Invasive Species Specialist Group (ISSG) a specialist group of the Species Survival Commission (SSC) of the World Conservation Union (IUCN); 2000.
- Luque J, Parladé J, Pera J. Pathogenicity of fungi isolated from *Quercus suber* in Catalonia (NE Spain). Forest Pathology. 2000; 30.
- Maia I, Medeira C, Diniz I, Candeias I, Melo E, Cravador A. Exposition of cork oak roots to cryptogein reduced the infection by *Phytophthora cinnamomi*. Microsc Microanal. 2009; 15(3): 27-28.
- Montoya JM. ¿Qué es "la Seca de los *Quercus*"?. Madrid, Actas de la X Reunión Anual del Grupo de Trabajo Fitosanitario de Forestales, Parques y Jardines. 1994.
- Navarro RM, Fernández P, Ruiz J, Vidiella A. El síndrome de la seca en masas de *Quercus spp.* en Andalucía. Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Departamento de Ingeniería Rural - Unidad de Silvopascicultura y Repoblaciones. 2001.
- Navarro RM, Fernández P, Ruiz JM. Efecto del descorche y del desbroce sobre el crecimiento diametral del alcornoque (*Quercus suber* L.) y las condiciones microclimáticas del suelo. Resultados preliminares. Servicio de Ordenación de los Recursos Forestales. Consejería de Medio Ambiente. 2001
- Navarro RM, Gallo L, Sánchez ME, Fernández P, Trapero A. Efecto de distintas fertilizaciones de fósforo en la resistencia de brinzales de encina y alcornoque a *Phytophthora cinnamomi* Rands. Invest Agrar: Sist Recur For. 2004; 13(3): 550-558.
- Natalini F, Alejano R, Vazquez-Piqué J, Cañellas I, Gea-Izquierdo G. The role of climate change in the widespread mortality of holm oak in open woodlands of Southwestern Spain. Dendrochronologia. 2016; 38: 51-60.
- Nie ZN, MacKay AD, Valentine I, Barker DJ et Hodgson J. Influence of pastoral fallow on plant root growth and soil physical and chemical characteristics in a hill pasture. Plant and Soil. 1997; 197: 201-208.

- Nyoman I, Ian D. Mycoparasitic and Antagonistic Inhibition on *Phytophthora cinnamomi* Rands by Microbial Agents Isolated from Manure Compost. *Plant Pathology Journal*. 2006; 5 (3): 291-298.
- Oak S, Tainter F, Williams J, Starkey, D. Oak decline risk rating for the southeastern United States. *Ecology and Physiology of Oaks in a Changing Environment. Annales des Sciences Forestieres*. 1996; 53: 721-730.
- Proffit APB, Bendotti S, Howell MR, Eastham J. The effect of sheep trampling and grazing on soil physical properties and pasture growth for a red-brown earth. Australia, *Australian Journal of Agricultural Research*. 1993; 44(2): 317-331.
- Przybyl, K. *Collybia fusipes* and oak decline in Poland: Saprophytic and parasitic forms of the fungus. *Arboretum Kornickie*. 1994; 39: 155-161.
- Ragazzi A, Moricca S, Dellavalle I, Turco E. Decline of oak species in Italy. Problems and perspectives. Firenze, Italia. *Accademia Italiana di Scienze Forestali*. 2000.
- Reuter C. Soilborne plant pathogens. Department of Plant Patology. North Carolina State University. *Phytophthora cinnamomi* Rands. 2005. [Consultado en Mayo de 2016]. Disponible en: https://www.cals.ncsu.edu/course/pp728/cinnamomi/p_cinnamomi.htm
- Ruiz FJ, Sánchez R, Navarro RM, Pérez A. A method to quantify infection and colonization of holm oak (*Quercus ilex*) roots by *Phytophthora cinnamomi*. *Plant Methods*. 2012; 8: 39.
- Sampaio e Paiva C, Ivone MC, Cabral de Almeida NM. Decline of Mediterranean oak trees and its association with *Phytophthora cinnamomi*: a review. Évora (Portugal): Universidade de Évora. *European Journal of Forest Research*. Springer Verlag, 2013.
- Sánchez I, Domínguez L, Pantoja G, Tapias R, Sánchez D. Perfil de emisión de compuestos orgánicos volátiles (cov) foliares en alcornoques infestados por *Cerambyx welensii* küster (coleoptera: cerambycidae). *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 2007; 26: 59-65.
- Sánchez I. Orientación olfativa de *Cerambyx welensii* Küster y *Prinobius germari* Dejean, principales cerambícidos xilófagos de encina (*Quercus ilex* L. subsp. *ballota*) y alcornoque (*Quercus suber* L.), para la localización de hospedantes. Tesis Doctoral, Universidad de Huelva. 2005.
- Sánchez ME, Venegas J, Romero MA, Phillips AJL, Trapero A. *Botryosphaeria* and Related Taxa Causing Oak Canker in Southwestern Spain. *Plants Disease*. 2003; 87(12): 1515-1521.

- Sánchez Hernández ME, Sánchez Solana JE, Navarro Cerrillo RM, Fernández Rebollo P, Trapero Casas A. Incidencia de la podredumbre radical causada por "*Phytophthora cinnamomi*" en masas de "*Quercus*" en Andalucía. Bol. San. Veg. Plagas. 2003; 29: 87-108.-Scortichini M, Stead DE, Rossi MP. Oak decline: aerobic bacteria associated with declining *Quercus cerris* in central Italy. Eur. J. For. Path. 1993; 23: 120-127.
- Scortichini M, Stead DE, Rossi MP. Oak decline: aerobic bacteria associated with declining *Quercus cerris* in central Italy. Eur. J. For. Path. 1993; 23: 120-127.
- Sicoli G, de Gioia T, Luisi N, Lerario P. Multiple factors associated with oak decline in southern Italy. Phytopathologia Mediterranea. 1998; 37: 1-8.
- Tapias R, Fernández M, Moreira AC, Sánchez E, Cravador A. Posibilidades de la variabilidad genética de encinas y alcornoques en la conservación y recuperación de bosques amenazados por la "seca". Palos de la Frontera Huelva, España: Universidad de Huelva, Departamento de Ciencias Agroforestales. Bol. Info CIDEU. 2006; 40: 11-16.
- Torres LM, Sánchez A, Ponce F, Martín D, Ferrero JJ. Assessing mass trapping efficiency and population density of *Cerambyx welensii* Küster by mark-recaptura in dehesa open woodlands. European Journal of Forest Research, 2012; 131 (4): 1103-1116.
- Tuset JJ, Hinarejos C, Mira LJ. La causa parasitaria de la Seca de los *Quercus*. Bol. Inf. CIDEU. 2006; 1: 15-23.
- Valdés B, Talavera S, Fernández-Galiano E. Flora Vascular de Andalucía Occidental. Barcelona. Ketres. 1987.
- Zamora Rojas E, Guerrero Ginel JE, Sánchez Hernández ME. LIFE11/BIO/ES/000726. Ecosistemas de dehesa: Desarrollo de políticas y herramientas para la gestión y conservación de la biodiversidad. ANEXO A.1. V. El chancro de los *Quercus* en las dehesas andaluza. 2014 [Consultado en Mayo de 2016]. Disponible en:
<http://www.uco.es/biodehesa/index.php/es/inicio/repositorio/documentos/category/4-revisiones?download=24:chancro>