

**ANEXO A.1. IX:
TRATAMIENTOS DE ENCINAS Y
ALCORNOCOS CONTRA LA
PODREDUMBRE RADICAL
CAUSADA POR
PHYTOPHTHORA CINNAMOMI
MEDIANTE INYECCIONES AL
TRONCO**

Diciembre 2014

María Esperanza Sánchez¹, José María Vega² y Juana Isabel Páez²

¹Patología Agroforestal, Departamento de Agronomía, ETSIAM, Universidad de Córdoba

²Laboratorio de Producción y Sanidad Vegetal, Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente, Junta de Andalucía

INTRODUCCIÓN

Los tratamientos fitosanitarios contra oomicetos se aplican con carácter **preventivo** en especies forestales que crecen en áreas con alto riesgo de infección por *Phytophthora* spp. o, con carácter **curativo**, en árboles ya infectados que se encuentren en los primeros estados de desarrollo de la enfermedad.

Los compuestos anti-oomicetos comúnmente utilizados en el medio forestal son productos **sistémicos** de bajo peso molecular, generalmente sales inorgánicas del ácido fosforoso, capaces de traslocarse por el xilema (movimiento acrópeto) y el **floema** (movimiento basipeto). Aplicados a las dosis recomendadas por el fabricante no son fitotóxicos, resultan activos a bajas concentraciones y no generan residuos. Actúan fundamentalmente como **activadores de resistencia** (resistencia sistémica adquirida) (Daniel et al., 2005; Daniel y Guest, 2005), mediante la inducción de cambios fisiológicos en la planta (Bompeix et al., 1980) tales como el incremento en la síntesis de fitoalexinas y de la respuesta hipersensible del árbol tratado, de forma que son capaces de impedir la infección y/o la colonización de sus tejidos susceptibles mediante la estimulación de los mecanismos de defensa naturales que, en ausencia de tratamiento, permanecen inactivos frente al ataque de estos patógenos. Actúan también estimulando la deposición de suberina y/o lignina en el xilema y promoviendo la regeneración del xilema y el floema dañados por el patógeno (Smith et al., 1997).

En muchos casos estos tratamientos anti-oomicetos **no tienen carácter fungicida**, en cuanto que no resultan tóxicos para el patógeno a combatir (Le Roux et al., 1991), pero sí carácter **fitoactivador**, ya que su función es actuar como molécula-sígnal capaz de activar los mecanismos naturales de defensa de los árboles frente a la infección (Bompeix et al., 1980).

Si bien en cultivos leñosos (frutales) este tipo de tratamientos se pueden aplicar mediante riego o pulverización (El-Hamalawi et al., 1995; Deliopoulos et al., 2010), en el medio forestal estos métodos de aplicación resultan difíciles de llevar a cabo, debido fundamentalmente a la orografía comúnmente escarpada de las zonas forestales, lo que dificulta su aplicación por riego, y a la baja capacidad de absorción foliar de las especies arbóreas, lo que hace poco efectiva su aplicación aérea. Además, el carácter natural o seminatural (dehesas) de los ecosistemas forestales desaconsejan estos tipos de aplicación, ya que podrían dar lugar a largo plazo a un indeseable acúmulo del producto en el

suelo forestal y/o en las corrientes de agua. Por estos motivos, la forma más común para la aplicación de estos fitoactivadores en el medio forestal es la inyección al tronco, que asegura que todo el producto aplicado ejercerá su función en el árbol y evita el riesgo de que pueda traslocarse al resto del ecosistema.

CUÁNDO Y CÓMO DEBEN APLICARSE LOS PRODUCTOS ANTI-OOMICETOS

Como ya se ha comentado, los tratamientos deben aplicarse con carácter **preventivo** en especies forestales que crecen en áreas con alto riesgo de infección por *Phytophthora*. Esto implica que el patógeno haya sido previamente detectado en la misma finca o en fincas cercanas. Para la optimización de los tratamientos no basta con la observación de los síntomas asociados a la enfermedad (amarillez y marchitez foliar, defoliación y puntisechado de ramas), sino que además es imprescindible **el aislamiento e identificación del patógeno** a partir de muestras de raíz o suelo de la rizosfera de los árboles sintomáticos para un correcto diagnóstico de la enfermedad a combatir. Este diagnóstico pasa por el análisis de las muestras en un laboratorio de Sanidad Vegetal solvente.

Es importante insistir en que los tratamientos tienen un carácter fundamentalmente preventivo, por lo que se aplican a **árboles asintomáticos** en riesgo de infección, y que sólo presentan actividad terapéutica (curativa), en árboles ya infectados que se encuentren en los primeros estados de desarrollo de la enfermedad. **Cuando los árboles ya infectados muestran síntomas severos de la enfermedad (defoliación media-alta) estos tratamientos no son efectivos** (Gentile et al., 2009).

