

# Las enmiendas calizas como estrategia para disminuir la podredumbre radical de *Quercus sp.* en la dehesa

Limestone amendments as a measure against root rot of *Quercus sp.* caused by *P. Cinnamomi* in dehesa systems

J.R. LEAL MURILLO<sup>1</sup> / P. DE VITA<sup>2</sup> / M.S. SERRANO MORAL<sup>2</sup> /  
M.E. SÁNCHEZ HERNÁNDEZ<sup>2</sup> / P. FERNÁNDEZ REBOLLO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Forestal

<sup>2</sup>Departamento de Agronomía, Área de Patología Agroforestal. ETSIAM. Universidad de Córdoba.  
Campus de Rabanales. 14071 Córdoba (España). [ir1ferrep@uco.es](mailto:ir1ferrep@uco.es)

**Resumen:** La podredumbre radical causada por los patógenos de suelo *Phytophthora cinnamomi* y *Pythium spiculum*, está ocasionando una mortalidad elevada en el arbolado de algunas dehesas del suroeste de la península Ibérica. Los experimentos llevados a cabo en condiciones controladas con suelo infectado artificialmente, han puesto de manifiesto que algunos compuestos cálcicos reducen la viabilidad de *P. cinnamomi*, principalmente debido a una disminución significativa de la producción de esporangios. En otoño del 2010 se puso en marcha un experimento de aplicación de enmiendas calizas con distintos productos en dehesas de la provincia de Huelva con podredumbre radical en su arbolado causada por *P. cinnamomi*, evaluándose los cambios en variables edáficas, la evolución del patógeno en suelo y de la defoliación de la copa del arbolado. Los resultados obtenidos hasta ahora indican que las enmiendas calizas podrían limitar la capacidad infectiva de *Phytophthora cinnamomi* en la dehesa, corroborando lo que se observa en condiciones controladas.

**Palabras clave:** decaimiento, *Phytophthora cinnamomi*, defoliación, calcio.

**Abstract:** The root rot caused by the soilborne pathogens *Phytophthora cinnamomi* and *Pythium spiculum*, is leading to significant oak tree mortality in dehesas farms in southwestern of Iberian Peninsula. Experiments performed with artificially infested soil in controlled conditions showed that some Ca chemicals induce a decrease of *P. cinnamomi* viability, mainly due to a significant inhibition of sporangial production. An experiment with different types of limestone amendments was carrying on during autumn of 2010 in dehesas farms with oak root rot caused by *P. cinnamomi* in Huelva province. We evaluated the change of soil parameters, the evolution of density of soil pathogens and defoliation of tree crown. So far, results obtained indicate that limestone amendments may limit the infectivity of *P. cinnamomi*, corroborating results observed under controlled conditions.

**Key words:** decline, *Phytophthora cinnamomi*, defoliation, calcium.

## INTRODUCCIÓN

La dehesa es un sistema agrosilvopastoral con finalidad predominante ganadera, creado por el hombre al que se le otorga un elevado valor natural. La encina es el árbol más representativo de la dehesa (Costa *et al.*, 2006) y su presencia en el sistema es fundamental desde un punto de vista ecológico (Fernández y Porrás, 1998; Díaz *et al.*, 2003) pero también económico ya que, además de incrementar el valor de la propiedad, favorece la actividad cinegética y el turismo rural, produce ramón, leña y un preciado fruto: la bellota. La escasez de regenerado viable en un gran número de explotaciones supone un grave peligro para la sostenibilidad a largo plazo de este estrato (Costa *et al.*, 2006), a lo que hay que sumar el decaimiento del arbolado que ha dado lugar a la pérdida de un elevado número de encinas (García *et al.*, 2008). Entre las

enfermedades asociadas al decaimiento de los *Quercus* en la Península Ibérica, destacan por su gravedad las podredumbres radicales causadas por oomicetos: *Phytophthora cinnamomi* (Brasier, 1996; Sánchez *et al.*, 2002; 2003) y *Pythium spiculum* (Jiménez *et al.*, 2008).

