



Protocolo de manejo integrado de decaimiento en encinares y alcornoques mediterráneos

Parte del informe D4.1 del paquete de trabajo 4
Aplicación a gran escala de nuevos protocolos MIP personalizados

Autores:	
Francisco José Ruiz Gómez	Universidad de Córdoba
Rafael M. Navarro Cerrillo	Universidad de Córdoba
Rafael Sánchez Cuesta	Universidad de Córdoba
Carmen Morales Rodriguez	Università degli Studi della Tuscia
Andrea Brandano	Università degli Studi di Sassari
Bruno Scanu	Università degli Studi di Sassari

Acronimo del proyecto: LIFE FAGESOS		
Título del proyecto: Declive inducido por Phytophthora de los ecosistemas de Fagaceae en el sur de Europa exacerbado por el cambio climático: preservación de los servicios ecosistémicos mediante una mejor gestión integrada de plagas		
Nº de acuerdo de subvención: 101074466		
Identificador de llamada: LIFE-2021-SAP-CLIMA		
Fecha de inicio del proyecto: 01/09/2022		
Duración: 60 meses		
Sitio web: www.lifefagesos.it & EU Portal		
Este documento se ha elaborado con el apoyo financiero del Programa LIFE de la Unión Europea, en virtud del acuerdo de subvención n.º 101074466. Las opiniones y puntos de vista expresados son exclusivamente de los autores y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea ni de CINEA. Ni la Unión Europea ni CINEA se responsabilizan de ellas.		

Índice de contenidos

1. Resumen ejecutivo.....	3
2. Introducción	3
3. El decaimiento de la encina y el alcornoque	4
4. Productos sostenibles para los tratamientos en protocolos de manejo integrado	7
4.1 Formulación y dosis de productos.....	7
4.1.1 Reducción y control de los niveles de inóculo.....	7
4.1.2 Inductores de resistencia.....	11
4.1.3 Mejora de la salud de los árboles gracias al microbioma del suelo.....	12
4.2 Periodo de aplicación y calendario... ..	14
5. Medidas de higiene y control	15
5.1 Señalización.....	20
6. Buenas prácticas de manejo en dehesas de encinar y alcornocal.....	21
7. Referencias... ..	24

1. Resumen ejecutivo

El decaimiento forestal es un reto importante para la gestión de los ecosistemas. Los patógenos forestales invasores exóticos (AIFPs por sus siglas en inglés) y sus efectos, exacerbados por el cambio climático, suponen una gran amenaza para la sostenibilidad socioeconómica y ecológica de las especies de quercíneas y castaños mediterráneos. Uno de los principales objetivos del proyecto Life FAGESOS es desarrollar protocolos de Manejo Integrado (PMI) de plagas, a medida, basados en productos y recomendaciones de gestión respetuosos con el medio ambiente.

Durante la primera fase del proyecto, se han probado diferentes productos para mitigar el impacto causado por *Phytophthora cinnamomi* en plantas de *Quercus suber* y *Q. ilex*. Este documento incluye el primer protocolo de manejo integrado de plagas (MIP) para dehesas de encina y alcornoque, desarrollado a partir de los resultados. Incluye información contextual sobre el problema y los tratamientos, información detallada sobre los productos seleccionados y su aplicación, recomendaciones para la aplicación de medidas higiénicas y de control, y esquemas generales sobre la gestión de los lugares de degradación.

2. Introducción

El manejo integrado de plagas (IPM por sus siglas en inglés) es una estrategia de control de plagas basada en soluciones sostenibles desde el punto de vista medioambiental y destinada a prevenir a largo plazo el impacto de plagas y enfermedades mediante la combinación de planes de vigilancia, detección precoz, uso de agentes de biocontrol, microorganismos promotores del crecimiento vegetal (PGP), manipulación del hábitat y modificación de las prácticas culturales, entre otras herramientas. Los tratamientos, preferiblemente a base de moléculas inocuas para el medio ambiente, se utilizan sólo cuando el seguimiento indica que son necesarios, de acuerdo con las directrices establecidas. Además, los productos para el control de plagas deben seleccionarse y aplicarse de forma que se minimicen los riesgos para la salud humana, los organismos beneficiosos y no objetivo, y el medio ambiente.

En lugar de atacar directamente a la plaga, la estrategia de control integrado pretende crear condiciones ambientales desfavorables para los agentes de la plaga, reforzando al mismo tiempo la capacidad de reacción de la planta o población huésped mediante el aumento de su resistencia.

Los protocolos IPM combinan enfoques de gestión para lograr una mayor eficacia. La forma más eficaz y duradera de controlar las plagas es utilizar una combinación de métodos que funcionen mejor juntos que por separado. Los métodos de gestión de plagas suelen agruparse en las siguientes categorías.

1) Control biológico

El control biológico es el uso de enemigos naturales -depredadores, parásitos, antagonistas y competidores- para controlar los patógenos y sus daños. Un concepto más amplio incluye también las moléculas producidas por los enemigos naturales.

II) Controles culturales

Los controles culturales son prácticas que reducen el establecimiento, la reproducción, la dispersión y la supervivencia de las plagas. Por ejemplo, aplicar medidas higiénicas a la maquinaria, los vehículos y el personal para reducir la dispersión del patógeno, reducir la intensidad de la explotación o aplicar un tratamiento de fertilización del suelo para aumentar la vitalidad de la planta.

III) Controles mecánicos y físicos

Los tratamientos mecánicos y físicos tienen como objetivo controlar la plaga matando directamente, bloqueando o haciendo que el entorno sea inadecuado para el patógeno. Las trampas para roedores son ejemplos de control mecánico. Los controles físicos incluyen los acolchados para la gestión de las malas hierbas, la esterilización del suelo mediante vapor para la gestión de enfermedades, o barreras como mallas para mantener alejados a pájaros o insectos.

IV) Control químico

El control químico es el uso de pesticidas. En la gestión integrada de plagas, los plaguicidas se utilizan sólo cuando son necesarios y en combinación con otros métodos para un control más eficaz y a largo plazo. Los plaguicidas se seleccionan y aplican de forma que se reduzcan al mínimo sus posibles efectos nocivos para las personas, los organismos no objetivo y el medio ambiente. En las estrategias de GIP, se fomenta la elección de moléculas selectivas para minimizar el impacto en los organismos no objetivo y preservar la calidad del aire, el suelo y el agua.

3. El decaimiento de la encina y el alcornoque

El decaimiento de las quercíneas perennifolias es uno de los principales retos a los que se enfrentan los ecosistemas mediterráneos en las últimas décadas (Jung et al., 2000; Burgess et al., 2017; Ruiz-Gómez et al., 2019). La encina y el alcornoque son las especies más amenazadas debido a los episodios de mortalidad asociados a este decaimiento. El factor desencadenante más común en éstos episodios de decaimiento es la pudrición de raíz causada por el patógeno forestal invasor exótico (AIFP por sus siglas en inglés) *Phytophthora cinnamomi*.

Los ecosistemas de alcornoque (*Quercus suber* L.) son de gran relevancia en términos de valor económico, cultural y ecológico en las regiones mediterráneas (Aronson et al., 2009). Durante las últimas tres décadas, se ha informado de un creciente decaimiento y retroceso de los alcornocales, como un problema cada vez mayor en toda su distribución geográfica (Brasier et al. 1993; Camilo-Alves et al. 2013; Moricca et al. 2016). Varios factores, como enfermedades y plagas, incendios forestales, cambio climático, sobrepastoreo, degradación y fragmentación, se han asociado al decaimiento del alcornoque (Jung et al., 1996, Sánchez et al., 2002, Gómez-Aparicio et al., 2012). Sin embargo, *Phytophthora cinnamomi* es uno de los principales actores de este fenómeno (Brasier et al., 1993, Robin et al. 1998; Scanu et al. 2013), aunque muchas otras especies de *Phytophthora* también están implicadas (Seddaiu et al. 2020; Aurangzeb et al. 2023).

