

Recomendación de tratamientos de aplicación en dehesas de encina afectadas por *P. cinnamomi*

La fertilización cálcica para el control de la podredumbre radical de la encina

El control de *P. cinnamomi* es complicado debido a su amplia gama de huéspedes leñosos, la longevidad de sus esporas de resistencia, su capacidad de infectar a partir de densidades de esporas muy bajas, etc. Los departamentos de Agronomía e Ingeniería Forestal de la Universidad de Córdoba han estudiado el efecto que distintos fertilizantes de calcio (óxido, nitrato, carbonato, cloruro y sulfato cálcico) tienen sobre el desarrollo de *P. cinnamomi* a las dosis empleadas normalmente en dehesas y a dosis menores.

María Serrano¹, Pilar Fernández² y M^º Esperanza Sánchez¹.

¹ Dpto. Agronomía (Patología Forestal),

² Dpto. Ingeniería Forestal. ETSIAM, Universidad de Córdoba.

Phytophthora cinnamomi es uno de los principales causantes de la podredumbre radical de las encinas en las dehesas españolas y portuguesas (Sánchez *et al.*, 2000; 2003). Este microorganismo exótico invasor del suelo causa la muerte masiva de las raicillas encargadas de absorber los nutrientes minerales y el agua del suelo, de modo que los árboles infectados entran en un estado de decaimiento progresivo y acaban muriendo (Sánchez *et al.*, 2000; 2003; Caetano *et al.*, 2009) (**foto 1**).

Los síntomas en la parte aérea, originados por la falta de absorción de agua, consisten en amarillez y/o marchitez de las hojas y muerte regresiva de ramas y brotes (puntisecado) (Sánchez *et al.*, 2000). Por otra parte, las raíces infectadas muestran un color más oscuro y se descascarillan fácilmente. Si la infección alcanza a las raíces leñosas o a la base del tronco, pueden aparecer lesiones de color pardo que se ven al retirar la corteza (Caetano *et al.*, 2009).

En el caso de producirse una infección masiva de las raicillas, los síntomas de la enfermedad pueden aparecer en pocas semanas. En esta situación los árboles afectados se colapsan rápidamente y mueren, síndrome conocido como muerte súbita. Si los síntomas se desarrollan más lentamente y la encina afectada tarda varios años en morir, se habla de síndrome de muerte lenta o decaimiento (Sánchez *et al.*, 2006).

Foto1. Encina muerta afectada por la podredumbre radical causada por *P. cinnamomi*.



El diagnóstico de esta enfermedad se basa en el aislamiento e identificación en el laboratorio de *P. cinnamomi* a partir de las raicillas o de la rizosfera del árbol infectado, ya que los síntomas visibles son muy inespecíficos y generales (Sánchez *et al.*, 2003).

Infección de los árboles

Este microorganismo se encuentra en el suelo como esporas de resistencia (llamadas clamidosporas), capaces de persistir en latencia durante un tiempo relativamente largo, incluso en condiciones de sequía y/o temperaturas extremas (Sánchez *et al.*, 2000; 2003; 2006).

Cuando en el suelo hay abundante agua y la temperatura es relativamente alta, unos 25-30°C, las esporas de resistencia germinan y producen esporangios, los cuales a su vez producen esporas infectivas móviles (zoosporas), capaces de nadar en el agua que rodea las partículas del suelo hasta las raíces de los árboles susceptibles e infectarlas (Erwin y Ribeiro, 1996).

En el interior de las raicillas el patógeno desarrolla su micelio, alimentándose de la propia raíz. Además, produce nuevos esporangios y zoosporas que aumentarán la infección en el árbol o en árboles adyacentes (Erwin y Ribeiro, 1996). Cuando las condiciones ambientales dejan de serle favorables o el huésped empieza a morir, *P. cinnamomi* volverá a producir nuevas esporas de resistencia que quedarán en el suelo en estado de latencia hasta que un nuevo cambio en las condiciones ambientales estimule su germinación, comenzando entonces nuevos ciclos de patogénesis (Erwin y Ribeiro, 1996) (figura 1).

