



Gestión de dehesas afectadas por podredumbre radical del arbolado

P. Fernández-Rebollo

Dpto. Ingeniería Forestal, ETSIAM, Universidad de Córdoba. Campus de Rabanales, 14075 Córdoba,.

Correspondencia: pfernandez@uco.es



La podredumbre radical de los *Quercus* es una enfermedad causada por el oomiceto *Phytophthora cinnamomi*.

Pueden aparecer otras especies involucradas pero es *P. cinnamomi* la que está causando los daños más graves.

Es la responsable de la muerte de muchas encinas y alcornoques en las dehesas y montes del sur de la península.

El patógeno destruye el sistema radical del árbol.

Síntomas: similares a los de la sequía y deficiente nutrición mineral.

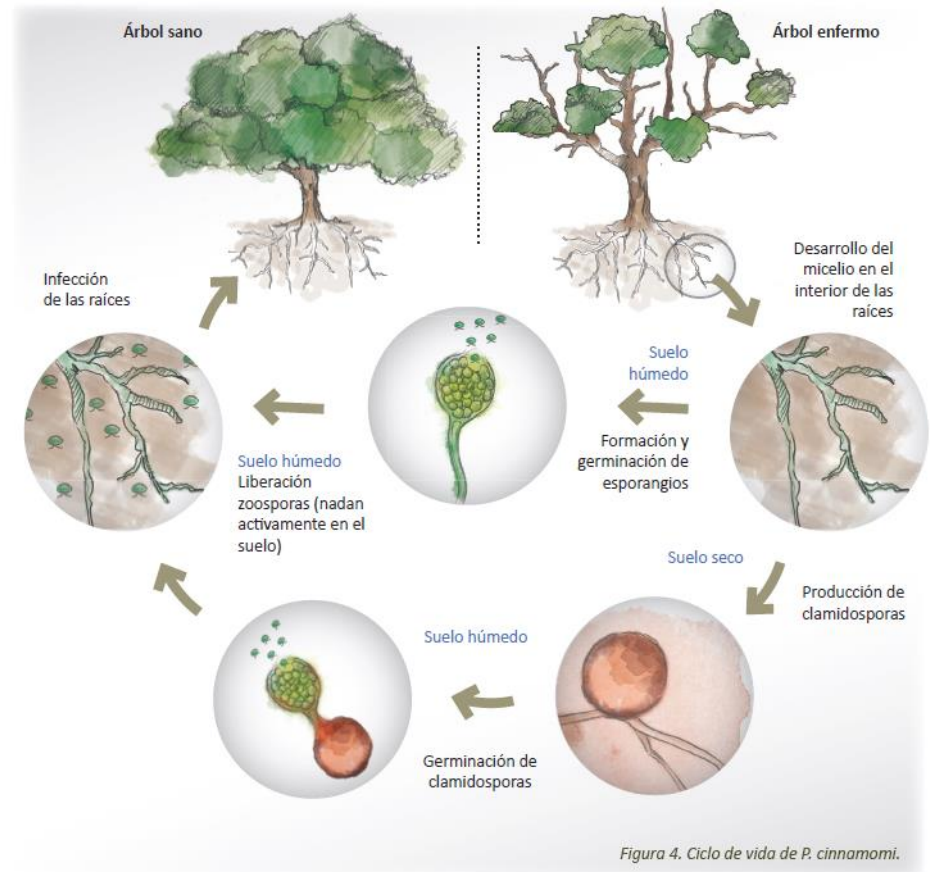


Figura 4. Ciclo de vida de *P. cinnamomi*.

Fuente: García, et al. 2016



Control de la enfermedad: difícil

Muchas plantas huésped. La mayor parte de las conocidas son leñosas. Poca información sobre herbáceas susceptibles. Algunos trabajos sugieren que muchas (Crone *et al.* 2013).