Los síntomas del decaimiento del alcornoque son la transparencia de copa (defoliación); la presencia de brotes epicórmicos en tronco y ramas; a nivel radicular, la necrosis progresiva de las raíces finas absorbentes y la presencia de chancros en las raíces más grandes y suberizadas; necrosis de la

corteza, asociada a exudado negruzco, que en ocasiones alcanza todo el tallo (Brasier, 1996; Robin et al., 1998; Scanu et al., 2013) (Fig. 1).



Figura 1. Decaimiento agudo y mortalidad de alcornoques debido a la infección de raíces por *Phytophthora cinnamomi*.

La encina (*Quercus ilex* L.) es una de las especies más extendidas por la cuenca mediterránea, y la principal especie en el estrato arbóreo del ecosistema de dehesas, que cubre una superficie estimada de más de 4,6 millones de ha en la Península Ibérica. Las cifras de distribución de la encina en esta zona suponen alrededor de 2,2 millones de ha de ecosistemas de dehesas de *Q. ilex* (Díaz Esteban y Pulido Díaz, 2009), además de otros 1,42 millones de ha de bosque natural mediterráneo de encina (Rodá et al., 2009).

El decaimiento de la encina, también conocido como síndrome de "La Seca", está asolando zonas enteras de la parte occidental de la región andaluza (Andévalo) y de Sierra Morena, debido a la muerte de árboles jóvenes y maduros (Ruiz-Gómez et al., 2019) y al fracaso de las repoblaciones forestales (Sánchez-Cuesta et al., 2022). Se considera que el principal factor desencadenante de la mortalidad del arbolado es la podredumbre radicular causada por *Phytophthora cinnamomi* y otras especies de *Phytophthora*.

Los síntomas de la pudrición de raíz son inespecíficos a nivel de árbol, siendo fácilmente identificables una vez que la mayor parte del sistema radicular ya está comprometido, excepto en el

caso de la muerte súbita, en cuyo caso el problema sólo es identificable cuando el árbol está muerto (Carrasco Gotarredona et al., 2009) (Figura 2).

Aunque no existen datos precisos sobre la incidencia o el alcance del decaimiento de la encina, en el año 2010, fuentes oficiales estimaron la pérdida de masas de encina en más de 8000 ha anuales sólo en España (Senado, 2010). Este síndrome provoca graves pérdidas ambientales y económicas en un ecosistema especialmente vulnerable y localizado en zonas rurales, agravado por otros problemas como la intensificación de las prácticas agrícolas y ganaderas, la retirada y abandono de tierras y los efectos directos del cambio climático (Hernández-Lambráño et al., 2018; Sánchez-Cuesta et al., 2021). Así, la protección del ecosistema de dehesas y la recuperación de las zonas ya degradadas se sitúa en primera línea de las políticas de gestión forestal de la administración regional.

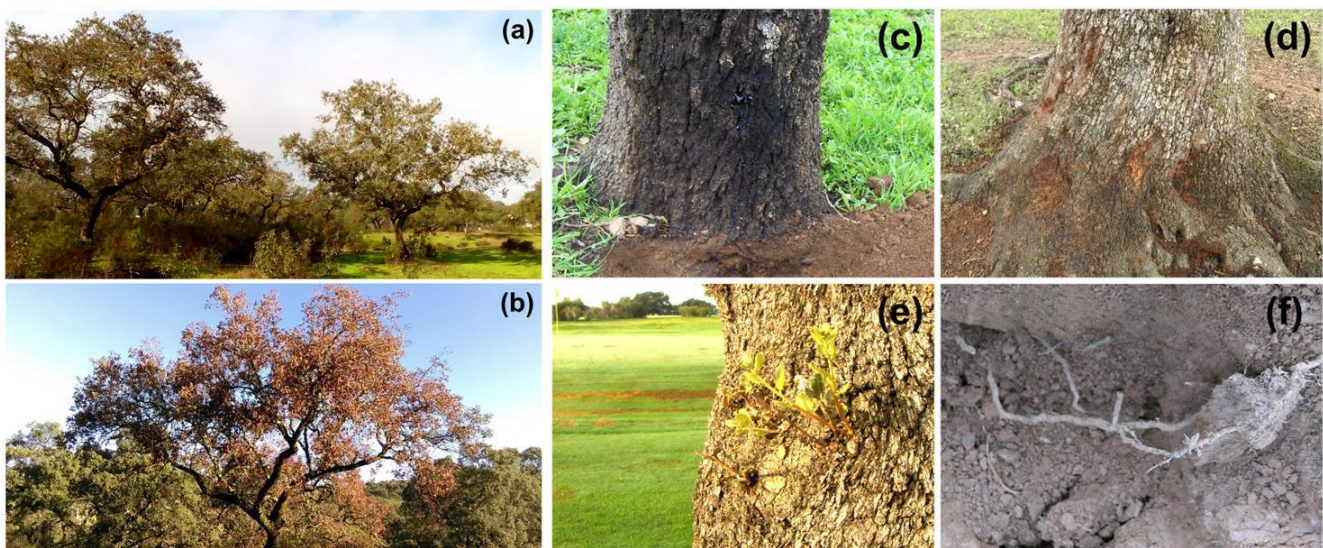


Figura 2. Principales síntomas de decaimiento de la encina. (a) Decaimiento regresivo con defoliación progresiva. (b) muerte súbita. El follaje marchito permanece en la copa del árbol. (c) cancro en la base del tronco. (d) galerías de insectos perforadores de la madera con serrín en la base del tronco. (e) brotes epicórmicos en el tronco. (f) pérdida de raíces finas en raíces absorbentes superficiales. Fuente: Archivo del autor.

La epidemiología de la enfermedad está asociada a las condiciones climáticas y a la gestión, junto a otros factores relevantes como la calidad del suelo y la contaminación. La precipitación media no es un factor relevante, ya que *Q. ilex* es una especie esclerófila bien adaptada a zonas secas, pero los episodios de precipitaciones intensas y la inundación del suelo están relacionados con la mortalidad y los episodios de defoliación intensa. Además, la elevada recurrencia de eventos de sequía extrema y el aumento global de las temperaturas parecen exacerbar estos episodios, probablemente debido a sus efectos sobre el estado sanitario global de las masas de encina (factor incitador) (Sánchez-Cuesta et al., 2021). Periodos prolongados de sequía, encharcamientos, fluctuaciones impredecibles en los niveles de agua, suelos arenosos o poco profundos, fuertes lluvias inesperadas, así como patógenos y plagas oportunistas, pueden acelerar el progreso de la enfermedad y provocar el marchitamiento repentino y la muerte de los árboles (Brasier et al., 1993; Jung et al. 1996; Balci & Halmschlager 2003; Jönsson et al., 2005; Moreira & Martins, 2005). Coincidiendo con los patrones observados en el

castaño, se demostró la asociación de los procesos de decaimiento en dehesas con las vías naturales de drenaje y la red de caminos forestales y locales (Cardillo et al., 2018).

La gestión integrada del decaimiento de la encina es compleja y debe tener en cuenta diversas variables y factores asociados a su propagación, incidencia y severidad. Dichas variables pueden considerarse dentro de un contexto general de heterogeneidad del área y del paisaje. Las infraestructuras físicas y humanas, como la red de drenaje natural existente y las carreteras, ofrecen corredores preferentes de propagación y dispersión de *Phytophthora*. Otras variables son las prácticas culturales y la resistencia de los hospedadores. También es relevante la presión ejercida por actividades relacionadas con usos específicos del suelo, como la presencia de viveros u otro tipo de plantaciones en las zonas vecinas que podrían actuar como puente para el cambio de hospedador y la introducción de patógenos en zonas libres de la enfermedad. Por último, pero no menos importante, la calidad y el nivel de vigilancia del territorio podrían alterar la eficacia de aplicación de las medidas de control (Vannini y Morales-Rodríguez, 2019).