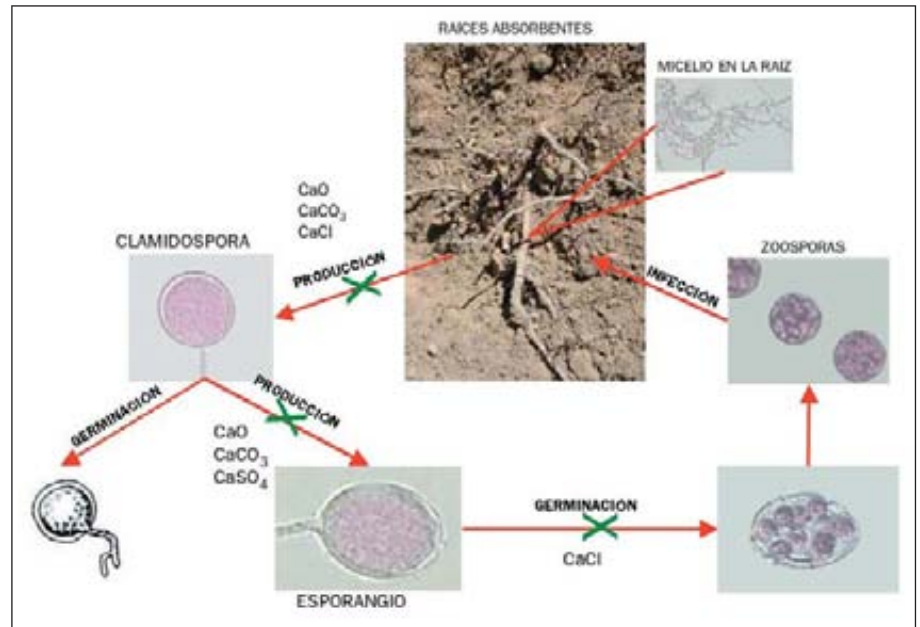
Control de la podredumbre radical de las encinas

El control de *P. cinnamomi* es complicado debido a su amplia gama de huéspedes leñosos, la longevidad de sus esporas de resistencia, su capacidad de infectar a partir de densidades de esporas muy bajas, etc. (Erwin y Ribeiro, 1996).

Todas estas características hacen necesario un control integrado de la enfermedad, que incluya medidas para disminuir la densidad e infectividad de las esporas, y al mis-

FIGURA 1

Ciclo de patogénesis de *P. cinnamomi* en suelo. Las cruces indican los pasos limitantes que se inhiben por los fertilizantes cálcicos que se indican.



mo tiempo, evitar la dispersión y aumento del número de esporas resistentes en el suelo (medidas preventivas), así como remitir o limitar la severidad de la enfermedad en los árboles infectados (medidas terapéuticas).

Dentro del primer grupo de medidas preventivas que se pueden llevar a cabo, se debe incluir la aplicación de tratamientos fertilizantes al suelo. Los departamentos de Agronomía e Ingeniería Forestal de la Universidad de Córdoba han estudiado el efecto que distintos fertilizantes de calcio (óxido, nitrato, carbonato, cloruro y sulfato cálcico) tienen sobre el desarrollo de *P. cinnamomi* a las dosis empleadas normalmente en dehesas (Fernández-Rebollo y Carbonero, 2008) y a dosis menores (1,25 - 15 mM de ión calcio) (Serrano *et al.*, 2011a; 2011b).