	Árboles	Matorrales y arbustos		Herbáceas
Desarrollan la enfermedad	<i>Quercus ilex</i> <i>Q. suber</i> <i>Castanea sativa</i> <i>Pinus pinaster</i> <i>Juglans</i> spp. <i>Prunus</i> spp.	<i>Cistus albidus</i> <i>C. crispus</i> <i>C. ladanifer</i> <i>C. populifolius</i> <i>C. salvifolius</i>	<i>Erica arborea</i> <i>Erica lusitanica</i> <i>Calluna vulgaris</i> <i>Genista</i> spp. <i>Ulex</i> spp.	<i>Lupinus</i> spp. <i>Veza</i> spp. <i>Hypochaeris glabra</i>
No desarrollan la enfermedad	<i>Fraxinus</i> spp. <i>Ficus carica</i> <i>Ceratonia siliqua</i> <i>Olea europaea</i>			<i>Avena</i> spp. <i>Triticum</i> spp.



Control de la enfermedad: difícil

Muchas plantas huésped. La mayor parte de las conocidas son leñosas. Poca información sobre herbáceas susceptibles. Algunos trabajos sugieren que muchas (Crone *et al.* 2013).

Las esporas de resistencia permanecen en el suelo durante mucho tiempo (Jung *et al.* 2013).

Clamidosporas:

supervivencia en condiciones secas entre años o eventos de lluvia

Agregados de hifas, hifas y vesículas encapsuladas en raíces de hospedantes:

supervivencia en condiciones muy secas a largo plazo



Control de la podredumbre radical: conjunto de actuaciones dirigidas a:

Limitar su propagación hacia zonas libres de enfermedad (contención)

Disminuir la densidad e infectividad de las esporas y propágulos en suelo en las zonas en las que está presente la enfermedad

Las actuaciones de control a llevar a cabo y su priorización dependen de la escala de análisis (espacio) y de la prevalencia de la enfermedad (tiempo)

Disminuir la densidad e infectividad de las esporas y propágulos en suelo en las zonas en las que está presente la enfermedad

Condiciones que favorecen el desarrollo de la enfermedad:

Planta huésped
Suelos húmedos
Temperaturas suaves

Años/periodos
secos

↓ Densidad e
infectividad

Años/periodos
húmedos

↑ Densidad e
infectividad



Disminuir la densidad e infectividad de las esporas y propágulos en suelo en las zonas en las que está presente la enfermedad

Evitar el cultivo/plantación de especies hospedantes pues aumentan la densidad de esporas y propágulos de enfermedad

En dehesas:

Evitar cultivo de altramuces (altramuz amarillo)

Evitar la fertilización nitrogenada (nitratos) pues estimulan la producción de esporangios



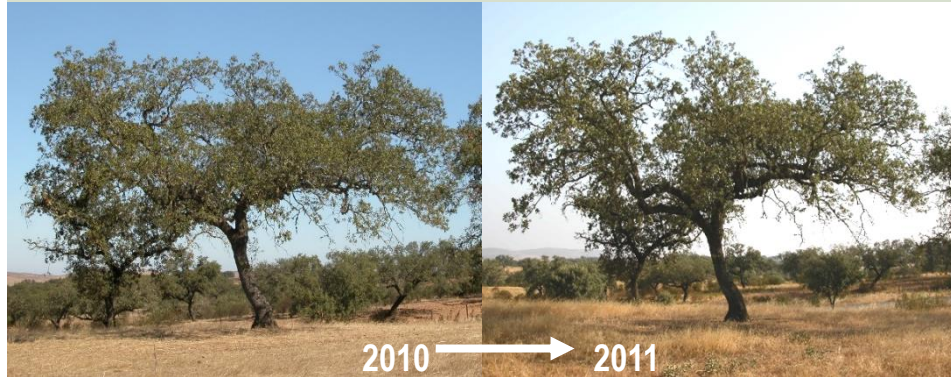
Disminuir la densidad e infectividad de las esporas y propágulos en suelo en las zonas en las que está presente la enfermedad

La aplicación de Ca al suelo (enmienda caliza) disminuye la densidad de esporas y propágulos de enfermedad