4. Productos sostenibles para los tratamientos en protocolos de manejo integrado

En lugar de una reacción instintiva a un problema específico, la aplicación de protocolos de manejo integrado supone una gestión "holística" de las plagas mediante una serie de procesos interrelacionados que se incorporan a todo el espectro de la estrategia de IPMs. El holismo es la teoría según la cual los sistemas, y cada parte de un sistema, deben considerarse como un todo y no como partes aisladas. El enfoque "holístico" tiene en cuenta el panorama general y considera todas las partes. La gestión holística de plagas es un enfoque integrado y preventivo que tiene en cuenta la salud general de la planta y el entorno del ecosistema para prevenir problemas y gestionarlos de forma inteligente si surgen.

La estrategia de estos IPM se basa en la aplicación de las medidas de higiene correctas descritas en la sección 5 para evitar la propagación del patógeno y el tratamiento en tres pasos de las zonas afectadas. Estos tratamientos se basan en: 1) la aplicación de un fungicida para disminuir la concentración del inóculo presente en el suelo; 2) la incorporación de microorganismos que ocupen el espacio dejado por el patógeno, con función antagonista frente al patógeno y estimuladora del crecimiento de la planta; 3) tratamientos con inductores de defensas vegetales que protejan al árbol del impacto del patógeno (Figura 3).

4.1 Formulación y dosis de los productos

4.1.1 Reducción y control de los niveles de inóculo del oomiceto en el suelo

Las brasicáceas son una familia de plantas que contienen altas concentraciones de glucosinolatos (GSL) en tipos celulares específicos que forman parte de sus sistemas de defensa naturales (Koroleva et al. 2010). Estas moléculas son un sustrato para enzimas hidrolíticas

(mirosinasas), almacenadas en vacuolas o células mirosinas específicas de las Brassicaceae. Tras la ruptura del tejido, las GSL entran en contacto con las mirosinasas y se hidrolizan a isotiocyanatos (ITC). Se sabe que los ITC tienen una amplia actividad de biocontrol contra artrópodos, hongos y oomicetos (Brown y Morra 1997; Rosa et al., 1997).

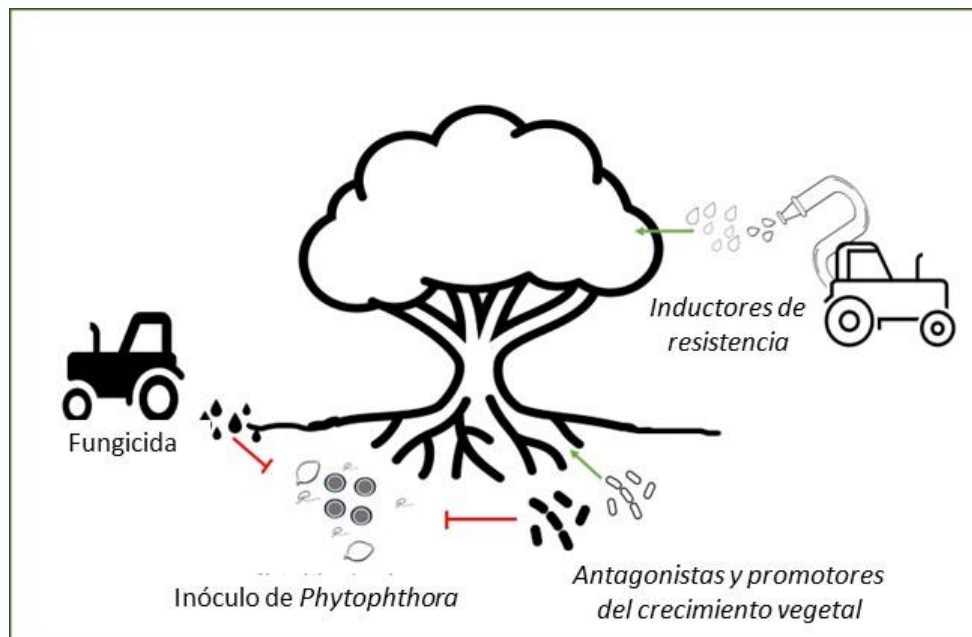


Figura 3. Enfoque holístico del tratamiento para mitigar el impacto de *P. cinnamomi*

El producto elegido en los ensayos de mesocosmos de FAGESOS para controlar los niveles de inóculo de *P. cinnamomi* en el suelo es un producto comercial, ya disponible para su uso como fertilizante (BioFence FL, Nutrien Italia, Spa, Livorno, IT). En su forma comercial, BioFence se produce a partir de *Brassica carinata* selección ISC17 utilizando un método de desengrasado parcial que limita la degradación de GSL y mirosinasa, optimizando así la eficacia del producto (Lazzeri et al. 2004). La eficacia de biocontrol (96,5%) de los pellets de Brassica sobre *P. cinnamomi* ha sido reportada en experimentos in vitro y en mesocosmos, proporcionando una alternativa a los pesticidas sintéticos dentro de los programas de manejo de plagas y enfermedades (Morales-Rodríguez et al., 2016). Además de su actividad biocida, se ha reportado que este producto tiene un efecto positivo y duradero como fertilizante del suelo. Además, favorece la emisión de nuevas raíces, mejorando la capacidad de las plantas para absorber nutrientes y, con ello, su resiliencia frente al estrés abiótico (por ejemplo, temperaturas extremas y sequía).

BioFence está disponible comercialmente en forma de pellets para aplicaciones en seco y como producto de dos componentes, compuesto por un formulado líquido y harina de Brassica (Figura 4). Se puede combinar y aplicar como empapador del suelo. Se ha comparado la eficacia de ambas formulaciones en plantas de castaño, encina y alcornoque en ensayos con mesocosmos, siendo la formulación líquida la que ha obtenido mejores resultados en la mitigación de la enfermedad.

Composición: Biofence FL es un producto de 2 componentes, que incluye una formulación líquida y una harina derivada de pellets de especies seleccionadas de Brassicae. El envase incluye una bolsa filtrante para facilitar el proceso de infusión.



Figura 4. Biofence FL. 10 L de formulación líquida + 5 KG formato harina de pellet

Contenido nutricional:

- Harina de nitrógeno orgánico 6%
- Azufre total 15%
- Magnesio 0.5%
- Contenido de aminoácidos libres en el N >50%
- Nitrógeno líquido orgánico 3%

Preparación:

- 1) Agitar la formulación líquida para mezclar bien los componentes y diluirla en unos litros de agua utilizando un recipiente grande (Figura 5A).

Aproximadamente 4 L de agua para 1 L de formulación líquida.

- 2) Utilizar el polvo necesario para el tratamiento, verterlo en el filtro especial y, a continuación, sumergir el filtro en la solución preparada anteriormente (Figura 5B).

0,9 kg de harina para 1 L de formulación líquida y 4 L de agua.

Para todo el envase comercial (5 Kg de harina granulada y 10 L de formulación líquida), utilice 22 L de agua. Prepárelo en un recipiente de 50 L de volumen.

- 3) Dejar infundir la harina durante al menos una hora, pero no más de 4/5 horas. Durante este tiempo, agite el filtro regularmente para que toda la harina entre en contacto con la solución líquida.
- 4) Una vez transcurrido el tiempo mínimo de infusión, levantar el filtro del compuesto líquido y mantenerlo suspendido para poder apretarlo y permitir así que el isotiocianato salga y se integre en la solución.
- 5) Enjuagar el filtro en otro recipiente con agua limpia. Agitar el filtro para permitir que se disuelva la máxima cantidad de producto en el agua. A continuación, apriete el filtro e incorpore el agua a la infusión.

Para todo el envase comercial, enjuagar en un volumen de 10 L.

- 6) La solución obtenida debe llevarse al volumen necesario en el depósito de abono, para poder distribuirla en el suelo alrededor del árbol, asegurándose de pulverizar especialmente la base de las plantas bajo la zona de proyección de la copa.

Para todo el envase comercial, en este punto, tendremos unos 40-41 L de infusión. Mezclar con 1460 L de agua para tener un volumen final de 1500 L.



Figura 5. Preparación de Biofence FL. A) Mezclar la solución líquida en 22 litros de agua limpia y preparar la harina introduciéndola en la bolsa de filtro. B) Sumergir la bolsa de filtro en la mezcla de agua y solución líquida. Agitar enérgicamente para mejorar la infusión. C) Después de 1 h, enjuagar la bolsa de filtro y añadir la solución en un tanque de fumigación o fertilización con 1460 L de agua.