Por lo tanto, los árboles a tratar deben estar asintomáticos (clase de defoliación 0: con un 0 a un 10% de la copa amarilla, marchita o defoliada) o mostrar síntomas moderados (clase de defoliación 1, del 11 al 25% de copa amarilla, marchita o defoliada), en los cuales cabe esperar un efecto terapéutico.

Una vez localizado el **foco** de infección, compuesto por árboles adyacentes muertos o severamente defoliados (clase de defoliación superior a 1, esto es, con más del 25% de la copa amarilla, marchita o defoliada), se delimitará su perímetro, incluyendo a los árboles que eventualmente muestren defoliaciones menores al 25% pero que se sitúen dentro del perímetro del foco, y se tratarán los árboles extraperimetales (asintomáticos o con síntomas menores al 25% de la copa) hasta **al menos** cubrir un perímetro de tratamiento que contenga dos filas de árboles asintomáticos externos al foco (Figura 1a y 1b). El número de árboles externos al foco que se traten se puede aumentar hasta alcanzar el número total de árboles asintomáticos o con síntomas leves de la finca afectada, dependiendo del grado de protección que se desee proporcionar y del importe económico que se vaya a invertir.

El tratamiento debe realizarse prioritariamente a principios del otoño o, si no es posible, en primavera, pero **SIEMPRE** tras un período de lluvias que proporcionen humedad al suelo, de forma que en el momento de la aplicación del tratamiento los árboles no estén sufriendo estrés hídrico. Se ha demostrado que la sequía y las altas temperaturas afectan negativamente a la absorción y translocación de la materia activa, que se transloca bien a la raíz a finales del invierno-principios de primavera, pero no lo hace en los veranos secos típicos del clima mediterráneo (Shearer y Crane, 2009). Por lo tanto, los tratamientos otoñales deben efectuarse **antes** de que las temperaturas máximas sean bajas (por debajo de 20°C) y los primaverales **antes** de que las temperaturas máximas sean altas (por encima de 25°C) y siempre en ausencia de sequía estacional. De esta forma se asegurará una buena absorción y translocación del producto.

Todas las variables climáticas que pueden influir en la tasa de transpiración del árbol influyen a su vez en la tasa de absorción. Por este motivo, los tratamientos se deben realizar en días soleados y a las horas centrales del día (Gentile et al., 2009).