Efecto de los fertilizantes cálcicos

En el ciclo de patogénesis de *P. cinnamomi*

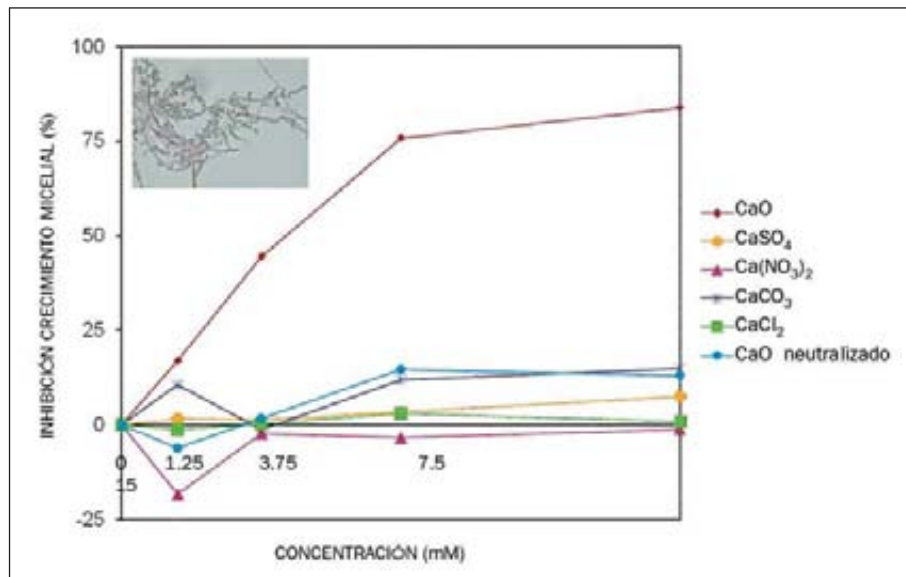
Se ha evaluado en condiciones controladas, a nivel de laboratorio, el efecto de estos cinco compuestos de calcio sobre el crecimiento micelial (el patógeno se encuentra en el interior de las raíces infectadas como micelio), la producción de clamidosporas (esporas de resistencia que permitirán al patógeno mantenerse en el suelo para posteriores infecciones) y sobre la producción y germinación de esporangios (a partir de los cuales tiene lugar la infección) (Serrano *et al.*, 2011a). En todos los casos, se ha comparado el efecto de los compuestos de calcio con el comportamiento nor-

A nivel de laboratorio, podemos concluir que los compuestos más eficaces

a la hora de impedir que se complete el ciclo de patogénesis son el óxido de calcio y el carbonato cálcico, seguidos del sulfato cálcico, ya que todos estos compuestos inhiben la producción de esporangios con porcentajes mayores del 50%

FIGURA 2

Porcentajes de inhibición del crecimiento micelial de *P. cinnamomi* para los diferentes compuestos de calcio a las distintas concentraciones ensayadas.



mal de *P. cinnamomi* en ausencia del fertilizante (porcentaje de inhibición). Se han considerado como efectivos aquellos compuestos que inducían un porcentaje de inhibición mayor del 50%.

En el caso del crecimiento micelial (figura 2), solamente el óxido de calcio resulta eficaz, con un porcentaje de inhibición entre el 75,8 – 83,8% a las concentraciones más elevadas. Sin embargo, producía un aumento importante del pH del medio, por lo que también se evaluó a pH neutro y entonces no resultó efectivo. Por

lo tanto, la inhibición del crecimiento micelial observada se debe más al efecto del aumento del pH que al ión calcio en sí mismo (Serrano et al., 2011a).

En cuanto a la producción de clamidosporas (figura 3), los compuestos más eficaces fueron el óxido de calcio (100% de inhibición), seguido del carbonato y del cloruro cálcico, con porcentajes de inhibición del 63,8 y 50,2% respectivamente (Serrano et al., 2011a).

El óxido de calcio y el carbonato cálcico alcanzaron un porcentaje de inhibición de la pro-

ducción de esporangios del 100% (figura 4). También fue eficaz el sulfato cálcico, con un porcentaje de inhibición del 53,6%. Sin embargo, el nitrato cálcico produjo una estimulación de la producción de esporangios y por lo tanto, de la capacidad infectiva del patógeno (Serrano et al., 2011a).

Finalmente, solo el cloruro cálcico fue eficaz en la inhibición de la germinación de los esporangios, es decir, producción de zoosporas infectivas (60% de inhibición) (figura 5).