Modo de aplicación y dosis: (para 1 paquete, 1500 L de dilución final; 35-45 árboles):

El producto debe aplicarse únicamente en árboles claramente afectados por la enfermedad y/o situados en el frente de avance de los focos de enfermedad.

El producto debe aplicarse tratando la superficie por debajo de la copa del árbol, a principios de primavera y después de un periodo de lluvias. El objetivo es eliminar el inóculo en las capas externas del suelo (10-15 cm) para reducir el riesgo de dispersión a través del movimiento pasivo de partículas de suelo contaminado.

Aplicar un volumen adecuado de dilución en función del tamaño del árbol (Tabla 1):

Tabla 1: volumen de solución para aplicación al suelo en función del tamaño de copa

Diámetro de copa (m)	Volumen (L)
< 10	25
10 a 20	35
> 20	45



ATENCIÓN!!! USAR LA SOLUCIÓN ANTES DE 4 HORAS DESDE LA PREPARACIÓN

4.1.2 Inductores de resistencia

Los inductores de resistencia de las plantas (IRP) podrían ser útiles para reducir el uso de pesticidas. Se trata de moléculas de distinta naturaleza que conducen a una mayor protección frente a los ataques de patógenos mediante la inducción de los mecanismos de defensa de la planta, la llamada inmunidad desencadenada por la planta (Plant Triggered Immunity, PTI). También se les conoce como resistencia de la planta o inductores de defensa. Se sabe que los PTI son eficaces contra diversos patógenos, como virus, bacterias, oomicetos y hongos que atacan a las plantas. Este tratamiento es muy recomendable en el decaimiento de la encina porque *P. cinnamomi* no es un patógeno primario, sino un factor desencadenante de la mortalidad en el síntoma de decaimiento. Por lo tanto, la mejora de los mecanismos de defensa naturales de los árboles los protegerá contra los umbrales que pueden conducir a episodios de pudrición de las raíces y a la muerte del árbol.

Entre los productos probados en los ensayos de mesocosmos de FAGESOS, el producto que presentó la mayor eficacia en la reducción de los síntomas y la mortalidad en las plantas infectadas fue Kalex EVO® (Alba Milagro International S.p.A.; Parabiagio, Italia). Kalex EVO® (Figura 6) es un potenciador natural de las defensas que incluye sustancias fertilizantes (cobre y molibdeno) y varios compuestos activadores orgánicos (ácido carboxílico, polisacáridos y extractos naturales), de probada eficacia contra una amplia gama de enfermedades fúngicas y bacterianas. KALEX EVO está formulado para que las sustancias que contiene sean rápidamente absorbidas y transportadas de las raíces a las hojas y viceversa. Debido a su efecto transportador, puede combinarse con plaguicidas, para mejorar su sistema y funcionamiento, previa comprobación de la compatibilidad. No utilizar durante la floración.

Composición:

- Cobre (Cu), 4.1 % p/p
- Molibdeno (Mo), 0.03 % p/p
- Extractos vegetales: Polisacáridos, vitaminas, minerales, grasas, aminoácidos, olifenoles y pigmentos.
- Ácido carboxílico



Figura 6. Presentación comercial de Kalex EVO®, Milagro International S.p.A.

Modo de aplicación y dosis:

- El tratamiento recomendado consiste en 2 aplicaciones foliares con un intervalo de 15 días entre aplicaciones.

- La aplicación debe realizarse en primavera (abril-mayo), tras la floración y sin previsiones de lluvia en las 24 horas siguientes a la aplicación.
- Dosificación: 2 L/ha. En el caso de una dehesa común de encina con una densidad de árboles entre 60-90 árboles/ha, se puede preparar un depósito de 2.000 litros añadiendo 20 litros de producto. Aplicar siguiendo las siguientes recomendaciones (Tabla 2):

Tabla 2: Volumen orientativo de solución para la aplicación en función del tamaño de copa.

Diámetro de copa (m)	Volumen (L)
< 10	18
10 a 20	25
> 20	32

4.1.3 Mejora de la salud de los árboles gracias al microbioma del suelo

Este tratamiento tiene por objeto mejorar la fisiología de la planta y limitar la idoneidad del hábitat para el patógeno mediante la enmienda con bioproductos a base de microorganismos promotores del crecimiento vegetal y antagonistas *Trichoderma* spp. La bioenmienda del suelo con microbios promotores del crecimiento vegetal (PGPM) es una alternativa ecológica a la fertilización química. Estos organismos pueden colonizar las raíces de las plantas, aportando beneficios a sus huéspedes: Aumentan la disponibilidad de nutrientes en el suelo y la resistencia frente a patógenos, modulando la producción de fitohormonas. Así, mitigan el estrés biótico y abiótico y aumentan la producción de la planta.

Trichoderma es un género con un gran potencial en el control biológico y la aplicación de la GIP. *Trichoderma* comprende varios simbiontes oportunistas, que son los principales colonizadores de suelos en todo tipo de ecosistemas, capaces de controlar muchos patógenos del suelo a través de diversos mecanismos tales como la inducción de resistencia de las plantas, la competencia directa, la inhibición y el parasitismo (Vinale et al., 2008). Los simbiontes oportunistas de plantas son organismos que no están obligados a ser simbiontes para sobrevivir, pero prosperan considerablemente más cuando tienen una planta huésped. Algunas cepas de *Trichoderma* son bien conocidas como competentes agentes de biocontrol, disminuyendo la gravedad de las enfermedades de las plantas, principalmente en el suelo o en las raíces de las plantas (Sharma y Sharma 2020). Estos efectos se han confirmado con éxito en la investigación para *Phytophthora* spp., controlando o incluso reduciendo las enfermedades relacionadas con *Phytophthora* (Aleandri et al., 2015; Sharma y Sharma 2020, Ruiz-Gómez y Miguel-Rojas, 2021).

Entre los productos probados en los ensayos de mesocosmos de FAGESOS, todos los productos basados en PGPB y 2 productos basados en *Trichoderma* spp. tuvieron un efecto positivo en el estado sanitario de las plantas infectadas. Finalmente, se eligieron dos productos para los protocolos IPM debido a su efectividad, y también considerando su disponibilidad actual en el mercado: Bactrium® y Tricoten® de Atens (Agrotecnologías Naturales, S.L., Tarragona, España).

Bactrium® (Fig. 7) contiene bacterias de la rizosfera altamente competitivas que colonizan el sistema radicular. Estas bacterias mejoran la nutrición de las plantas, mejoran la eficiencia del uso de fertilizantes y desbloquean elementos bloqueados en el suelo. Las dos especies de *Bacillus megaterium* contenidas en Bactrium han sido completamente secuenciadas en nuestra plataforma de última generación del NGA Lab. Gracias a este trabajo podemos afirmar que contienen genes codificantes que contribuyen a:

- La captación y asimilación de nitrógeno (Transportador de nitrito y enzimas de la familia de la Nitrorreductasa).
- Aumento de la resistencia a la contaminación por cobre (proteína de resistencia al cobre).
- Captación de hierro (sideróforos).
- Solubilización del fósforo (fosfatasa ácida y fitasas).

Composición:

- *Bacillus megaterium* MHBM06: 5x10⁹ UFC/g
- *Bacillus megaterium* MHBM77: 5x10⁹ UFC/g
- Bacterias de la rizosfera: 1x10¹⁰ UFC/g



Figura 7. Bactrium, Atens®

Tricoten® es una formulación en polvo humectable basada en *Trichoderma atroviride*. Su eficacia en el control de patógenos como *Fusarium*, *Sclerotinia* y *Botrytis* ya ha sido probada, y ha demostrado una reducción significativa de los síntomas de la enfermedad en encinas infectadas con *Phytophthora cinnamomi* en los ensayos de mesocosmos llevados a cabo en el proyecto FAGESOS. Existen otras formulaciones con *T. atroviride* disponibles en el mercado, aunque no podemos proporcionar información sobre su eficacia en encina frente a *P. cinnamomi* porque no se incluyeron en los ensayos de mesocosmos. No obstante, si su formulación está basada en *T. atroviride*, es de suponer que los efectos serán similares.



