



Protocolo de manejo integrado para la tinta del castaño

Parte del informe D4.1 del paquete de trabajo 4

Aplicación a gran escala de nuevos protocolos MIP personalizados

Autores:	
Carmen Morales Rodriguez	Università degli Studi della Tuscia
Andrea Vannini	Università degli Studi della Tuscia
Romina Caccia	Municipios de Canepina y Vallerano

Acrónimo 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	
<p>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.</p>		

Tabla de contenidos

1. Resumen	3
2. Introducción	3
3. Enfermedad de la tinta del castaño	4
4. Productos ecológicos aplicables en el manejo integral de plagas y enfermedades.....	6
4.1. Productos: formulación y dosis	7
4.1.1 Reducción y control de los niveles de inóculo del oomiceto	7
4.1.2. Mejora de la salud de los árboles gracias al microbioma del suelo	9
4.1.3. Inductores de resistencia.....	12
4.2. Periodo de aplicación y calendario de tratamientos	13
5. Medidas de higiene.....	14
5.1. Señalización	16
6. Buenas prácticas	17
7. Bibliografía	18

1. Resumen

El decaimiento forestal es un reto importante para la gestión de los ecosistemas. Los patógenos forestales invasores exóticos y sus efectos, exacerbados por el Cambio Climático, suponen una gran amenaza para la sostenibilidad socioeconómica y ecológica de las especies de robles y castaños mediterráneos. Uno de los principales objetivos del proyecto Life FAGESOS es desarrollar protocolos de Gestión Integrada 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 provocado por *Phytophthora cinnamomi* en las plantas de castaño. Este documento incluye el primer protocolo de manejo integrado de plagas (MIP) para ecosistemas de castaño 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 de higiene y control, y esquemas generales de la gestión de los lugares de degradación.

2. Introducción

El manejo integrado de plagas (MIP) 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 seguimiento, detección precoz, uso de agentes de biocontrol, microorganismos promotores del crecimiento vegetal, manipulación del hábitat, modificación de las prácticas culturales y uso de germoplasma resistente. 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 de 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, el MIP pretende crear condiciones ambientales desfavorables para los organismos patógenos, reforzando también la capacidad de reacción de la planta o población huésped mediante el aumento de su resiliencia.

Los programas de MIP 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.

I) Control biológico

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

II) Prácticas culturales

Las prácticas culturales son acciones que reducen el establecimiento, la reproducción, la dispersión y la supervivencia de la plaga. Por ejemplo, aplicar medidas higiénicas a la maquinaria, los vehículos y el

personal para reducir la dispersión del patógeno, reduciendo la intensidad de la explotación, o aplicar un tratamiento de fertilización del suelo para aumentar la vitalidad de la planta.

III) Control físico y mecánico

Los controles mecánicos y físicos tienen como objetivo controlar la plaga matando, bloqueando, o haciendo que el entorno sea inadecuado para el patógeno. Las trampas para roedores son ejemplos de control mecánico. Los controles físicos incluyen mantillos para la gestión de las malas hierbas, la esterilización por vapor del suelo 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 el MIP, los plaguicidas se utilizan sólo cuando son necesarios, y siempre 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 MIP, 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. Enfermedad de la tinta del castaño

La enfermedad de la tinta es una enfermedad letal que afecta al género *Castanea* en Europa y el sur de EE.UU. Provoca la pudrición del cuello y de las raíces en árboles adultos y plántulas en viveros, plantaciones y sistemas forestales. Los síntomas de la enfermedad en árboles adultos incluyen hojas cloróticas de tamaño reducido, adelgazamiento de la copa, y erizos inmaduros que permanecen en el árbol tras la caída de las hojas (Vannini y Morales-Rodríguez 2022).

La aparición de estos síntomas corresponde a una fase avanzada de la enfermedad cuando la mayor parte del sistema radicular ya está comprometido (Vannini y Morales-Rodríguez, 2019) (Figura 1).



Figura 1. Árbol muerto de forma súbita con hojas marrones aún en el árbol (A). Decaimiento de la copa (B). Enfermedad de la tinta del castaño: mortalidad de los árboles y degradación del ecosistema de un bosque de castaños (*Castanea sativa*) en Italia (C).