El control de esta enfermedad no es fácil y entre las prácticas que pueden realizarse en las dehesas gracias a su coste asequible, capacidad de poder ser ejecutadas en superficies extensas y baja agresividad con el medio ambiente, hemos estudiado las enmiendas cálcicas y la fertilización potásica. Los resultados indican que algunas sales de calcio, como el óxido de calcio, el carbonato cálcico y el sulfato cálcico, aunque no impiden la germinación de las clamidosporas existentes, sí inhiben la producción de esporangios y por lo tanto, son capaces de anular o disminuir la capacidad infectiva del patógeno al limitar la producción de zoosporas infectivas (Serrano *et al.*, 2011a). Además, la aplicación de enmiendas calizas puede suponer una mejora del estado nutricional de los árboles en la dehesa, e incrementar su tolerancia a la infección (Serrano *et al.*, 2011c), disminuyendo la sintomatología causada por la podredumbre radical (Serrano *et al.*, 2011b). Estos resultados se han obtenido en experimentos realizados en condiciones controladas y con planta joven de encina. En otoño del 2010 se puso en marcha un experimento de aplicación de enmiendas calizas en dehesas de la provincia de Huelva con problemas de podredumbre radical, evaluándose los cambios que induce en las variables edáficas, la evolución del patógeno en suelo y el estado del arbolado. En esta comunicación se presentan los resultados obtenidos tras un año de la aplicación.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Localización y descripción

Los ensayos de enmiendas se han realizado en dos fincas situadas en el término municipal de La Puebla de Guzmán en la provincia de Huelva. Una de ellas presenta encinas adultas con una densidad de 36,2 pies/ha, mientras que la segunda es una forestación de encinas realizada hace 14 años con una densidad inicial de 350 pies/ha. La topografía de ambas parcelas es ondulada, aunque la pendiente es algo mayor en la forestación. El clima se caracteriza por una precipitación media anual 579 mm y una temperatura media anual 16,6 °C, siendo la temperatura media de las máximas 22,7 °C y la media de las mínimas 11,1 °C. El suelo proviene de pizarras y esquistos paleozoicos, siendo de escasa profundidad y ácido.

### Tratamientos

Los tratamientos ensayados en cada finca han sido enmiendas en cobertera con: (i) carbonato cálcico (riqueza OCa 55,78%) y dosis de 1.500 kg/ha; (ii) sulfato cálcico (riqueza OCa 32,51%) y dosis de 2.500 kg/ha. Se han elegido estos dos productos

atendiendo a los resultados obtenidos en condiciones controladas y por sus efectos divergentes sobre el pH del suelo. Además, las dosis se han fijado considerando aquellas que han resultado efectivas en el control de la enfermedad en los ensayos realizados en condiciones controladas y aportando con ambos productos cantidades similares de OCa. Las parcelas tienen una superficie de una hectárea cada una (200 m de largo por 50 m de ancho), estableciéndose una parcela (iii) testigo entre ambas consistente en la ausencia de aporte de cal. Los tratamientos fueron aplicados con abonadora centrífuga en noviembre de 2010.

### Evaluaciones

Para evaluar y cuantificar la presencia de *P. cinnamomi* y *P. spiculum* se han tomado muestras de suelo de los primeros 30 cm, una vez retirada la vegetación y el mantillo de la superficie, en tres zonas de cada parcela. Las muestras de suelo se han secado al aire a temperatura ambiente y se han tamizado (2 mm tamaño de poro). De cada muestra se han pesado 10 g de suelo seco que se han suspendido en 200 ml de Agar-Agua estéril al 0,2% y se han homogeneizado, tomándose alícuotas de 1 ml que se han sembrado en placas Petri con medio NARPH. Para cada muestra de suelo se han preparado 20 placas Petri que se han incubado a 24° C en oscuridad durante 24 horas. Posteriormente, se ha lavado la superficie de cada placa con agua estéril, eliminando la mezcla suelo-agar-agua, y se ha vuelto a incubar 48 h a 24° C en oscuridad. Las colonias obtenidas se han identificado y contado presentándose los datos en unidades formadoras de colonia por gramo de suelo (ufc/g). Las muestras de suelo se han tomado en dos momentos: en octubre de 2010 antes del tratamiento y en mayo de 2011. En mayo de 2011 y en los mismos puntos donde se ha evaluado la presencia de patógenos, se han tomado muestras de suelo a tres profundidades (0-4 cm, 4-8 cm y 8-12 cm). Cada muestra estaba compuesta por 10 submuestras. Se ha medido pH (extracto suelo/agua 1/2,5) y Ca de cambio (extracto acetato amónico). En cada parcela se han seleccionado 5 encinas evaluándose en octubre de 2010, antes de los tratamientos y en junio de 2011, el grado de defoliación de la copa (%) siguiendo las recomendaciones propuestas en Calzado *et al.* (2010).