ATENCIÓN!!! NO UTILIZAR PRODUCTOS BASADOS EN *T. KONINGII*.

*Este microorganismo puede estimular el homotalismo en *P. cinnamomi**

(Pratt et al., 1972; Brassier, 1978)

- **Composición:**
- *Trichoderma atroviride* AT10, polvo humectable conidial, 5x10⁹ UFC/g



Figura 8. Tricoten, Atens®

Modo de aplicación y dosis:

- Dosis de Bactrium: 2L / ha
- Dosis de Tricoten: 1 Kg / ha
- Ambos productos pueden aplicarse directamente al suelo, mediante barra pulverizadora, disueltos en el agua necesaria, en función de la tasa de consumo de cada barra pulverizadora.

Ejemplo: Para un depósito de 2000 litros con una barra de pulverización de 6 metros, a razón de 200 L/ha, añadir 20 litros de Bactrium y 10 kg de Tricoten para 10 ha.

- El tratamiento se aplicará conjuntamente en primavera, durante los meses de marzo-abril y preferiblemente después de un periodo de lluvias.

4.2 Periodo de aplicación y calendario

Los tratamientos deben seguir un orden determinado, comenzando por la reducción del inóculo, como paso crítico. Este producto debe aplicarse después de un periodo de lluvias, sobre suelo húmedo, para asegurar la penetración, y coincidiendo con el periodo de máxima probabilidad de actividad proliferativa de *P. cinnamomi*.

Después del tratamiento con BioFence FL, se debe observar un periodo de 30 días antes de tratar con microorganismos o cualquier otro bioproducto, para asegurar que los isotiocianatos se degradan, para evitar interferencias con la bioenmienda.

En cuanto al tratamiento foliar, el aspecto más importante a considerar es la floración. El producto debe aplicarse cuando el periodo de floración haya finalizado y las flores ya hayan sido fecundadas para garantizar una mejor producción de frutos. En el caso del alcornoque, atendiendo a su fenología local, también se debe tener en cuenta la sustitución de hoja vieja en primavera, evitando realizar la aplicación foliar en el período de máxima pérdida de hoja.

Cuando la aplicación foliar coincide con la bioenmienda, se recomienda realizar primero la foliar para evitar la perturbación del suelo tras la aplicación de los microorganismos.

Observando todos estos aspectos, y tomando como ejemplo el calendario de la zona Demostrativa de La Tejera, el calendario de aplicación propuesto sería el siguiente (Tabla 3):

Tabla 3: Calendario de tratamientos para dehesa de encina, en el área demostrativa de FAGESOS “La Tejera” (Villaviciosa de Córdoba, España).

	Semana					
	I	II	III	IV	V	VI
BioFence	20-21 Marzo					
Kalex EVO				18-19 Abril		1-2 Mayo
Bactrium+Tricoten				22-23 Abril		

Las fechas se ajustarán teniendo en cuenta los episodios de precipitación y la fenología local (floración y recambio de hoja).

En el caso de plantaciones o bosques naturales perennifolios no ligados a la ganadería de cerdo ibérico, es recomendable adelantar el tratamiento de BioFence, realizándolo durante el invierno, cuando el suelo está húmedo y el crecimiento de la hierba es menor. Un ejemplo de tratamiento en estas zonas se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4: Calendario de tratamientos para para plantaciones o bosques naturales siempreverdes

	Week					
	I	II	III	IV	V	VI
BioFence	20-21 Feb					
Kalex EVO				18-19 Abr		1-2 May
Bactrium+Tricoten		22-23 Mar				

Las fechas se ajustarán teniendo en cuenta los episodios de precipitación y la fenología local (floración y recambio de hoja).

5. Medidas de higiene y control

Las medidas higiénicas son métodos preventivos para evitar el transporte pasivo del inóculo de *P. cinnamomi* desde los focos de infección a las zonas sanas. Todo lo que favorezca el transporte pasivo de tierra infectada puede actuar como portador de la enfermedad. Esto incluye neumáticos de vehículos y cualquier tipo de trenes de rodaje, aperos, calzado y animales salvajes y de granja. Vannini et al. (2021) demostraron que la mayor parte del inóculo se desplaza a lo largo de la red de caminos que bordean o atraviesan los castaños y la red de drenajes superficiales de agua, coincidiendo con otros trabajos en dehesas de encinas (Cardillo et al., 2018). Así, las medidas higiénicas son una parte fundamental de la estrategia de los IPM.

Vannini et al. (2010) sugirieron las siguientes precauciones y prácticas higiénicas:

1. La restricción del tránsito de personas, animales y maquinaria en áreas infectadas (focos) y a lo largo de caminos y senderos que cruzan o bordean las arboledas y/o huertos afectados. Esta medida es muy relevante durante episodios de lluvias intensas y periodos de inundaciones.
2. La desinfección de neumáticos y calzado al salir de las zonas infectadas, especialmente en la estación húmeda.
3. La gestión de los flujos superficiales de agua mediante la recogida y canalización de las aguas de escorrentía de las zonas afectadas.
4. Las medidas enumeradas en los puntos (1) y (2) son rentables, pero su aplicación con éxito depende de la educación y concienciación de las partes interesadas en el castaño y de los ciudadanos particulares. Esta última medida es costosa y no es fácil de aplicar en grandes focos de infección.

En el caso de las medidas higiénicas, se necesita el apoyo de todos; es muy recomendable un enfoque participativo, en el que se aplique en estrecha colaboración con los municipios locales, las asociaciones sin ánimo de lucro, los grupos de ciudadanos, las asociaciones de propietarios y cultivadores forestales y otras partes interesadas.

Dentro del proyecto FAGESOS, se aplicarán y mantendrán las siguientes medidas de higiene en las zonas demostrativas de España e Italia:

l) Estabilización de pistas y mejora de cunetas: Las granjas y zonas forestales están llenas de caminos rurales utilizados para actividades culturales y ganaderas. La mayoría de las veces, el firme de las carreteras es muy inestable, propenso a la formación de charcos de barro y baches capaces de contener el inóculo patógeno, que puede ser diseminado por coches y maquinaria pesada. En este caso, como la mayoría de las carreteras están formadas por plataformas de suelo natural compactado, con escaso movimiento de tierra, es fácil y rentable reparar el firme con una simple viga o alisadora. Además, se limpiarán y mejorarán las cunetas situadas a lo largo de las carreteras principales que atraviesan las zonas afectadas para recoger la crecida del agua, canalizar la escorrentía hacia los cursos de agua principales y limitar así la propagación del inóculo (Fig. 9).



Figura 9: Mejora de caminos rurales en La Tejera, El firme de los caminos se puede compactar fácilmente con una viga pesada. Se deben limpiar las cunetas en las zonas de escorrentía cercanas a focos y/o zonas muy afectadas, canalizando la escorrentía hacia los cauces principales.

II) Estaciones de limpieza de calzado: Estas estaciones constan de un módulo de cepillado para eliminar la suciedad. Las estaciones de limpieza de calzado del proyecto FAGESOS incluían también dispositivos laterales para eliminar el exceso de barro antes de limpiar los zapatos, cepillos laterales para ayudar a la limpieza y un módulo de pulverización con desinfectante integrado en el módulo de cepillado. (Figura 10).



Figura 10: Estaciones de limpieza de calzado diseñadas para el proyecto FAGESOS. Las estaciones incluían cepillos laterales, placas laterales para eliminar el exceso de barro y dispensador de desinfectante.

III) Estaciones de limpieza de vehículos: Son una importante medida de higiene preventiva. En el caso de caminos rurales compuestos por plataforma de tierra natural, el aspecto más importante a tener en cuenta es la limpieza de neumáticos y pasos de rueda con desinfectante. La medida más rentable y eficaz en términos de tiempo para este fin es la instalación de baños de neumáticos en los principales puntos de salida de los caminos rurales de la explotación/finca (Figura 11). Los baños de limpieza de neumáticos deben llenarse con una solución desinfectante y deben ser lo suficientemente profundos como para mojar eficazmente todo el paso de rueda a baja velocidad, sin suponer un obstáculo significativo para el vehículo.