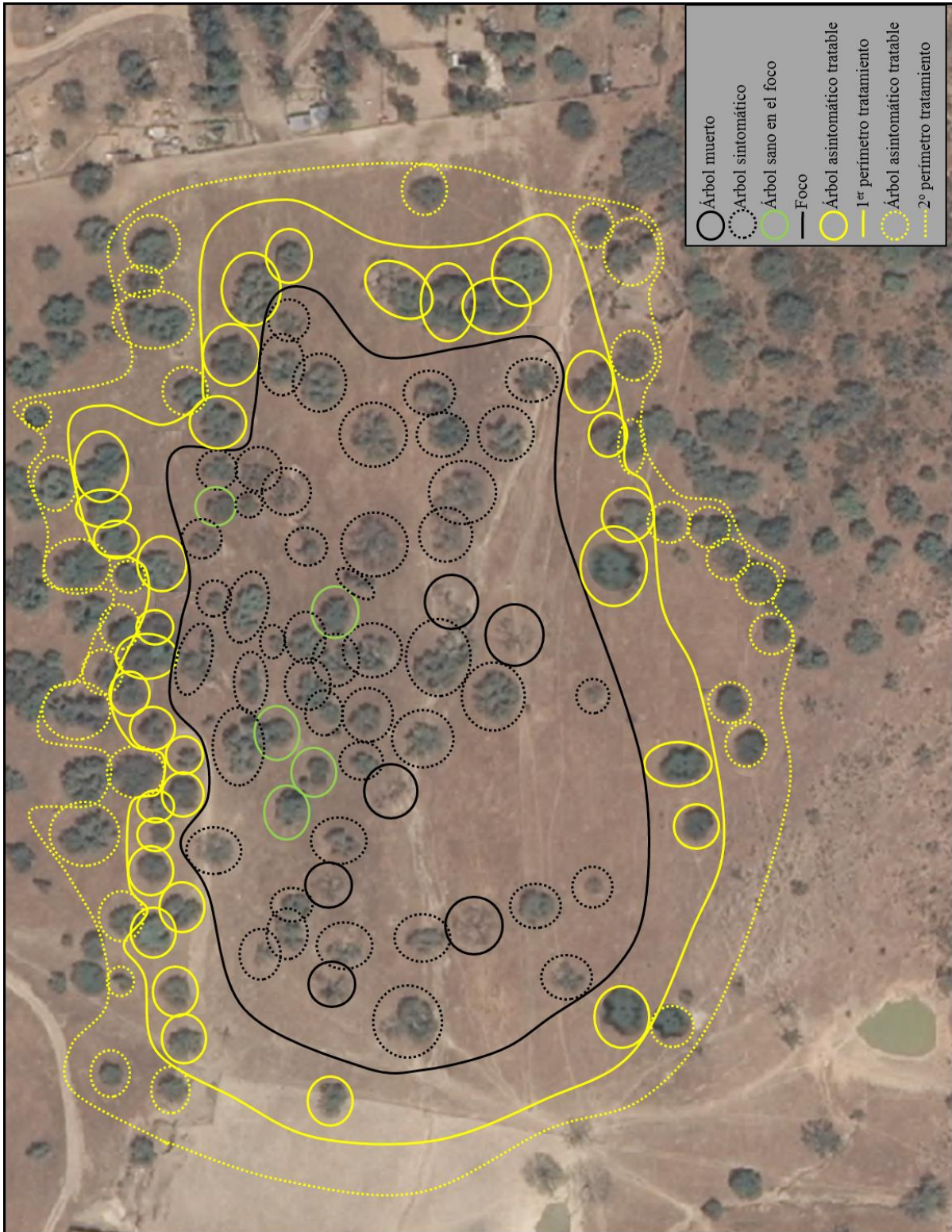


Figura 1a. Delimitación de un gran foco de enfermedad causada por *P. cinnamomi* y trazado de la zona mínima de árboles asintomáticos a tratar por inyección al tronco para el control de la enfermedad