La evolución de la presencia de patógenos en el suelo y de la defoliación del arbolado según el tratamiento se ha analizado mediante T-test de medidas relacionadas. Además se han comparado mediante ANOVA las variables edáficas considerando tres factores fijos (finca, tratamiento y profundidad) y sus interacciones. La relación existente entre la abundancia de los patógenos y las variables edáficas se ha analizado mediante el coeficiente de correlación de Pearson. Para el análisis estadístico, los datos relativos a la presencia de patógenos y la defoliación se han transformado según las siguientes expresiones:  $(0,5 + \text{ufc/g})^{1/2}$  y  $(\text{defoliación} - \text{en tanto por uno})^{1/2}$ . Todos los análisis fueron realizados con el programa STATISTICA ver. 8.0.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El suelo de las dos fincas muestra distinta acidez ( $F= 60,9$ ;  $p<0,01$ ), siendo los valores medios de las parcelas testigo de 5,9 y 5,1 y, en consonancia, la concentración de calcio de cambio también es diferente ( $F= 77,5$ ;  $p<0,01$ ), obteniéndose para la primera finca 5,2 y 2,1 meq/100 g de suelo para la segunda. Las enmiendas con cal han modificado el pH del suelo ( $F= 24,2$ ;  $p<0,01$ ), aumentándolo en el caso de la aplicación de carbonato cálcico y disminuyéndolo cuando se ha distribuido sulfato cálcico (fig. 1), por el efecto acidificante del azufre. La concentración de calcio de cambio sólo aumenta significativamente cuando se aplica carbonato cálcico ( $F= 11,3$ ;  $p<0,01$ ) (fig. 1). En general, el pH del suelo y la concentración de calcio en el complejo de cambio disminuyen a medida que aumenta la profundidad a la que se toma la muestra. No ha existido interacción entre el tratamiento de enmienda caliza y la profundidad, indicando que el tratamiento ha modificado las variables edáficas del mismo modo en cada una de las profundidades del perfil analizado (12 cm).

La densidad de inóculo de *P. cinnamomi* ha disminuido entre los dos muestreos mientras que la de *P. spiculum* se ha mantenido en la misma magnitud. No obstante, la reducción de la densidad de *P. cinnamomi* sólo ha sido significativa en la parcela testigo. Los trabajos desarrollados por Serrano *et al.* (2011a), en los cuales se evalúa el efecto de distintas sales de calcio en el ciclo de patogénesis de *P. cinnamomi* en condiciones controladas, han puesto de manifiesto que algunos compuestos cálcicos (entre los que se encuentran el carbonato y el sulfato), inhiben eficazmente la producción de esporangios y ligeramente la producción de clamidosporas, sin afectar a la producción de zoosporas infectivas a partir de los esporangios.

Los resultados obtenidos en este trabajo sugieren que las clamidosporas de resistencia presentes en el suelo tras el verano y las producidas durante el otoño, invierno y primavera han podido producir esporangios y estos germinar dando lugar a zoosporas infectivas cuando las condiciones de humedad y temperatura han sido favorables. Por esto la densidad disminuye entre los muestreos pero, al ser la reducción sólo significativa en las parcelas testigo, el calcio parece haber inhibido la producción de esporangios a partir de las clamidosporas, permaneciendo éstas como tal en el suelo y pudiendo ser recuperadas en el muestreo de primavera. Pero, dado que las clamidosporas tienen la capacidad de persistir en latencia durante un tiempo relativamente largo (Sánchez *et al.*, 2002; 2003), la presencia del calcio como agente inhibidor debería mantenerse en el tiempo. A medida que aumenta el pH del suelo disminuye la densidad de *P. cinnamomi* ( $r= -0,48$ ;  $p<0,05$ ), observándose también una relación negativa entre la concentración de calcio de cambio y la densidad del patógeno, aunque no llega a ser significativa. Si bien, y tal y como ponen de manifiesto los trabajos de Serrano *et al.* (2011a), el pH del suelo no tiene capacidad para inhibir la producción de esporangios y clamidosporas, si guarda una clara relación con la concentración de calcio de cambio ( $r=0,88$ ;  $p<0,01$ ). No hemos encontrado relación entre la densidad de *P. spiculum* y las variables edáficas consideradas.