Podemos concluir que los compuestos más eficaces a la hora de impedir que se complete el ciclo de patogénesis son el óxido de calcio y el carbonato cálcico, seguidos del sulfato cálcico, ya que todos estos compuestos inhiben la producción de esporangios con porcentajes mayores del 50% (100% los dos primeros compuestos y 53,6% el sulfato cálcico) (Serrano et al., 2011a) y éste es un paso limitante en la capacidad infectiva de *P. cinnamomi*.

En la infección de encinas

Hemos evaluado el efecto que el óxido, carbonato y sulfato cálcico podían tener sobre la capacidad germinativa de las clamidosporas en el suelo, comparándolo con un suelo infestado pero no tratado con ningún fertilizante cálcico, ya que si estos compuestos inhibiesen la germinación de las clamidosporas resistentes, no sería posible la infección primaria del huésped, la encina. Sin embargo, ningún fertilizante de calcio disminuyó significativamente la viabilidad de las clamidosporas respecto de

FIGURA 3

Porcentajes de inhibición de la producción de clamidosporas de *P. cinnamomi* para cada uno de los compuestos de calcio ensayados.

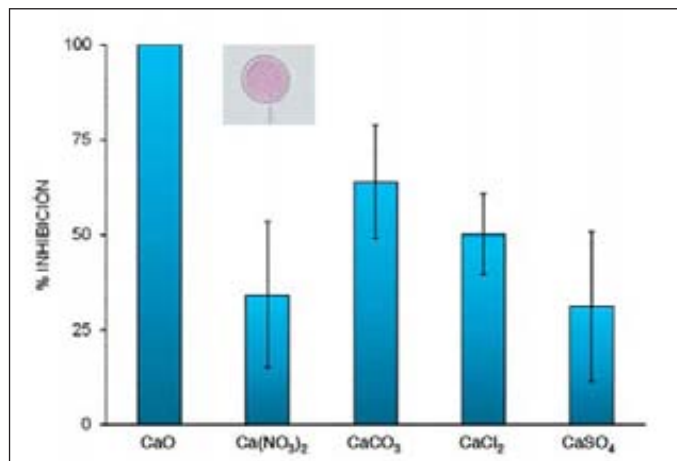


FIGURA 4

Porcentajes de inhibición de la producción de esporangios de *P. cinnamomi* para cada uno de los compuestos de calcio ensayados.

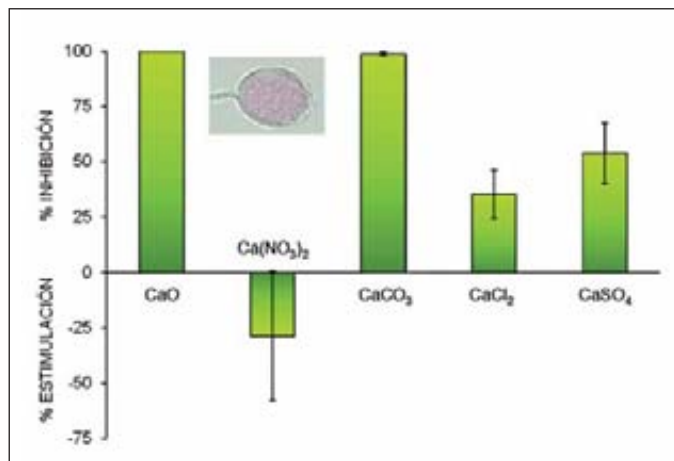
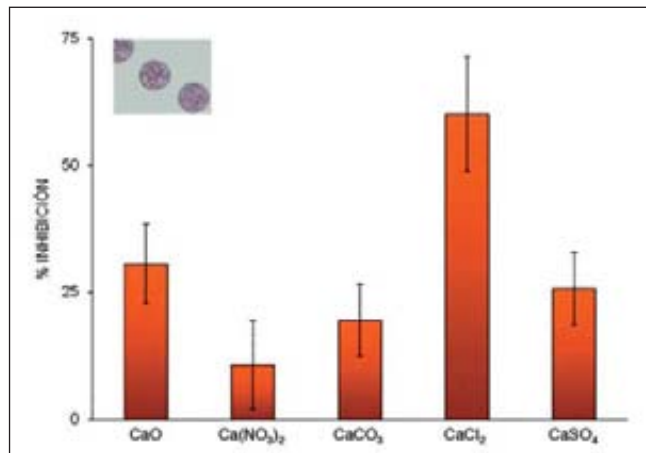