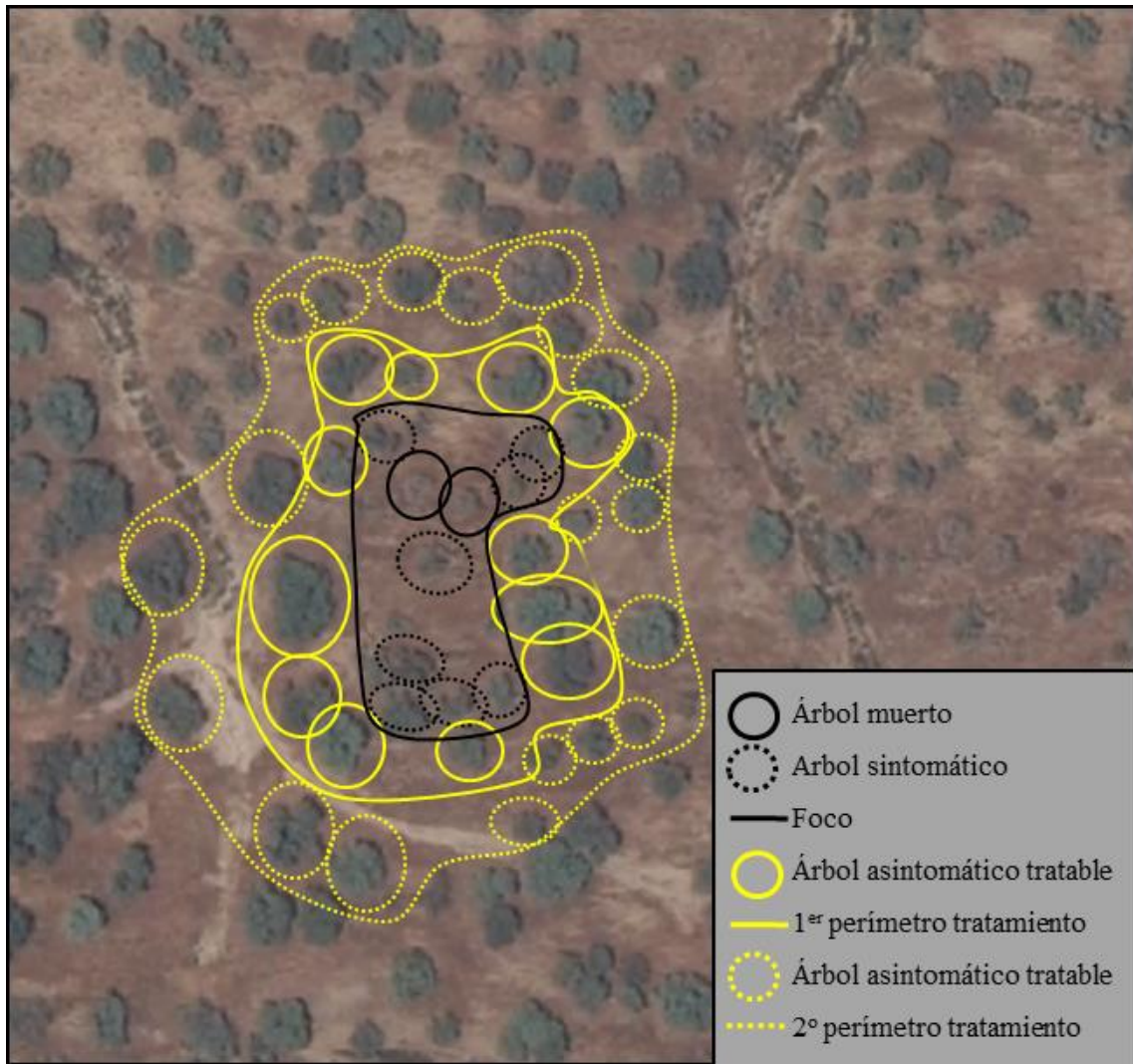


Figura 1b. Delimitación de un pequeño foco de enfermedad causada por *P. cinnamomi* y trazado de la zona mínima de árboles asintomáticos a tratar por inyección al tronco para el control de la enfermedad

APLICACIÓN DE CÁPSULAS PRESURIZADAS

Los tratamientos por inyección al tronco se aplican mediante dispositivos que consisten en cápsulas presurizadas que contienen el producto en suspensión acuosa neutra o ligeramente ácida en su interior y que se comercializan listos para usar.

El número de cápsulas a aplicar por árbol dependerá de su diámetro y del volumen de producto que lleve cada cápsula (Shearer y Fairman, 2007). Así, para cápsulas presurizadas de 200 ml (volumen estándar) se aplicará una cápsula cada 15-20 cm de perímetro del tronco, separando a distancias homogéneas los puntos de aplicación (Shearer y Fairman, 2007), tal y como muestra la Figura 2.

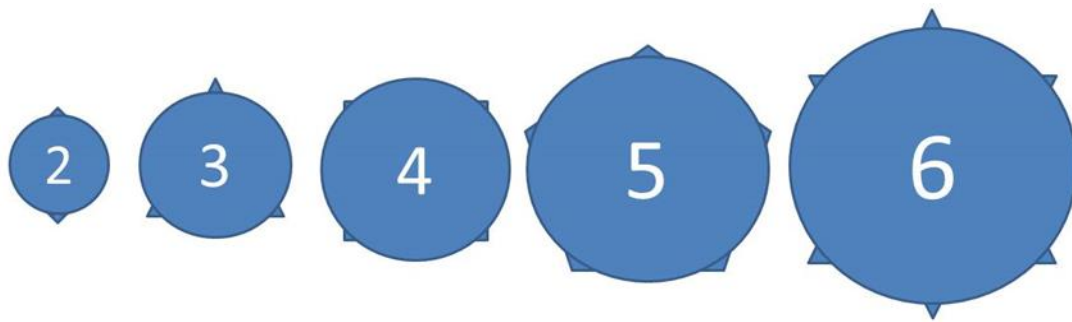


Figura 2. Separación entre perforaciones a realizar para insertar las cápsulas presurizadas en función del diámetro del árbol a tratar (Fuente: Fertinject S.L.)

Los inyectores se aplican a una altura del tronco de 0,5 m sobre el nivel del suelo (Shearer y Fairman, 2007), si bien la presencia en la zona de ganado o fauna silvestre aconseja aumentar esta altura, de forma que se evite que los animales eventualmente puedan romper los dispositivos.

Para la inserción de las cápsulas, se practican agujeros en el tronco a la altura y separación indicadas con un taladro eléctrico, utilizando una broca de metal de 6,5 mm de diámetro y 8-10 cm de longitud, hasta una profundidad de 5-6 cm. Conviene realizar los agujeros con una ligera inclinación hacia abajo, tal y como muestra la Figura 3.

Inmediatamente se inserta el conector de plástico en el agujero mediante un mazo o martillo de nylon o de goma hasta que quede bien ajustado. La cápsula presurizada se acopla al conector girando a modo de rosca hasta que el conector y la cabeza de la cápsula queden completamente unidos.

Las cápsulas deben permanecer insertas en los conectores hasta que todo el producto sea absorbido. El tiempo necesario para la completa absorción del líquido dependerá de las condiciones de luz y temperatura, siendo tanto más rápida la absorción cuanto más traspire el árbol. En

condiciones óptimas (temperatura entre 15-25º C y en las horas centrales del día) el proceso de absorción dura menos de 2 h. En cualquier caso no debe durar más de 48 h tras su aplicación.

Una vez absorbido el producto hay que retirar las cápsulas y los conectores, si es necesario con la ayuda de un alicate.