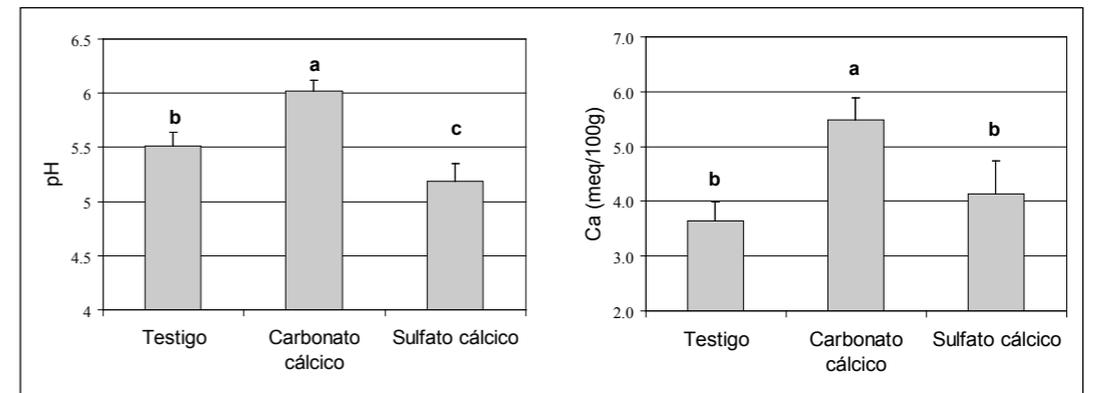


Figura 1. Valores medios de pH y Ca de cambio del suelo según tratamiento de enmienda cálcica. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p<0,05$ ) según el test LSD.

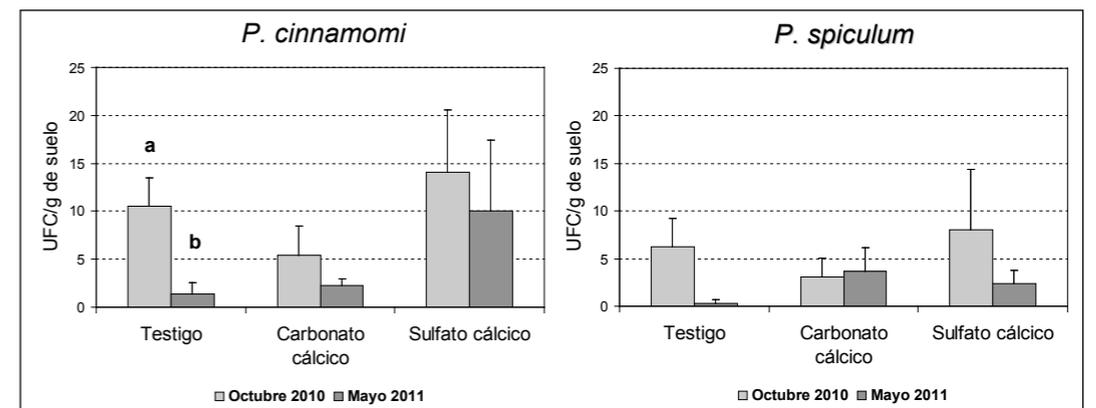


Figura 2. Densidad de inóculo de *Phytophthora cinnamomi* y *Pythium spiculum* en suelo (unidades formadoras de colonia por g de suelo -UFC/g-) antes y después de los tratamientos de enmiendas cálcicas. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p<0,05$ ) entre fechas de muestreos según el T-test.

La defoliación de la copa del arbolado aumenta significativamente en las parcelas testigo y se mantiene en los niveles del primer muestreo en las parcelas tratadas con carbonato cálcico. En las parcelas en las que se ha aplicado sulfato cálcico la defoliación aumenta, aunque sin diferencias significativas (fig. 3). El aumento de la defoliación media se ha debido a escasas brotaciones durante la primavera, a disminución de la densidad de hojas en sectores de copa y, en algunos individuos, a la pérdida total del follaje. En condiciones controladas Serrano *et al.* (2011b; 2011c), encuentran que la aplicación de calcio no reduce la capacidad de *P. cinnamomi* de infectar las raíces de encinas jóvenes, pero la severidad de los síntomas aéreos y radicales son menores que los observados en plantas de encinas que crecen en suelos infestados y no tratados. Además, parece que los árboles que muestran unos niveles adecuados de calcio, incrementan su nivel de tolerancia a la infección (Serrano *et al.*, 2011c), y además se reduce

la producción de esporangios desde las raicillas de plantas infectadas (Serrano *et al.*, 2011a), disminuyendo la tasa de infección y por lo tanto, la sintomatología de la podredumbre radical (Porrás *et al.*, 2010).

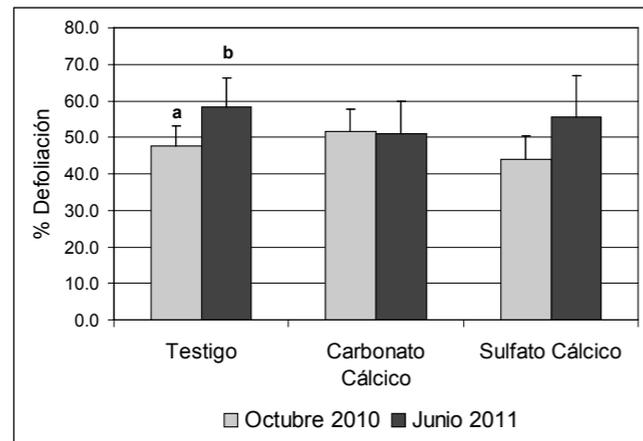


Figura 3. Defoliación de la copa de las encinas antes y después de los tratamientos de enmiendas cálcicas. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre fechas de muestreos según el T-test.