FIGURA 5

Porcentaje de inhibición de la germinación de esporangios (producción de zoosporas) de *P. cinnamomi* para cada uno de los compuestos de calcio ensayados.



los valores obtenidos en ausencia de fertilización cálcica (Serrano et al., 2011b) (figura 3).

También se estudió el efecto de la fertilización cálcica del suelo en la capacidad infectiva del patógeno en las raíces de encinas jóvenes (Serrano et al., 2011b; 2011c). Para ello, tras la adición del patógeno al suelo, se plantaron encinas de un año de edad. Diez plantas (repeticiones), se fertilizaron con cada uno de los compuestos a ensayar (óxido de calcio, carbonato cálcico, sulfato cálcico), dejando otras diez encinas creciendo en suelo infestado pero no fertilizado (Testigo 1) y otras diez encinas se plantaron en suelo no infestado y no fertilizado (Testigo 0). Todas las plantas se mantuvieron en invernadero climatizado en condiciones de encharcamiento periódico (dos días por semana) para favorecer la infección por *P. cinnamomi* (foto 2). Al cabo de tres meses, las plantas Testigo 1 mostraban los síntomas aéreos de la enfermedad descritos anteriormente (amarillez, marchitez foliar, etc.).



Foto 2. Plantas de encina inoculadas con *P. cinnamomi* y tratadas con CaSO₄, sometidas a encharcamiento periódico del sustrato.



KUHN



Aprovechese de una solución adaptada a las características de cada explotación para el desensilado, empajado, mezcla de la ración y gestión de la alimentación.

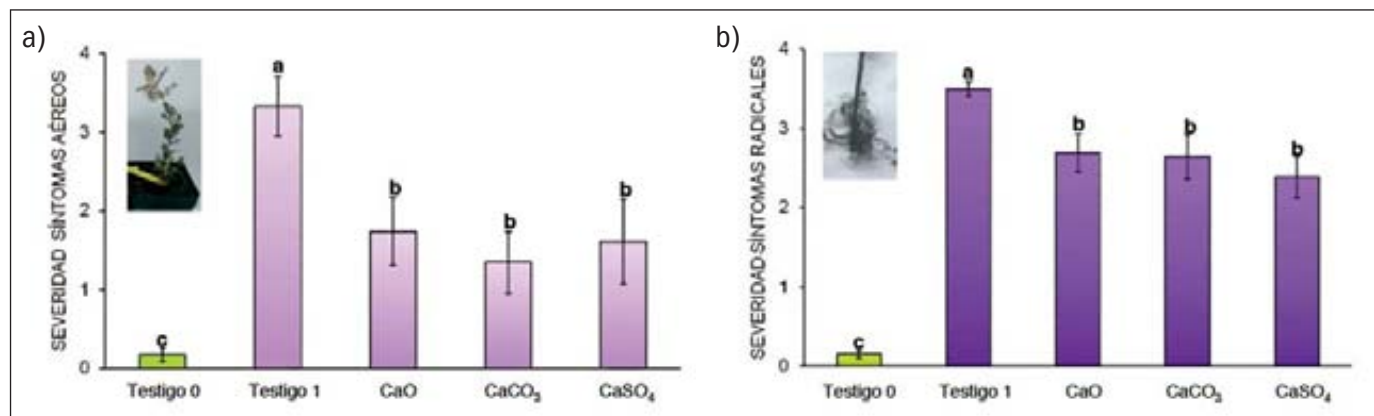
1 SPV: Fresa de gran capacidad 75 CV. Terminal T 75 para una gestión tanto de la máquina como de la ración. 2 SPH: Doble sinfin horizontal. Fresa de 100 CV. Distribución simultánea izquierda y derecha. 3 EUROMIX II: Distribución lateral o transversal. 4 PRIMOR: Modelos suspendidos y arrastrados. Empajado efecto lluvia. Modelo M: Posibilidad de distribuir pacas de ensilado. 5 PROFILE: Máquina polivalente adaptada a todo tipo de ganaderías.