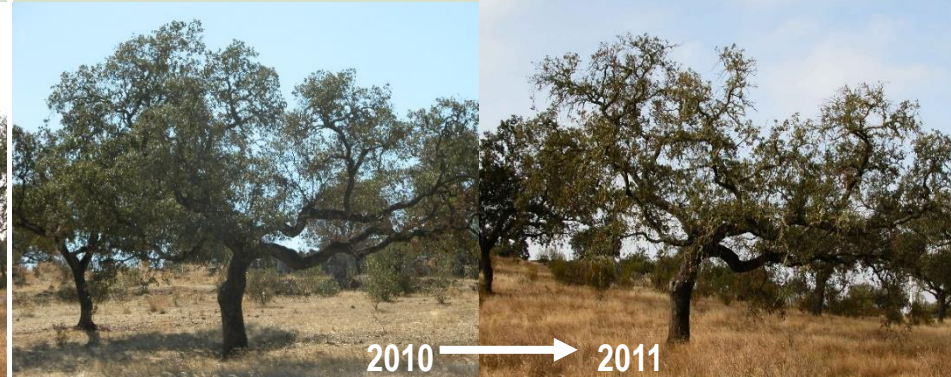
Productos que inhiben la producción de esporangios (CaO CaCO_3 CaSO_4)

Productos que inhiben la germinación de esporangios (CaO , CaSO_4 , CaCl_2)

Carbonato cálcico



Testigo



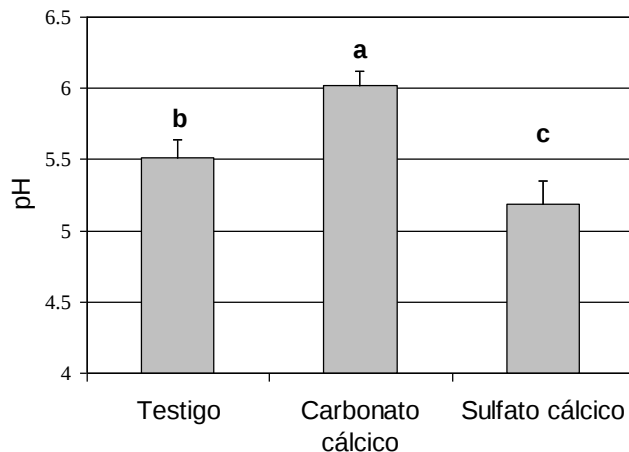
Disminuir la densidad e infectividad de las esporas y propágulos en suelo en las zonas en las que está presente la enfermedad

La aplicación de Ca al suelo (enmienda caliza) disminuye la densidad de esporas y propágulos de enfermedad

Productos que inhiben la producción de esporangios (CaO CaCO_3 CaSO_4)

Productos que inhiben la germinación de esporangios (CaO , CaSO_4 , CaCl_2)

Dosis de encalado: 1500-3000 kg/ha



Disminuir la densidad e infectividad de las esporas y propágulos en suelo en las zonas en las que está presente la enfermedad

La aplicación de Ca al suelo (enmienda caliza) disminuye la densidad de esporas y propágulos de enfermedad

Productos que inhiben la producción de esporangios (CaO CaCO_3 CaSO_4)

Productos que inhiben la germinación de esporangios (CaO , CaSO_4 , CaCl_2)

Dosis de encalado: 1500-3000 kg/ha

Producto. Según pH del suelo:

Si pH es < 5	CaCO_3
Si pH $5 > y < 6$	$\text{CaCO}_3 + \text{CaSO}_4$
Si pH es > 6	CaSO_4

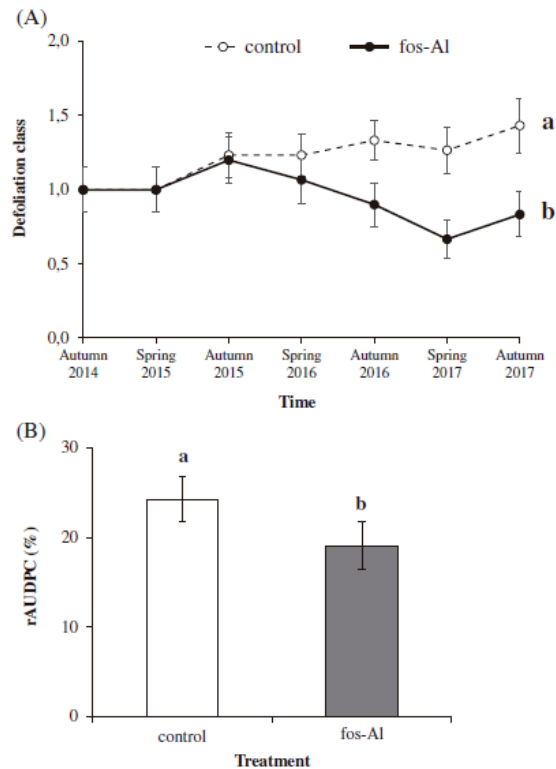
El Ca confiere a la encina cierta tolerancia a la enfermedad