Figura 11: Ejemplo de estación de limpieza de vehículos en la entrada principal de una finca.

Las estaciones de limpieza de calzado y los baños de neumáticos deben estar provistos de una solución desinfectante que no suponga un peligro de contaminación ambiental, para el suelo, la vegetación y la fauna. Para ello, los desinfectantes a base de sales cuaternarias ofrecen una solución óptima. Estos desinfectantes, en una dosis adecuada, no dañan a los animales y son inocuos para la vegetación. En el marco del proyecto FAGESOS, se han ensayado en laboratorio varios productos basados en estas sustancias y sin sustancias químicas o contaminantes en su composición.

Entre los productos ensayados, y teniendo en cuenta también su composición, precio y disponibilidad en España, el producto elegido para su inclusión en las acciones demostrativas de FAGESOS fue Sanibacter® (Quimpa S.L.; Madrid, España) (Fig. 12). Entre los productos probados, y teniendo en cuenta su composición, precio y disponibilidad en Italia, el producto elegido para incluir en las acciones demostrativas de FAGESOS es Blu (grupo químico Arco), el producto se utiliza diluyéndolo en agua en una proporción de 1/200. De esta forma, un envase de 1l producirá un total de 200 litros de líquido desinfectante.

Composición:

- Didecyldimethylammonium chloride (4.5% v/v)
- Excipients



Figure 12. Sanibacter®, Quimpa S.L

Las pruebas incluyeron diferentes dosis para encontrar la dosis mínima capaz de matar eficazmente el inóculo de *P. cinnamomi* (Tabla 5).

Tabla 5: Dosificación de Sanibacter® para diferentes aplicaciones. La dosis indica la concentración a la que no se recuperó de las pruebas ningún inóculo viable de *P. cinnamomi*.

Aplicación	Dosis	Recomendación
<i>Prueba de laboratorio</i>	1.111 µL / mL	---
<i>Estaciones de limpieza de calzado y desinfección de manos</i>	7 µL / mL	Los dispensadores de desinfectante se llenarán con una solución de 0,7% v/v de Sanibacter® (7 mL por cada L)
<i>Estaciones de limpieza de vehículos</i>	2.5 µL / mL	Para un pediluvio que contenga 1000 L de agua, añadir 2,5 L de Sanibacter®. Repita la operación cada vez que haya fuertes lluvias.

Otra opción, las esteras desinfectantes (Fosse Ltd) (Figura 13 b,c) podrían colocarse a la entrada y salida de las carreteras que atraviesan o bordean zonas infectadas, para contrastar el movimiento pasivo del inóculo. Las alfombrillas se rellenan con una solución desinfectante (Blue, grupo químico Arco®) sin que se produzcan escorrentías, salvo al paso de los vehículos. Irán acompañadas de carteles de señalización especialmente diseñados y llamativos (Figura 13 d). Estas señales 1) detallarán los pasos necesarios para limpiar de inóculo los vehículos y, especialmente, los neumáticos de los vehículos, siempre que utilicen una de las carreteras que atraviesan o bordean las zonas infectadas; 2) subrayarán la gravedad de las infecciones por *Phytophthora* y los daños que causan en términos generalmente comprensibles, empaquetados en una llamada a la acción significativa.

IV) Kits de limpieza móviles: Kits de limpieza fáciles de usar que incluyan un aerosol desinfectante y un cepillo para desinfectar botas y otras herramientas para aquellas personas (senderistas, trabajadores, cultivadores, técnicos forestales) que interactúen frecuente o necesariamente con zonas infectadas (Figura 13a).



Figura 13. Mobile cleaning kits (a), Vehicles cleaning stations (b and c), signposting (d).

La Figura 14 muestra el plan completo de implementación de Protocolos de Manejo Integrado en la explotación de Monte Arcosu (Cerdeña, Italia), sobre encina y alcornoque.

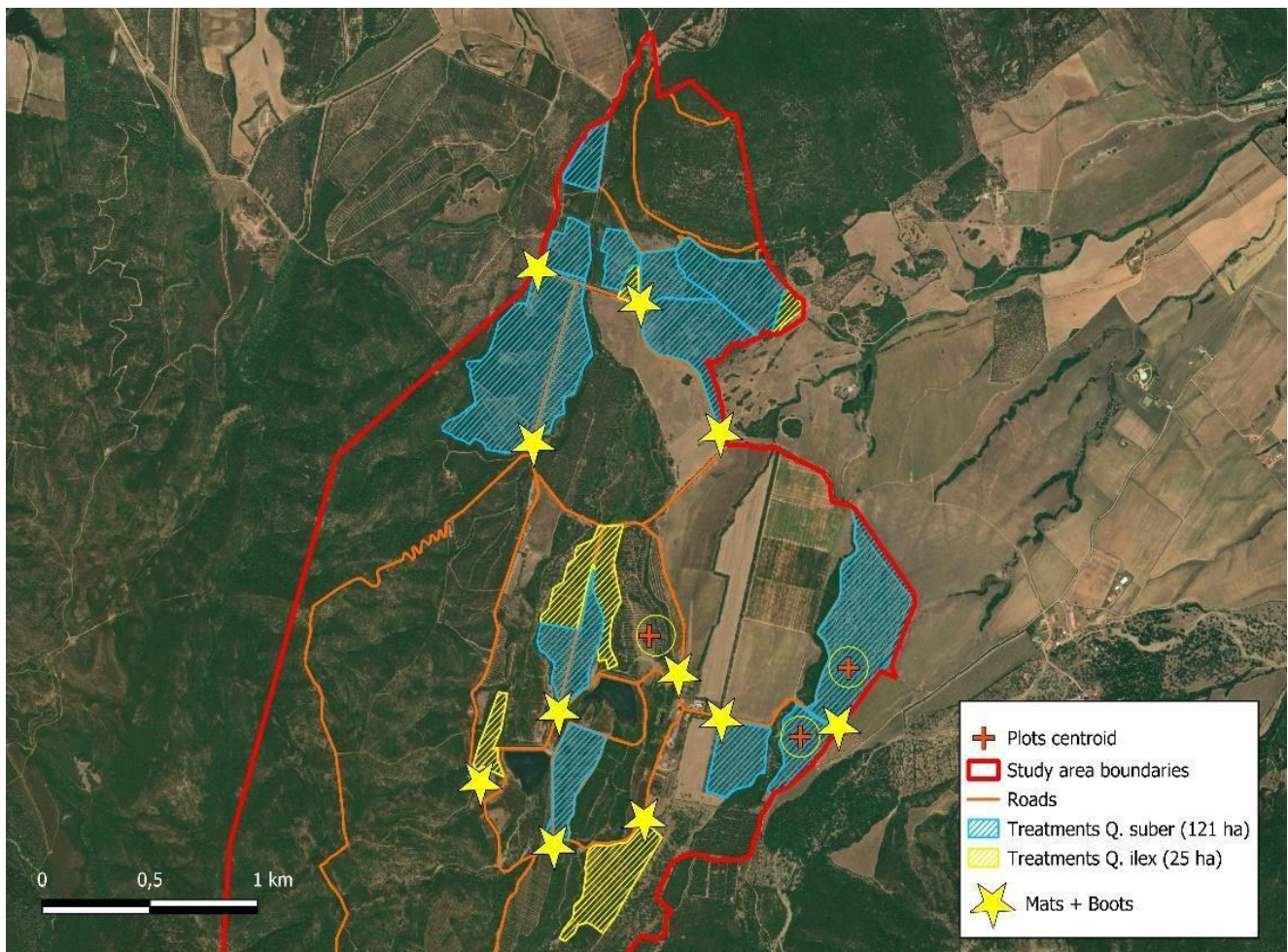


Figura 14. Localización de las plantaciones de encina y alcornoque y las estaciones de limpieza de trenes de rodaje en la explotación e Monte Arcous (Cerdeña, Italia).