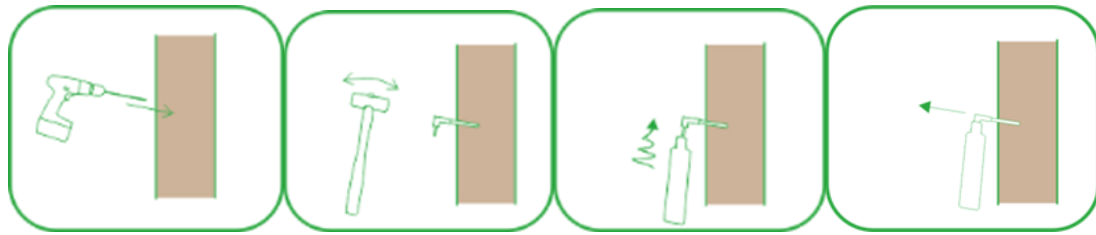


Figura 3. Procedimiento a seguir para insertar una cápsula presurizada en el tronco del árbol a tratar (Fuente: Fertinject S.L.)

Las perforaciones que quedan en los troncos tratados cicatrizan de forma natural y no necesitan ningún tratamiento protector posterior.

PRODUCTOS APLICABLES MEDIANTE INYECCIÓN AL TRONCO PARA EL CONTROL PREVENTIVO DE *P. CINNAMOMI*

Los principales productos fitoactivadores eficaces para el control preventivo de enfermedades causadas por *Phytophthora* spp. son sales derivadas del ácido fosforoso (H_3PO_3) y **no deben confundirse** con los fosfatos, fertilizantes que derivan del ácido fosfórico (H_3PO_4).

Los derivados fosforosos contienen un catión, generalmente K^+ , pero también Na^+ o amonio (NH_4), y uno de los siguientes aniones: fosfito (PO_3^{-3}), fosfito monohidrógeno ($H PO_3^{-2}$) o fosfito dihidrógeno ($H_2PO_3^-$). Cuando el ácido fosforoso (H_3PO_3) reacciona con agua forma el ácido fosfónico, que es altamente ácido y se neutraliza con hidróxido potásico (KOH) para producir fosfito dihidrógeno de potasio (KH_2PO_3) o fosfito monohidrógeno dipotasio (K_2HPO_3) (Deliopoulos et al., 2010). Estos dos compuestos son las **materias activas** de los productos anti-oomicetos (Landschoot y Cook, 2005).

Las sales inorgánicas del ácido fosforoso aparecen en la literatura con diversos nombres: *fosfitos* y *fosfonatos* son los más utilizados, pero también se denominan *hidrogonofosfonatos*, *ortofosfitos*, *derivados fosforosos*, etc. Hardy et al. (2001) hacen hincapié en que el término *fosfitos* distingue claramente a las sales inorgánicas del ácido fosforoso de los *fosfonatos*, entendiendo estos

últimos como compuestos que contienen un grupo orgánico unido al ión P, como ocurre en los fungicidas químicos convencionales. A este grupo pertenece el Fosetil-Al (Tris O-etil fosfonato de aluminio), que se lisa una vez dentro de la planta dando lugar a fosfito. El Fosetil-Al, al igual que los fosfitos inorgánicos, puede translocarse sistémicamente de las hojas a la raíz o viceversa (Deliopoulos et al. 2010) y al contener la misma materia activa su efecto preventivo de enfermedades causadas por oomicetos es también el mismo. Un efecto colateral de los fosfitos es el riesgo de fitotoxicidad que presentan cuando se aplican a dosis excesivas (más de 5 g/l o 36 kg/ha) (Hardy et al., 2001; Barret et al., 2003).

Como ya se ha dicho, en muchos casos estos tratamientos **no tienen carácter fungicida**, en cuanto que no resultan tóxicos para el patógeno a combatir (Le Roux et al., 1991), pero sí carácter **fitoactivador**, ya que su función es actuar como molécula-señal capaz de activar los mecanismos naturales de defensa de los árboles frente a la infección (Bompeix et al., 1980). No obstante, frente a algunos patógenos concretos sí pueden tener un efecto directo, inhibiendo su crecimiento micelial, la formación de esporangios y/o oosporas, la liberación de zoosporas, etc. (Coffey y Joseph, 1985; Ouimette y Coffey, 1989a).

El bajo contenido en fósforo que proporcionan los fosfitos cuando se aplican a las dosis recomendadas y el hecho de que las plantas superiores no puedan oxidar la materia activa (sales del ácido fosforoso) a fosfatos (MacIntire et al., 1950) hace que no se puedan considerar como fertilizantes fosfóricos desde el punto de vista nutricional. De hecho, no se produce crecimiento alguno en plantas que crecen en suelos donde la única fuente de fósforo son compuestos fosforosos (MacIntire et al., 1950). Únicamente si los fosfitos se aplican al suelo cabe la posibilidad de que entren en contacto con bacterias específicas que pueden oxidarlos a fosfatos (McDonald et al., 2001). Sin embargo este proceso depende del azar y es muy lento, por lo que no reviste ninguna importancia real en términos de nutrición fosfórica (McDonald et al., 2001; Lovatt y Mikkelsen, 2006).