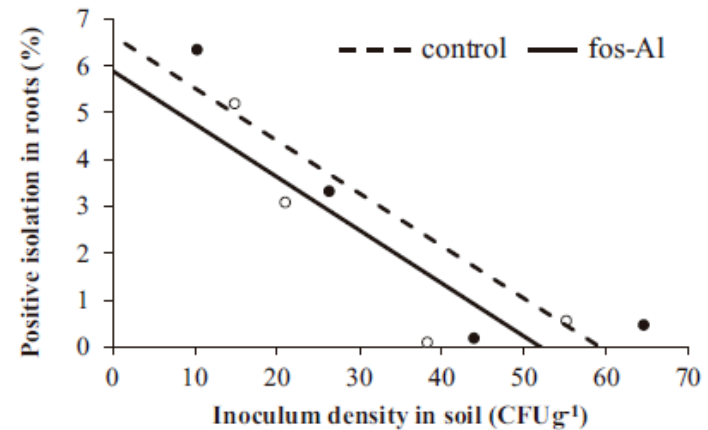
Disminuir la densidad e infectividad de las esporas y propágulos en suelo en las zonas en las que está presente la enfermedad

La aplicación de fosfonatos a encinas y alcornoques atenúa la severidad de la enfermedad (efecto terapéutico) y la formación de propágulos de enfermedad.