www.kuhn.es

cultivos | ganadería | paisajes

be strong, be **KUHN**

Valores medios de la severidad de síntomas en la parte aérea (a) y radical (b) de las encinas en función del compuesto de calcio aplicado. Letras distintas indican diferencias significativas según el test LSD de Fisher para $p < 0,05$.



Al final del experimento se evaluó la severidad de síntomas en la parte aérea y radical de cada planta siguiendo una escala 0-4 de acuerdo al porcentaje de tejido vegetal afectado (0 = 0% tejido necrótico, 1 = 10-33%, 2 = 34-66%, 3 = más del 67%, 4 = planta muerta) (Sánchez *et al.*, 2000; 2004). Se observaron los mismos resultados en la parte aérea y radical de las plantas (figura 6). Las encinas plantadas en suelo no infestado presentaron una severidad de síntomas muy baja, próxima al 0, mientras que en las plantas creciendo en suelo infestado y no tratado se registraron valores

significativamente más elevados (media de 3,5). Las encinas plantadas en suelos infestados y tratados con fertilizantes cálcicos no difirieron entre ellas y en todos los casos, la severidad de síntomas resultó significativamente menor que la registrada en las Testigo 1 (Serrano *et al.*, 2011b).

Conclusiones

Con estos resultados se puede concluir que el óxido de calcio y el carbonato cálcico son compuestos que aunque no impiden la

germinación de las clamidosporas preexistentes, sí inhiben la producción de esporangios a partir de ellas y, por lo tanto, son capaces de anular, o en cualquier caso, disminuir, la capacidad infectiva del patógeno. En último término, el óxido de calcio y el carbonato cálcico limitan la capacidad del microorganismo para producir las zoosporas infectivas, ya que aunque no disminuyen la germinación de los esporangios, sí inhiben la formación de los mismos. Si no se forman los esporangios, no se podrán producir las zoosporas infectivas. Iguales resultados se obtienen para el sulfato cálcico, aunque produzca una menor inhibición de la producción de esporangios (Serrano *et al.*, 2011a).

Por lo tanto, la aplicación de óxido de calcio y carbonato cálcico, aunque también hay que considerar al sulfato cálcico, se debe considerar como una medida paliativa de los efectos que supone la podredumbre radical causada por *P. cinnamomi* en dehesas de encina (Porras *et al.*, 2010; Serrano *et al.*, 2011b). Como se ha podido comprobar en estudios anteriores, la aplicación de enmiendas calizas en dehesa supone no sólo una mejora del estado nutricional de los árboles (Carbonero *et al.*, 2004), sino que también incrementan su nivel de tolerancia a la infección (Serrano *et al.*, 2011c), y además actúan directamente sobre la producción de esporangios del patógeno en suelo (Serrano *et al.*, 2011a), disminuyendo la tasa de infección, y por lo tanto, la sintomatología de la podredumbre radical causada por *P. cinnamomi* (Serrano *et al.*, 2011b).

Desde el punto de vista práctico y de aplicación en dehesa, se pueden recomendar los



Foto 3. Tratamientos experimentales con fertilizantes cálcicos en una dehesa afectada de podredumbre radical en la provincia de Huelva.

siguientes tratamientos fertilizantes:

- En zonas con arbolado: aplicación de carbonato o sulfato cálcico en otoño en dosis que pueden fluctuar entre 750-1.500 kg/ha. La aplicación puede hacerse en cobertera, ya que penetran en el suelo con el agua de lluvia.

- En zonas que han perdido el arbolado: aplicación de cal (óxido de calcio), de mayor poder neutralizante, en dosis que oscilan entre 550-1.100 kg/ha. La aplicación de la cal puede hacerse en cobertera o incorporándola al suelo mediante una labor superficial.