La aplicación de fosfitos reduce la susceptibilidad de la planta a las enfermedades causadas por oomicetos, destacando su alta eficacia contra todo tipo de enfermedades causadas por especies del género **Phytophthora**, seguidas de especies de *Plasmopara* y del género fúngico *Alternaria*, siendo más eficaces cuando se utilizan preventivamente que si se utilizan como terapéuticos (Deliopoulos et al., 2010). Como ya se ha dicho, los fosfitos pueden presentar un efecto directo frente a los patógenos (inhibiendo por ej. su crecimiento micelial o su esporulación), pero sobre todo ejercen un **efecto indirecto** en el control de enfermedades, mediante una rápida y fuerte estimulación de los mecanismos de defensa de la planta contra este tipo de patógenos (Deliopoulos et al., 2010). Esta complejidad en su mecanismo de acción preventiva ha impedido el desarrollo de resistencia a estos productos por parte de los patógenos (Grant et al., 1990; Landschoot y Cook, 2005).

Puntos adicionales a tener en cuenta (Thao y Yamakawa, 2009):

i) Los fosfitos se absorben por raíz u hojas pero no deben usarse como una fuente de nutrición fosfórica. No pueden complementar ni sustituir a las fertilizaciones fosfóricas convencionales.

ii) Los fosfitos no tienen ningún efecto estimulante del crecimiento en plantas sanas. Los fosfitos combinados con fosfatos no proporcionan ningún efecto estimulante en comparación con los fosfatos aplicados en solitario.

iii) Si no hay enfermedades causadas por oomicetos, los fosfitos no tienen ningún efecto beneficioso para el arbolado.

Productos disponibles para el tratamiento preventivo de encinas y alcornoques frente a la infección por *P. cinnamomi* aplicables por inyección al tronco:

- Fosetil Aluminio (Tris O-etil fosfonato de aluminio): Registro único Europeo, Lista comunitaria de sustancias activas incluidas en el anexo I de la Directiva 91/414/CEE (425) trasladadas al anexo I del REGLAMENTO (CE) Nº 1107/2009, Directiva 2006/64/CE. Disponible en cápsulas presurizadas de 200 ml de capacidad.

- Fosfito potásico (Registro único Europeo, Lista comunitaria de sustancias activas incluidas en el anexo I de la Directiva 91/414/CEE (425) trasladadas al anexo I del REGLAMENTO (CE) Nº 1107/2009, Directivas 832/2013 y 369/2013. Cápsulas con 200 ml de materia activa al 2,4%.

- Sales de fósforo, **calcio** y magnesio. Cápsulas con 200 ml de fosfito al 2,4% y un complejo de ácido lignosulfónico con óxido de calcio al 0,75%. Este producto también incorpora un complejo con óxido de magnesio al 0,4%.

Las **sales de calcio** constituyen un fertilizante habitual en ecosistemas de dehesa, empleadas para aumentar y mejorar la composición botánica de los pastos y que también repercuten positivamente en el estado vegetativo del arbolado (Carbonero et al. 2004). Además de crear **suelos supresivos** para *P. cinnamomi* (Serrano et al., 2012), las fertilizaciones cálcicas también afectan a la interacción entre las especies de *Phytophthora* y sus plantas huéspedes, de forma que cuando se aportan iones de calcio, las plantas infectadas muestran un **aumento de la resistencia** o tolerancia a la enfermedad (Sugimoto et al., 2008), aumento que ha sido comprobado para la interacción *Q. ilex-P. cinnamomi* (Serrano et al., 2013). Un efecto beneficioso adicional de la fertilización cálcica es que potencia la eficacia de los derivados fosforosos cuando los árboles se tratan con las dos materias activas al mismo tiempo, aumentando significativamente la supervivencia de los árboles tratados en comparación con los que no han recibido aportes de calcio (Stasikowski et al., 2014).