Junto con el menos agresivo *P. xambivora*, *P. cinnamomi* es el causante de la enfermedad de la tinta del castaño en Europa en *Castanea sativa*, y el principal impulsor de la enfermedad en el sur de EE.UU. en *C. dentata* y *C. pumila* (chinquapín americano). Al igual que para otras especies de *Phytophthora* transmitidas por el suelo, las raíces finas son las primeras infectadas, desde donde el patógeno inicia la colonización de las raíces gruesas y grandes. La necrosis oscura en forma de llama es evidente en el cuello del árbol después del descortezado. En los árboles jóvenes con corteza lisa, la necrosis es visible sin descortezar, como zonas deprimidas y ligeramente agrietadas en la base del tallo. La necrosis de las raíces grandes induce la producción de exudados negros que manchan el suelo circundante, sobre todo durante la primavera y el otoño, lo que da nombre a la enfermedad. La mortalidad se produce en 1-5 años, dependiendo de la edad y el tamaño de los árboles, y de la especie de *Phytophthora* implicada. De hecho, *P. cinnamomi* es más agresivo para el castaño que *P. xambivora* (Akilli Şimşek et al., 2019). Las plántulas infectadas en viveros o plantaciones sufren un marchitamiento rápido o gradual de las hojas. En el sistema radicular, se produce una necrosis extensa de la raíz pivotante, que se extiende a las raíces laterales y asciende por el tallo durante algunos centímetros. *P. cinnamomi* es el principal causante de la enfermedad en zonas con inviernos suaves, mientras que *P. xambivora* domina allí donde la temperatura mínima media en invierno es inferior a 5°C. Sin embargo, los efectos del cambio climático están modificando drásticamente la distribución de las dos especies, y *P. cinnamomi* está invadiendo gradualmente las zonas de castaños antes dominadas por la menos agresiva *P. xambivora*.

La epidemiología de la enfermedad está estrictamente asociada a las condiciones climáticas y edáficas, la heterogeneidad del paisaje y a las actividades humanas. Las zonas de castaños con precipitaciones medias anuales superiores a 1.000 mm y sequías estivales limitadas son especialmente vulnerables a la enfermedad de la tinta. Los suelos poco aireados y la intensa actividad humana también son factores que predisponen (Martins et al., 1998, 2007). Se demostró una mayor presencia de la enfermedad asociada a la densidad de vías naturales de drenaje y redes de carreteras y pistas forestales.

El manejo integrado de la tinta del castaño es difícil y debe tener en cuenta diversas variables y factores asociados a su propagación, incidencia y gravedad. 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 y las carreteras, ofrecen corredores preferentes de propagación y dispersión de *Phytophthora*. Otras variables son los factores climáticos que influyen en la prevalencia de una de las dos especies de *Phytophthora* sobre la otra, 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 por ello menos importante, la calidad y el nivel de vigilancia del territorio podrían alterar la eficacia de la aplicación de las medidas de control (Vannini y Morales-Rodríguez, 2019).

4. Productos ecológicos y sostenibles aplicables en el manejo integral de plagas y enfermedades

En lugar de una reacción instintiva a un problema específico, la gestión "holística" de plagas es una serie de procesos interrelacionados que se incorporan a todo el espectro de la estrategia del MIP. 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. "Holístico", entonces, es un enfoque que mira 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, para prevenir los problemas y gestionarlos adecuadamente si surgen.

La estrategia del MIP 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 2).