5.1 Señalización

Las medidas de higiene irán acompañadas de carteles de señalización especialmente diseñados y llamativos (Fig. 15). Estos postes de señalización tienen principalmente los siguientes objetivos:

- Detallar los pasos necesarios para utilizar con éxito las estaciones de limpieza de calzado.
- Subrayar la gravedad de las infecciones por *Phytophthora* y los daños causados por este patógeno en términos generalmente comprensibles, empaquetados en una llamada significativa a la acción.
- Advertir de la presencia de baños de neumáticos y de la velocidad recomendada para su uso.
- Indicación de la zona en la que se llevarán a cabo los tratamientos.



Figura 15. Señalización de las medidas de higiene e información ciudadana instalados en el área demostrativa de La Tejera (Villaviciosa de Córdoba, Spain).

6. Buenas prácticas de manejo en dehesas de encinar y alcornocal:

Por último, la aplicación de medidas de gestión orientadas a la protección del entorno se considera una parte muy relevante de los protocolos de Gestión Integrada de Plagas. Las prácticas culturales incorrectas se incluyen entre los factores incitadores del decaimiento. A continuación se enumeran una serie de recomendaciones de manejo y medidas que se pueden implementar para la gestión de dehesas de encinas en cuanto a su relación con el decaimiento de la encina y la dispersión de patógenos.

1. Mantener la gestión de las dehesas

El abandono de las dehesas conduce a la invasión de matorral y al decaimiento de los árboles. La sostenibilidad económica de las dehesas debe estar en el centro de los protocolos de IPM, ya que las dehesas económicamente rentables tienen más probabilidades de estar bien gestionadas que las deficientes. La ganadería extensiva y las prácticas agrícolas que ofrecen productos de alta calidad son las mejores opciones.

2. Vigile periódicamente el estado sanitario de las encinas

Evalúe periódicamente la defoliación de los árboles y la abundancia de plagas (insectos y canchales). Si la defoliación empieza a aumentar en una zona limitada, afectando a varios árboles, o se hace evidente el declive generalizado y la propagación de patógenos, contacte rápidamente con un técnico forestal o agrónomo especializado para el diagnóstico y la terapia adecuada. Tenga en cuenta que la detección precoz aumenta en gran medida la eficacia de las medidas de control y reduce sensiblemente los costes.

3. Realice podas periódicas de mantenimiento

La poda sirve para i) eliminar las partes muertas de la planta que son fuente de proliferación de plagas y patógenos; y ii) estimular una actividad vegetativa y reproductiva vigorosa. Así pues, se recomienda realizar una poda de mantenimiento cada 3,5 años. La poda debe ser realizada por arboricultores expertos, a finales del invierno o principios de la primavera, dependiendo de las condiciones locales, pero antes de que finalice el periodo de reposo invernal. La poda debe realizarse sólo en ramas con diámetro superior a 15 cm, y teniendo cuidado de no causar daños al árbol debido a una inclinación incorrecta del corte o a daños involuntarios causados por un uso incorrecto de la herramienta. Una poda incorrecta o prácticas artesanales debilitarían los árboles incitando el proceso de decaimiento.

4. Evitar el laboreo con aperos de vertedera o laboreo profundo.

Estos aperos tienen efectos negativos sobre el proceso de decaimiento, tanto por dañar el sistema radicular de la encina, principalmente sus raíces secundarias, que son muy superficiales, como por esparcir la tierra infectada. La eliminación del matorral debe realizarse con medios que remuevan la menor cantidad de tierra posible, incluyendo desbrozadoras de cadena o martillos cuando sea posible. La plantación debe hacerse con aperos poco profundos, si es posible, evitando el laboreo. Estas medidas son muy relevantes cuando se identifica un foco de la enfermedad y el diagnóstico de *P. cinnamomi* es positivo.

5. Desinfección de la maquinaria pesada.

En las zonas afectadas por decaimiento, el control del movimiento del suelo y del material vegetal es fundamental. El inóculo de *P. cinnamomi* está presente en las capas superficiales del suelo y muy probablemente en los restos y la materia orgánica del suelo. Por lo tanto, puede ser fácilmente transportado con la maquinaria pesada y sus aperos.

Por lo tanto, es obligatoria la desinfección de la maquinaria pesada después de las prácticas culturales. Esta desinfección puede realizarse fácilmente en condiciones normales, utilizando una

solución de hipoclorito de sodio al 5% (lejía común al 10%). Se puede preparar una mochila de fumigación con 1 litro de lejía y 9 litros de agua, y aplicarla sobre el tren de rodaje, las partes sucias y el apero tras finalizar el trabajo.

También se puede realizar la desinfección con sales de amonio cuaternario, añadiendo una cantidad aproximada de 250 mL en 10 L a la mochila de fumigación.

Cuando el suelo está muy húmedo, si la acumulación de barro es relevante en la maquinaria, se recomienda eliminar todo el barro posible antes de la desinfección.

Esto también es aplicable a cualquier vehículo que entre en la zona afectada. Cuando los vehículos abandonan las carreteras, la probabilidad de acumular tierra y escombros es mayor y, por tanto, su desinfección debe incluir las partes más sucias, así como las ruedas, por lo que el baño de neumáticos puede no ser suficiente.

6. Calidad del suelo

El suelo es fundamental en el estado de salud de los árboles. Los suelos pesados, con baja capacidad de intercambio catiónico, y los suelos muy deficientes en nutrientes se consideran factores de predisposición del decaimiento. Por lo tanto, se recomienda realizar un análisis del suelo en las zonas con síntomas de decaimiento.

La enmienda caliza no está recomendada en el caso del alcornocal, pero puede ser positiva en dehesas de encinar cuando la fertilidad del suelo es muy pobre. Los suelos ricos en caliza son menos propensos a la podredumbre radical, debido principalmente a su efecto sobre el estado sanitario del árbol. Cuando la fertilidad del suelo es demasiado baja o los suelos son deficientes, sería recomendable una enmienda caliza.

Si la dehesa se cultiva con regularidad, también se recomienda aplicar la rotación de cultivos con leguminosas. En este caso, hay que evitar el uso de altramuz (*Lupinus luteus* L). Este cultivo se ha utilizado tradicionalmente en dehesas por su valor nutritivo. Sin embargo, no se recomienda en dehesas con decaimiento, ya que puede actuar como reservorio de inóculo de *P. cinnamomi* (es un huésped no sintomático).

La enmienda con materia orgánica debe considerarse cuidadosamente y utilizarse en contadas ocasiones. *Phytophthora cinnamomi* puede sobrevivir como saprofito alimentándose de restos y restos de materia vegetal y orgánica en el suelo. Sin embargo, este patógeno se considera un mal competidor en condiciones saprofitas. Por lo tanto, un alto contenido de materia orgánica en el suelo puede tener un efecto positivo sobre el control del inóculo a través del aumento de la diversidad y abundancia microbiana, pero no es un medio recomendado para controlar el inóculo. Además, en suelos con concentraciones de materia orgánica muy baja, un aumento de su contenido podría incluso mejorar las condiciones para la supervivencia del patógeno.