PERIODICIDAD DE LOS TRATAMIENTOS

La longevidad de la principal materia activa (fosfito) en el árbol varía entre 4 y 10 años (Shearer y Fairman, 2007) dependiendo de la especie arbórea de que se trate. En encinas y alcornoques se ha comprobado que el tiempo durante el cual el árbol permanece protegido tras la inyección es de **al menos 4 años** (Sánchez et al., 2006). Una vez absorbido y translocado, el fosfito es una forma no metabolizable de fósforo en la planta (Ouimette y Coffey, 1989b), por lo que su persistencia depende de la dilución a la que le lleve el crecimiento de la planta tratada, la caída de hojas y frutos, etc. (Whiley et al. 1995). En términos generales, el efecto del tratamiento protector frente a *P. cinnamomi* en sistemas naturales o seminaturales es más duradero que en el medio agrícola (Shearer y Fairman 2007) y ello se debe a que las especies cultivadas generalmente son de crecimiento más rápido y también presentan un recambio de órganos (hojas, frutos, raíces) más rápido que las especies forestales, lo que favorece la pérdida del fosfito inyectado (Shearer y Fairman, 2007). Por otra parte, los ecosistemas naturales generalmente están localizados en suelos pobres en nutrientes a los que la flora nativa se ha adaptado bien. Se ha especulado que una buena disponibilidad de fosfato, habitual en suelos agrícolas, podría reducir la absorción y efectividad del fosfito (Barchietto et al., 1988; Smillie et al., 1989) y por lo tanto, el control de la enfermedad; sin embargo está demostrado que la concentración externa de fosfato no tiene efecto en la absorción de fosfito (Ouimette y Coffey, 1990; Shearer y Crane, 2009), e incluso puede aumentar con concentraciones crecientes de fosfato (Dolan y Coffey, 1988).

La **efectividad** de los tratamientos, entendida como la proporción de árboles tratados que permanecen asintomáticos (esto es, protegidos de la infección), puede alcanzar el 80-90% (Sánchez et al., 2006; Gentile et al., 2009), y siempre resulta inversamente proporcional a la severidad inicial de la enfermedad en castaño y nogal (Gentile et al., 2009), así como en encina y alcornoque (Fernández-Escobar et al., 1999), pero estos buenos resultados sólo se hacen evidentes 2-3 años después de los tratamientos.

BIBLIOGRAFÍA

- Barchietto T, Saindrenan P, Bompeix G (1988). Characterization of phosphonate uptake in two *Phytophthora* spp. and its inhibition by phosphate. *Archives of Microbiology* 151: 54-58.
- Barret SR, Shearer BL, Hardy GES (2003). The efficacy of phosphite applied after inoculation on the colonisation of *Banksia brownii* stems by *Phytophthora cinnamomi*. *Australasian Plant Pathology* 32: 1-7.
- Bompeix G, Ravise A, Raynal G, Fettouche F, Durand MC (1980). Modalites de l'obtention des necroses bloquantes sur feuilles detachées de Tomate par l'action du tris-O-ethyl phosphonate d'aluminum (fosetyl d'aluminum), hypothyses sur son mode d'action in vivo. *Annales de Phytopathologie* 12: 337-351.
- Carbonero MD, Blázquez A, Fernández P (2004). Producción de fruto y grado de defoliación como indicadores de vigor en *Quercus ilex* y *Quercus suber*. Influencia de diferentes condiciones edáficas en su evolución. En: *Pastos y ganadería extensiva*. García Criado B, García Ciudad A, Vázquez de Aldana B, Zabalgogezcoa I. (Eds). CSIC. Salamanca: 715-720.
- Coffey MD, Joseph MC (1985). Effects of phosphorous acid and fosetyl-Al on the life cycle of *Phytophthora cinnamomi* and *P. citricola*. *Phytopathology* 75: 1042-1046.
- Daniel R, Guest D (2005). Defence responses induced by potassium phosphonate in *Phytophthora palmivora* challenged *Arabidopsis thaliana*. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 67: 194-201.
- Daniel R, Wilson BA, Cahill DM (2005). Potassium phosphonate alters the defence response of *Xanthorrhoea australis* following infection by *Phytophthora cinnamomi*. *Australasian Plant Pathology* 34: 541-548.
- Deliopoulos T, Kettlewell PS, Hare MC (2010). Fungal disease suppression by inorganic salts: A review. *Crop Protection* 29: 1059-1075.
- Dolan TE, Coffey MD (1988). Correlative in vitro and in vivo behaviour of mutant strains of *Phytophthora palmivora* expressing different resistances to phosphorous acid and fosetyl-Na. *Phytopathology* 78: 974-978.
- El-Hamalawi ZA, Menge JA, Adams CJ (1995). Methods of Fosetyl-Al application and phosphonate levels in avocado tissue needed to control stem canker caused by *Phytophthora citricola*. *Plant Disease* 79: 770-778.
- Fernández-Escobar R, Gallego FJ, Benlloch M, Membrillo J, Infante J, Pérez de Algaba A (1999). Treatment of oak decline using pressurized injection capsules of antifungal materials. *European Journal of Forest Pathology* 29: 29-38.
- Gentile S, Valentino D, Tamietti G (2009). Control of ink disease by trunk injection of potassium phosphite. *Journal of Plant Pathology* 91: 565-571.
- Grant BR, Dunstan RH, Griffith JM, Niere JO, Smillie RH (1990). The mechanism of phosphonic (phosphorous) acid action in *Phytophthora*. *Australasian Plant Pathology* 19: 115-121.
- Hardy GES, Barret S, Shearer BL (2001). The future of phosphite as a fungicide to control the soilborne plant pathogen *Phytophthora cinnamomi* in natural ecosystems. *Australasian Plant Pathology* 30: 133-139.