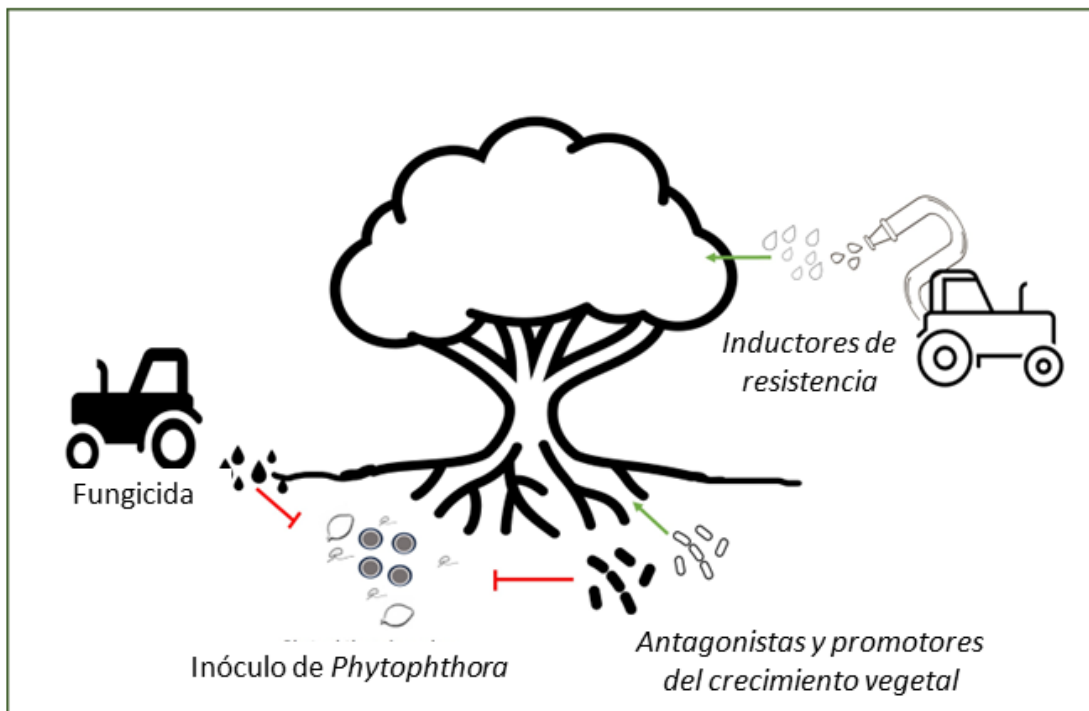


Figura 2. Enfoque holístico del tratamiento para mitigar el impacto de *P. cinnamomi*.

4.1. Productos: formulación y dosis

4.1.1 Reducción y control de los niveles de inóculo del oomiceto

Las plantas Brassica contienen altas concentraciones de glucosinolatos (GSL) en tipos celulares específicos que forman parte de los sistemas de defensa naturales de estas plantas (Koroleva et al. 2010). Estas moléculas son un sustrato para enzimas hidrolíticas (mirosinas), almacenadas en vacuolas o células mirosinas específicas de las plantas Brassicaceae. Tras la ruptura del tejido, las GSL entran en contacto con las mirosinas y se hidrolizan a isotiocianatos (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).

Biofence FL (Nutrien Italia)

En su forma comercial, BioFence se produce a partir de Brassica carinata selección ISCI7 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-Rodriguez 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. Se puede combinar y aplicar como empapador del suelo. Se ha comparado la eficacia de ambas formulaciones en plantas de castaño en ensayos con mesocosmos, siendo la formulación líquida la que ha obtenido mejores resultados en la mitigación de la enfermedad.

Composición:

Producto Biofence FL de 2 componentes, que incluye una formulación líquida y una harina derivada de pellets de especies seleccionadas de Brassicaceae. El envase incluye una bolsa filtrante para facilitar el proceso de infusión.

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%



Figura 3. Biofence FL. 10 litros + 5 KG formato harina.

Preparación (Figura 4):

1) Diluir en agua utilizando un recipiente adecuado y agitar la fórmula para mezclar bien los componentes.

Aproximadamente 4 litros de agua por cada litro de formulación líquida.

2) Verter la harina necesaria para el tratamiento en un filtro especial y después sumergir en el recipiente de la solución anterior.

0.9 kg de harina por cada unidad (4 litros de agua + 1 litro de formulación líquida). Para todo el envase comercial (5 kg de harina granulada y 10 litros de formulación líquida) será necesario utilizar 22 litros de agua. Preparar en un recipiente de 50 litros.

3) Dejar infundir la harina durante al menos una hora y no más de 4/5 horas. Durante este tiempo, agite el filtro con regularidad para que toda la harina entre en contacto con la solución líquida.

4) Una vez transcurrido el tiempo mínimo de infusión, levante el filtro del compuesto líquido y manténgalo suspendido para poder apretarlo y permitir así que el isotiocianato salga y se integre en la solución.

5) Enjuague el filtro en otro recipiente con agua limpia. Agite el filtro para que se disuelva la máxima cantidad de producto en el agua. A continuación, apriete el filtro e incorpore el agua a la infusión.