Perspectivas futuras

Actualmente los departamentos de Ingeniería Forestal y Agronomía están llevando a cabo experimentos en campo de aplicación al suelo de los fertilizantes cálcicos ensayados con éxito en condiciones controladas, en una dehesa de encinas de la provincia de Huelva afectada por la enfermedad radical (**foto 3**). Los datos obtenidos hasta la fecha corroboran los resultados que aquí se exponen. ●

Bibliografía ▼

- Caetano P, Sánchez JE, Sánchez ME, Trapero A. 2009. Podredumbre radical de la encina y el alcornoque. Servicio de Ordenación de los Recursos Forestales, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. 8 pp.
- 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. pp. 715-720. En: García Criado B, García Ciudad A, Vázquez de Aldana B y Zabalgogazcoa I. (Eds). Pastos y ganadería extensiva. CSIC. Salamanca.
- Erwin DC y Ribeiro OK. 1996. *Phytophthora* diseases worldwide. APS Press, St. Paul, MN.
- Fernández-Rebollo P y Carbonero MD. 2008. La dehesa como hábitat natural para el Cerdo Ibérico. pp. 103-133. En: Forero J. (Eds). El Cerdo Ibérico. Una revisión transversal. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía-Fundación Caja Rural del Sur, Sevilla.
- Porras Tejeiro CJ, Casas Millán C, Porras Guillén M. 2010. Nuevas experiencias de lucha contra el decaimiento del encinar. Agricultura 935: 920-925.
- Sánchez ME, Caetano P, Ferraz J, Trapero A. 2000. La desecación y muerte de encinas en tres dehesas de la provincia de Huelva. Boletín de Sanidad Vegetal Plagas 26: 447-464.
- Sánchez ME, Sánchez JE, Navarro RM, Fernández P, Trapero A. 2003. Incidencia de la podredumbre radical causada por *Phytophthora cinnamomi* en masas de *Quercus* en Andalucía. Boletín de Sanidad Vegetal Plagas 29: 87-108.
- Sánchez ME, Andicoberry S, Trapero A. 2004. Patogenicidad de *Phytophthora* spp. causantes de podredumbre radical de *Quercus ilex* ssp. *ballota* en viveros forestales. Boletín de Sanidad Vegetal Plagas 30: 239-255
- Sánchez ME, Caetano P, Romero MA, Navarro RM, Trapero A. 2006. *Phytophthora* root rot as the main factor of oak decline in southern Spain. pp. 149-154. En: Brasier C, Jung T, Oßwald W (Eds). *Progress in Research on Phytophthora Diseases of Forest Trees*. Farnham, UK.
- Serrano MS, De Vita P, Fernández-Rebollo P, Sánchez ME. 2011 a. Control de la podredumbre radical de las encinas mediante fertilizantes inorgánicos II: Efecto in vitro del Ca y el K en la capacidad infectiva de *Phytophthora cinnamomi*. Boletín de Sanidad Vegetal Plagas 37 (en prensa).
- Serrano MS, De Vita P, Fernández-Rebollo P, Sánchez ME. 2011 b. Control de la podredumbre radical de las encinas mediante fertilizantes inorgánicos III: efecto de la aplicación al suelo de fertilizantes cálcicos y potásicos. Boletín de Sanidad Vegetal Plagas 37 (en prensa).
- Serrano MS, De Vita P, Sánchez ME, Fernández-Rebollo P. 2011 c. Control de la podredumbre radical de encinas mediante fertilizantes inorgánicos I: Influencia de la nutrición cálcica y potásica en la tolerancia a la infección por *Phytophthora cinnamomi*. Boletín de Sanidad Vegetal Plagas 37 (en prensa).

UREATEC® 46

Powered by AGROTAIN

ALIMENTO 5 ESTRELLAS PARA SUS CULTIVOS

Ahora disponible en su cooperativa habitual

www.ureatec46.es