- Landschoot P, Cook J (2005). Understanding the phosphonate products. Department of Crop and Soil Sciences. The Pennsylvania State University. University Park, PA. <http://plantscience.psu.edu/research/centers/turf/extension/factsheets/phosphonate-products>
- Le Roux HF, Wehner FC, Kotzé JM, Grech M (1991). Combining Fosetyl-Al trunk injection or Metalaxyl soil drenching with soil application of Aldicarb for control of citrus decline. *Plant Disease* 75: 1233-1236.
- Lovatt CJ, Mikkelsen RL (2006). Phosphite fertilizers: what are they? Can you use them? What can they do? *Better Crops* 90: 11-13.
- MacIntire WH, Winterberg SH, Hardin LJ, Sterges AJ, Clements LB (1950). Fertilizer evaluation of certain phosphorus, phosphorous, and phosphoric materials by means of pot cultures. *Agronomy Journal* 42: 543-549.
- McDonald AE, Grant BR, Plaxton WC (2001). Phosphite (phosphorous acid): its relevance in the environment and agriculture and influence on plant phosphate starvation response. *Journal of Plant Nutrition* 24: 1505-1519.
- Ouimette DG, Coffey MD (1989). Comparative antifungal activity of four phosphonate compounds against isolates of nine *Phytophthora* species. *Phytopathology* 79: 761-767.
- Ouimette DG, Coffey MD (1989). Phosphonate levels in avocado (*Persea americana*) seedlings and soil following treatment with fosetyl-Al or potassium phosphonate. *Plant Disease* 73: 212-215.
- Ouimette DG, Coffey MD (1990). Symplastic entry and phloem translocation of phosphonate. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 38: 18-25.
- Sánchez ME, Caetano P, Romero MA, Navarro RM, Trapero A (2006). *Phytophthora* root rot as the main factor of oak decline in southern Spain. In: Progress in Research on *Phytophthora* Diseases of Forest Trees. Brasier C, Jung T, Oßwald W (Eds). Forest Research, Farnham, UK. pp. 149-154.
- Serrano MS, De Vita P, Fernández-Rebollo P, Sánchez ME (2012). Calcium fertilizers induce soil suppressiveness to *Phytophthora cinnamomi* root rot of *Quercus ilex*. *European Journal of Plant Pathology* 132: 271-279.
- Serrano MS, Fernández-Rebollo P, De Vita P, Sánchez ME (2013). Calcium mineral nutrition increases the tolerance of *Quercus ilex* to *Phytophthora* root disease affecting oak rangeland ecosystems in Spain. *Agroforestry Systems* 87: 173-179.
- Shearer BL, Crane CE (2009). Influence of site and rate of low-volume aerial phosphite spray on lesion development of *Phytophthora cinnamomi* and phosphite persistence in *Lambertia inermis* var. *inermis* and *Banksia grandis*. *Australasian Plant Pathology* 38: 288-304.
- Shearer BL, Fairman RG (2007). A stem injection of phosphite protects *Banksia* species and *Eucalyptus marginata* from *Phytophthora cinnamomi* for at least four years. *Australasian Plant Pathology* 36: 78-86.
- Smillie R, Grant BR, Guest D (1989). The mode of action of phosphite: evidence for both direct and indirect modes of action on three *Phytophthora* spp. in plants. *Phytopathology* 79: 921-926.
- Smith BJ, Shearer BL, Sivasithamparam K (1997). Compartmentalization of *Phytophthora cinnamomi* in stems of highly susceptible *Banksia brownii* treated with phosphonate. *Mycological Research* 101: 1101-1107.

- Stasikowski PM, McComb JA, Scott P, Paap T, O'Brien PA, Hardy GESTJ (2014). Calcium sulphate soil treatments augment the survival of phosphite-sprayed *Banksia leptophylla* infected with *Phytophthora cinnamomi*. *Australasian Plant Pathology* 43: 369-379.
- Sugimoto T, Watanabe K, Yoshida S, Aino M, Irie K, Match T, Biggs AR (2008). Select calcium compounds reduce the severity of *Phytophthora* stem rot of soybean. *Plant Disease* 92:1559-1565.
- Thao HTB, Yamakawa T (2009). Phosphite (phosphorous acid): Fungicide, fertilizer or bio-stimulator? *Soil Science and Plant Nutrition* 55: 228-234.
- Whiley AW, Hargreaves PA, Pegg KG, Doogan VJ, Ruddle LJ, Saranah JB, Langdon PW (1995). Changing sink strengths influence translocation of phosphonate in avocado (*Persea americana* Mill.) trees. *Australian Journal of Agricultural Research* 46: 1079-1090.