Enjuagar en un recipiente de 10 litros.

6) La solución obtenida debe llevarse al volumen necesario para poder distribuirla con la regadera, asegurándose de rociar especialmente la base de las plantas bajo la zona de proyección de la copa del árbol.

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.



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



Figura 4. 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:

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

4.1.2. 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 vegetal.

Trichoderma es un género con un gran potencial en el control biológico y la aplicación del MIP. *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).

Bactrium (Atens)

Bactrium® (Fig. 5) 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 (fosfatasas ácidas y fitasas).

Composición:

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



Figura 5. Bactrium, Atens®

Tricoten® (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 6. Tricoten, Atens®

Modo de aplicación y dosis:

- Dosis de Bactrium: 2L / ha
- Dosis de Tricoten: 4 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 30 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.

4.1.3. 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.

Century® Pro (BASF)

Century® Pro es un fungicida polivalente a base de fosfonato potásico, autorizado regularmente como agroquímico. Es un fungicida sistémico que penetra rápidamente en la vegetación tratada y se transloca de forma ascendente y descendente, resistiendo el lavado; por tanto, actúa incluso en condiciones difíciles y representa una garantía adicional de eficacia para el agricultor.

Es un auténtico inductor de resistencia: las plantas tratadas están protegidas desde el interior gracias a la capacidad de la sustancia activa para estimular los mecanismos naturales de autodefensa de la planta. Además, Century® Pro también ejerce una acción directa contra los patógenos. Este modo de acción “multisitio” hace que el producto sea adecuado para la construcción de estrategias de defensa destinadas a prevenir los fenómenos de resistencia a los fungicidas.

La autorización de Century® Pro como agroquímico, además de hacerlo conforme a la normativa vigente, garantiza un contenido conocido y constante de la sustancia activa y de los coformulantes. Esto implica la ausencia de impurezas y una mejor gestión de los residuos. La alta calidad de la formulación hace que sea fácil de usar y mezclar.

Composición:

100 g de producto contienen: Fosfato potásico puro 51,7 g (= 755 g/L) correspondiente a 504 g/L de ácido fosfónico/fosforoso equivalente. Coformulantes q. b. a 100 g.

INDICACIONES DE PELIGRO

EUH401 Para evitar riesgos para la salud humana y el medio ambiente, siga las instrucciones de uso.



Figura 7. Century SL®, BASF.

Modo de aplicación y dosis:

Para controlar la enfermedad de la tinta del castaño, tratar a una dosis de 4,0 l/ha mediante tratamiento foliar antes de la floración.

Kalex Evo (Alba Milagro)

Como alternativa al Century® Pro en el caso de la agricultura ecológica. KALEX EVO es un abono capaz de nutrir y fortificar los cultivos, suplir y prevenir las microcarencias y nutrirlos de la forma más equilibrada, puede mantenerlos sanos y resistentes. 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 8. Kalex EVO®, Milagro International S.p.A.

Modo de aplicación y dosis:

Para controlar la enfermedad de la tinta del castaño, tratar con una dosis de 2 l/ha mediante tratamiento foliar antes de la floración. Realizar un segundo tratamiento a los 20 días, evitando siempre el periodo de floración.

4.2. Periodo de aplicación y calendario de tratamientos

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII

Biofence FL

Bactrium+Tricoten

Centrury Pro/Kalex evo

5. Medidas de higiene

Las medidas de higiene 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, 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). Por ello, las medidas higiénicas son una parte fundamental de la estrategia de MIP.

Vannini *et al.* (2010) sugirieron las siguientes precauciones y prácticas higiénicas: (1) la restricción del tránsito de personas, animales y maquinaria en las zonas infectadas (focos) y a lo largo de las carreteras y caminos que atraviesan o bordean los sotos 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 a la salida 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.

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. La última medida es costosa y no es fácil de aplicar en grandes focos de infección.



Figura 9. Estaciones de limpieza de calzado (A). Kits de limpieza móviles (B). Líquido desinfectante (Blu, grupo químico Arco)(C). Estaciones de limpieza de vehículos (D).