7. Referencias

- Akilli Şimşek, S., Katircioğlu, Y.Z., Ulubaş Serçe, Ç., Çakar, D., Rigling, D., Maden, S., 2019. *Phytophthora* species associated with dieback of sweet chestnut in Western Turkey. For. Pathol. 49 (4), e12533.
- Aleandri, M. P., Chilosi, G., Bruni, N., Tomassini, A., Vettraino, A. M., & Vannini, A., 2015. Use of nursery potting mixes amended with local *Trichoderma* strains with multiple complementary mechanisms to control soil-borne diseases. Crop Prot., 67, 269-278.
- Aronson, J.; Pereira, J.S.; Pausas, J.G. 2009. *Cork Oak Woodlands on the Edge: Ecology, Adaptive Management, and Restoration*; Island Press: Washington, DC, USA.
- Aurangzeb, W., Guidoni, L., Rodríguez, C. M., Cecca, D., & Vannini, A. 2023. Exploring the diversity of *Phytophthora* spp. and the role of *Phytophthora multivora* in cork and holm oak coastal forests in Italy. Mycol Progress, 22(7), 51.
- Balci, Y.; Halmschlager, E. 2003. First report of *Phytophthora quercina* from oak forests in Austria. Plant Pathol., 52, 403.
- Brasier, C.M.; Robredo, F.; Ferraz, J.F.P. 1993. Evidence for *Phytophthora cinnamomi* involvement in Iberian oak decline. Plant Pathol., 42, 140–145
- Brasier, C.M., 1978. Stimulation of oospore formation in *Phytophthora* by antagonistic species of *Trichoderma* and its ecological implications. Annals of Applied Biol., 89(1), 135- 139.
- Camilo-Alves, C.S.P.; da Clara, M.I.E.; Ribeiro, N.A. 2013. Decline of Mediterranean oak trees and its association with *Phytophthora cinnamomi*: a review. Eur. J. For. Res., 132, 411–432.
- Cardillo, E., Acedo, A., Abad, E., 2018. Topographic effects on dispersal patterns of *Phytophthora cinnamomi* at a stand scale in a Spanish heathland. PLOS ONE 13, e0195060. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195060>
- Carrasco Gotarredona, Á., Fernández Cancio, Á., Trapero Casas, A., López Pantoja, G., Sánchez Osorio, I., Ruiz Navarro, J.M., Jiménez Molina, J.J., Domínguez Nevado, L., Romero Martín, M. de los Á., Carbonero Muñoz, M.D., Sánchez Hernández, M.E., Lucas Caetano, P.C., Gil Hernández, P., Fernández Rebollo, P., Navarro Cerrillo, R.M., Sánchez de la Cuesta, R., Raposo Llobet, R., Rodríguez Reviriego, S., 2009. Procesos de Decaimiento Forestal (Ia Seca): Situación del Conocimiento, 1ª edición. ed. Consejería de Medio Ambiente, Córdoba, España.
- Díaz Esteban, M., Pulido Díaz, F., 2009. 6310: “dehesas” perennifolias de *Quercus* spp, in: Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid.
- Gallego, F.J.; Perez de Algaba, A.; Fernandez-Escobar, R. 1999. Etiology of oak decline in Spain. Eur. J. For. Pathol., 29, 17–27.
- Gómez-Aparicio, L.; Ibáñez, B.; Serrano, M.S.; De Vita, P.; Ávila, J.M.; Perez-Ramos, I.M.; Garcia, L.V.; Sanchez, M.E.; Maranon, T. 2012. Spatial patterns of soil pathogens in declining Mediterranean forests: implications for tree species regeneration. New Phyt., 194, 1014– 1024.
- Hernández-Lambrano, R.E., González-Moreno, P., Sánchez-Agudo, J.Á., 2018. Environmental factors associated with the spatial distribution of invasive plant pathogens in the Iberian Peninsula: The case of *Phytophthora cinnamomi* Rands. Forest Ecology and Management 419–420, 101–

109. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.03.026>

- Jönsson, U., Lundberg, L., Sonesson, K., Jung, T . 2003. First records of soilborne *Phytophthora* species in Swedish oak forests. *Forest Pathol.*, 33(3), 175-179.
- Jung, T., Blaschke, H., Neumann, P. 1996. Isolation, identification and pathogenicity of *Phytophthora* species from declining oak stands. *Eur. J. Plant Pathol.* 26(5), 253-272.
- Martins, L., Castro, J., Macedo, W., Marques, C., Abreu, C., 2007. Assessment of the spread of chestnut ink disease using remote sensing and geostatistical methods. *Eur. J. Plant Pathol.* 119 (2), 159–164.
- Martins, L., Oliveira, M., Abreu, C., 1998. Soils and climatic characteristic of chestnut stands that differ on the presence of the ink disease. In: II International Symposium on Chestnut, p. 494.
- Moricca, S.; Linaldeddu, B.T.; Ginetti, B.; Scanu, B.; Franceschini, A.; Ragazzi, A. 2016. Endemic and emerging pathogens threatening cork oak trees: Management options for conserving a unique forest ecosystem. *Plant Dis.*, 100, 2184–2193.
- Moreira, A.C., Martins, J.M.S. 2005. Influence of site factors on the impact of *Phytophthora cinnamomi* in cork oak stands in Portugal. *Forest Pathol.* 35(3), 145-162.
- Pratt, B.H., Sedgley, J.H., Heater, W.A., Shepherd, C.J., 1972. Oospore Production in *Phytophthora Cinnamomi* in the Presence of *Trichoderma Koningii*. *Australian Journal of Biological Sciences*, 25(4), 861-864. <https://doi.org/10.1071/BI9720861>
- Robin, C., Desprez-Loustau, M. L., Capron, G., Delatour, C. 1998. First record of *Phytophthora cinnamomi* on cork and holm oaks in France and evidence of pathogenicity. In *Annales des sciences forestières* (Vol. 55, No. 8, pp. 869-883). EDP Sciences.
- Rodá, F., Vayreda, J., Ninyerola, M., 2009. 9340: Encinares de *Quercus ilex* y *Quercus rotundifolia*, in: Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid.
- Ruiz-Gómez, F.J., Pérez-de-Luque, A., Navarro-Cerrillo, R.M., 2019. The Involvement of *Phytophthora* Root Rot and Drought Stress in Holm Oak Decline: from Ecophysiology to Microbiome Influence. *Curr Forestry Rep* 5, 251–266. <https://doi.org/10.1007/s40725-019-00105-3>
- Ruiz-Gómez, F.J.; Miguel-Rojas, C., 2021. Antagonistic Potential of Native *Trichoderma* spp. against *Phytophthora cinnamomi* in the Control of Holm Oak Decline in “dehesas” Ecosystems. *Forests*, 12(7), 945. <https://doi.org/10.3390/f12070945>.
- Sánchez-Cuesta, R., González-Moreno, P., Cortés-Márquez, A., Navarro-Cerrillo, R.M., Ruiz-Gómez, F.J., 2022. Soil distribution of *Phytophthora cinnamomi* inoculum in oak afforestation depends on site characteristics rather than host availability. *New Forests*. <https://doi.org/10.1007/s11056-022-09951-9>
- Sánchez-Cuesta, R., Ruiz-Gómez, F.J., Duque-Lazo, J., González-Moreno, P., Navarro-Cerrillo, R.M., 2021. The environmental drivers influencing spatio-temporal dynamics of oak defoliation and mortality in “dehesas” of Southern Spain. *Forest Ecology and Management* 485, 118946. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.118946>

- Scanu, B., Linaldeddu, B.T., Franceschini, A., Anselmi, N., Vannini, A., Vettraino, A.M. 2013. Occurrence of *Phytophthora cinnamomi* in cork oak forests in Italy. *Forest Pathol.* 43:340- 343.
- Seddaiu, S., Brandano, A., Ruiu, P.A., Sechi, C., Scanu, B., 2020. An overview of *Phytophthora* species inhabiting declining *Quercus suber* stands in Sardinia (Italy). *Forests* 11, 971.
- Senado, 2010. Ponencia de Estudio sobre la protección del ecosistema de la dehesa. (Boletín Oficial de las Cortes Generales, IX Legislatura, nº 8 No. 543/000009). Senado.
- Sharma, A. K., & Sharma, P. (2020). *Trichoderma*. Springer Singapore.
- Vannini, A., and Morales-Rodriguez, C. "Phytophthora diseases." *Forest Microbiology*. Academic Press, 2022. 379-402.
- Vannini, A., Natili, G., Anselmi, N., Montagni, A. and Vettraino, A. M. 2010. Distribution and gradient analysis of Ink disease in chestnut forests. *Forest Pathol.* 40(2), 73–86. doi:10.1111/j.1439-0329.2009.00609.x.
- Vinale, F., Sivasithamparam, K., Ghisalberti, E. L., Marra, R., Woo, S. L., & Lorito, M. (2008). *Trichoderma*–plant–pathogen interactions. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(1), 1-10.