## CONCLUSIONES

La aplicación de productos cálcicos en aquellas dehesas que presentan problemas de podredumbre radical en las encinas y alcornoques parece ser una medida paliativa, confirmándose en condiciones de campo los resultados obtenidos en ensayos controlados: que el calcio actúa directamente reduciendo la producción de esporangios. Esto podría limitar la capacidad infectiva de *P. cinnamomi* en la dehesa. No obstante, y de cara a recomendar esta medida, es necesario continuar con el seguimiento de estas parcelas y obtener más datos que permitan fortalecer el conocimiento del patosistema *P. cinnamomi-Quercus*.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIER C.M. (1996) *Phytophthora cinnamomi* and oak decline in southern Europe. Environmental constraints including climate change. *Ann. Sci. For.*, **53**, 347-358.
- CALZADO C., FERNÁNDEZ-REBOLLO P. (2009). *Manual para el seguimiento del estado sanitario de la vegetación arbórea en la dehesa*. Sevilla, Consejería de Agricultura y Pesca y Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.
- COSTA J.C., MARTÍN A., FERNÁNDEZ R. Y ESTIRADO M. (2006) *Dehesa de Andalucía. Caracterización ambiental*. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.
- DÍAZ M., PULIDO F.J. Y MARAÑÓN T. (2003) Diversidad biológica y sostenibilidad ecológica y económica de los sistemas adehesados. *Ecosistemas*, **3**.

- FERNÁNDEZ P. Y PORRAS C.J. (1998) *La dehesa. Algunos aspectos para la regeneración del arbolado*. Sevilla (España), Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.
- GARCÍA A., CALZADO C., ESCUÍN S., GUERRERO J.E., FERNÁNDEZ P. Y GONZÁLEZ M.P. (2008) Detección de cambios en la cobertura de arbolado en dehesa mediante imágenes Landsat-TM y modelos lineales de mezclas espectrales. En: Fernández P. *et al.* (Eds) *Pastos, clave en la gestión de los territorios: Integrando disciplinas*, pp. 567-574. Córdoba, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- JIMÉNEZ J.J., SÁNCHEZ J.E., ROMERO M.A., BELBAHRI L., TRAPERO A., LEFORT F. Y SÁNCHEZ M.E. (2008) Pathogenicity of *Pythium spiculum* and *Pythium sterillum* on feeder roots of *Quercus rotundifolia*. *Plant Pathology*, **57**, 369.
- PORRAS C.J., CASAS C. Y PORRAS M. (2010). Nuevas experiencias de lucha contra el decaimiento del encinar. *Agricultura*, **935**, 920-925.
- SÁNCHEZ M.E., CAETANO P., FERRAZ J. Y TRAPERO A. (2002) *Phytophthora* disease of *Quercus ilex* in southwestern Spain. *For. Pathol.*, **32**, 5-18.
- SÁNCHEZ M.E., SÁNCHEZ J.E., NAVARRO R.M., FERNÁNDEZ P. Y TRAPERO A. (2003) Incidencia de la podredumbre radical causada por *Phytophthora cinnamomi* en masas de *Quercus* en Andalucía. *Bol. San. Veg. Plagas*, **29**, 87-108.
- SERRANO M.S., DE VITA P., FERNÁNDEZ P., SÁNCHEZ M.E. (2011a) Control de la podredumbre radical de encinas mediante fertilizantes inorgánicos II: efecto in vitro del Ca y el K en la capacidad infectiva de *Phytophthora cinnamomi*. *Bol. San. Veg. Plagas*, **37**, 109-118.
- SERRANO M.S., DE VITA P., FERNÁNDEZ P. Y SÁNCHEZ M.E. (2011b) Control de la podredumbre radical de encinas mediante fertilizantes inorgánicos III: efecto de la aplicación al suelo de fertilizantes cálcicos y potásicos. *Bol. San. Veg. Plagas*, **37**, 119-127.
- SERRANO M.S., DE VITA P., SÁNCHEZ M.E. Y FERNÁNDEZ P. (2011c) 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*. *Bol. San. Veg. Plagas*, **37**, 97-107.