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

Dentro del proyecto FAGESOS se implementarán y mantendrán las siguientes medidas higiénicas en la zona demostrativa de Canepina y Vallerano:

I) Kits móviles de limpieza: Kits de limpieza fáciles de usar que incluyen un spray desinfectante y un cepillo para desinfectar botas y otros utensilios. Útiles para aquellas personas (senderistas, trabajadores, cultivadores, técnicos forestales) que puedan interactuar frecuente o necesariamente con zonas infectadas (Figura 9. B).

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 9. A).

III) Las estaciones de limpieza de vehículos son una importante medida de higiene preventiva. Se colocarán estereras desinfectantes (*Fosse Ltd*) a la entrada y salida de las carreteras que atraviesen o bordeen zonas infectadas, para contrastar el movimiento pasivo del inóculo. Las alfombras se llenarán con una solución desinfectante (*Blue*, grupo químico Arco®) que no se escurrirá salvo cuando pasen vehículos por encima. Irán acompañadas de carteles de señalización especialmente diseñados y llamativos. Estos carteles 1) detallarán los pasos necesarios para limpiar de inóculo los vehículos y, sobre todo, 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, empaquetados en una llamada a la acción significativa (Figura 9. D).

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, tanto para el suelo como para 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 probados, y considerando también su composición, precio y disponibilidad en Italia, el producto elegido para incluir en las acciones demostrativas de FAGESOS es Blu (grupo químico Arco) (Fig. 9.C).

Composición:

Sales de amonio cuaternario

pH: 9,50+/-0,50 Densidad: 1,000+/-0,025 Kg/L

Modo de aplicación y dosis:

El producto se utiliza diluyéndolo en agua en una proporción de 1/200. De esta forma, un envase de 1l es suficiente para un total de 200 litros de líquido desinfectante. Puede utilizarse para rellenar las

alfombrillas de las estaciones de limpieza o para rellenar los pulverizadores de las estaciones de limpieza de botas.

5.1. Señalización

Las medidas de higiene estarán acompañadas de señales llamativas y específicamente diseñadas (Figura 11). Estas señales 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 el daño causado por este patógeno en términos generalmente comprensibles, presentados en un llamado a la acción significativo.
- Advertencia sobre la presencia de baños de neumáticos y la velocidad recomendada a la que se deben utilizar.
- Indicar la zona en la que se realizarán los tratamientos.



Figura 10. Señalización de medidas de higiene y concientización ciudadana, incluidas en los protocolos de MIP. Ejemplo de señalización para sistemas de encinar.

6. Buenas prácticas

Se enumeran una serie de medidas que pueden aplicarse para la gestión de los castaños tradicionales, en relación con los distintos aspectos del cultivo y el mantenimiento del castaño.

1. Mantener la gestión de los castaños. Los castaños tradicionales deben considerarse, en cierto modo, como cualquier otra plantación frutal. Esto es especialmente cierto en un escenario de cambios globales, donde la falta de una gestión adecuada puede conducir a un declive irreversible y a la muerte. Además, los huertos abandonados o descuidados representan un huésped potencial para plagas y enfermedades que pueden suponer una preocupación importante para las propiedades vecinas. Por otra parte, los huertos tradicionales de castaños proporcionan una serie de servicios ecosistémicos muy importantes para la conservación del suelo, el agua, la calidad del aire, la biodiversidad y los productos primarios y secundarios.

2. Vigile periódicamente el estado sanitario de los árboles y contacte rápidamente, si es necesario, con forestales y agrónomos especializados para su diagnóstico y tratamiento adecuado. Tenga en cuenta que la detección precoz aumenta en gran medida la eficacia de las medidas de prevención y control y reduce sensiblemente los costes.

3. Cuando sea estrictamente necesario, los castaños tradicionales deben recibir **tratamientos fitosanitarios** para prevenir y mitigar eficazmente el impacto de plagas y enfermedades. **Seleccionar siempre moléculas ecológicas eficientes contra la plaga o enfermedad objetivo pero sin impacto en el bioma no objetivo.** Actualmente se dispone de protocolos de tratamiento de impacto cero para contrarrestar los principales problemas fitosanitarios de los castaños (véase más arriba). La aplicación de estos protocolos requiere conocimientos específicos y el apoyo de agrónomos expertos en el sector.

4. Realice podas periódicas de mantenimiento (cada 2-3 años). 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. Por ello, debe ser realizada por arboricultores expertos con la adecuada higiene y desinfección de herramientas. Una poda incorrecta o unas prácticas artesanales debilitarían los árboles incitando al proceso de decaimiento.

5. No retire los restos de poda hasta junio, reservándolos en el castaño. Desde el año 2000, las zonas de castaños europeos sufrieron una invasión dramática por parte de la avispa china *Dryocosmus kuriphilus*. La invasión y su impacto se detuvieron tras la liberación del antagonista específico *Torymus sinensis*. Sin embargo, esta avispa no puede erradicarse y debe mantenerse bajo control favoreciendo la actividad del antagonista. Para ello, es necesario dejar sobre el terreno el residuo de las actividades de poda con agallas colonizadas por el antagonista (al menos hasta junio), para permitir que los adultos de *T. sinensis* salgan volando de las agallas del año anterior, inicien su ciclo en las nuevas agallas, y contrarresten la infestación de *Dryocosmus kuriphilus*.

6. Abonos orgánicos. Una nutrición adecuada desempeña un papel fundamental, garantizando la calidad y la cantidad de la producción. Además, no cabe duda de que una planta sana y bien nutrida puede contrarrestar más eficazmente el impacto de los factores de estrés bióticos y abióticos, adquiriendo capacidad de recuperación. Por lo tanto, es importante abonar el castaño anualmente,

prefiriendo estiércol, abono verde, o mezcla orgánica, con una fracción mineral desequilibrada hacia el nitrógeno en los primeros 2-3 años en castañares abandonados, y, seguido de una fertilización estándar rica en fósforo (y potasio, dependiendo del tipo de suelo).

7. El injerto con variedades productivas representa una práctica importante en los castañares tradicionales. Esta práctica se realiza sobre tocones viejos o en la sustitución de árboles muertos. Los injertos son muy susceptibles al hongo del chancro del castaño, que representa la principal causa de fracaso del propio injerto. La recomendación es evitar los tipos de injerto realizados con púas latentes, como los injertos de látigo y lengua, o los de hendidura. Estos injertos se realizan en febrero, cuando el inóculo del hongo del chancro del castaño aún está latente. Los injertos de corteza se realizan a finales de primavera, cuando las temperaturas son más altas y el inóculo del hongo del chancro del castaño ya se ha dispersado y puede infectar fácilmente los tejidos heridos.

8. Recolectar el producto con prontitud, diariamente. La permanencia de los frutos en el suelo aumenta exponencialmente el riesgo de podredumbre y facilita la fase de pupa de insectos nocivos como el gorgojo del castaño.

9. En zonas con alta incidencia de podredumbre del fruto, es importante recoger y quemar los residuos tras la recolección, ya que estos patógenos pasan el invierno en estos materiales.

10. Realizar un correcto tratamiento postcosecha. Los tratamientos postcosecha más eficaces son los tanques de flotación, para eliminar la fruta afectada por insectos, y el tratamiento térmico en agua (esterilización) a 50°C durante 45 minutos.

11. Fomentar la presencia de especies del género *Quercus* en el castañar y en los bosquetes de castaños, debido a la presencia de parasitoides autóctonos de la avispa *Dryocosmus kuriphilus*. Por lo tanto, también debe fomentarse la presencia de estas especies en el castañar.

12. Considerar el castañar no sólo desde el punto de vista de la producción de castaña, sino también de la multifuncionalidad: los territorios del castaño representan una firma paisajística inconfundible, son ricos en historia, tradición, cultura, y de gran belleza. Por lo tanto, deben fomentarse las iniciativas para valorizar y tipificar el fruto e integrarlo en las políticas de desarrollo turístico, gastronómico y cultural de la zona.

7. Bibliografía

- 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., Vettraiño, 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 Protection*, 67, 269-278.
- Brasier, C.M., 1978. Stimulation of oospore formation in *Phytophthora* by antagonistic species of *Trichoderma* and its ecological implications. *Annals of Applied Biology*, 89(1), 135-139.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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., Montaghi, A. and Vettraiño, A. M. 2010. Distribution and gradient analysis of Ink disease in chestnut forests. *Forest Pathol.* 40(2), 73–86.
- 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.