Acción preventiva en árboles sanos



Fosetil-Al mejor que Fosfito potásico

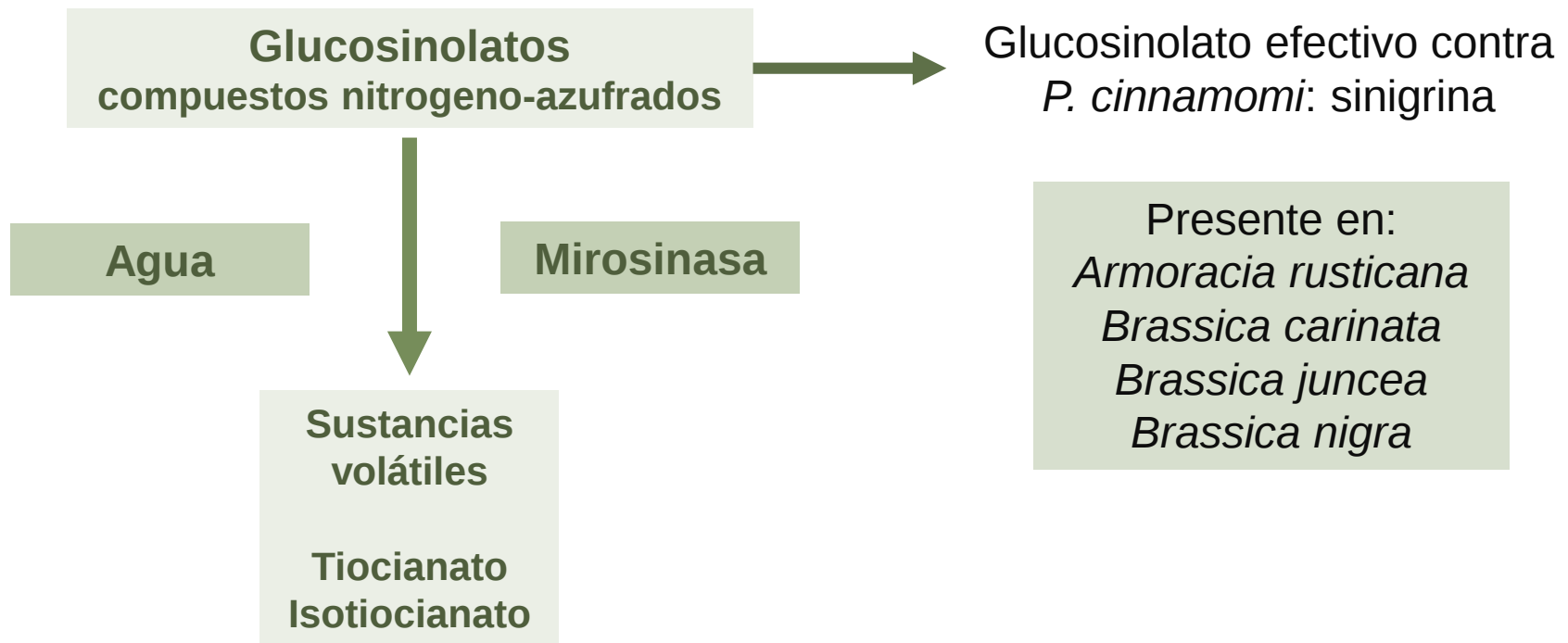


Trunk injection of fosetyl-aluminium controls the root disease caused by *Phytophthora cinnamomi* on *Quercus ilex* woodlands

Disminuir la densidad e infectividad de las esporas y propágulos en suelo en las zonas en las que está presente la enfermedad

Biofumigación: sustancias volátiles producidas por la degradación de la materia orgánica que se utiliza para el control de patógenos

Especies de *Brassicaceae*



Disminuir la densidad e infectividad de las esporas y propágulos en suelo en las zonas en las que está presente la enfermedad

Biofumigación: sustancias volátiles producidas por la degradación de la materia orgánica que se utiliza para el control de patógenos

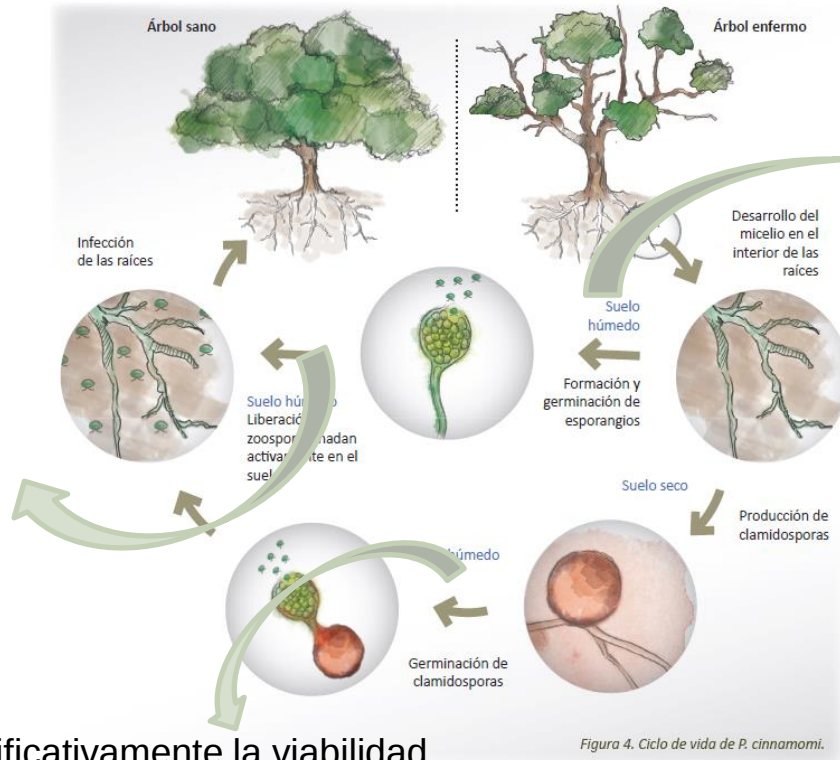


Figura 4. Ciclo de vida de *P. cinnamomi*.

La incorporación al suelo de hojas y tallos triturados de *B. juncea* en plena floración

Reduce significativamente el número de esporangios

No afecta a la producción de zoosporas

Reduce significativamente la viabilidad de las clamidosporas (50%)

Disminuir la densidad e infectividad de las esporas y propágulos en suelo en las zonas en las que está presente la enfermedad

Biofumigación: sustancias volátiles producidas por la degradación de la materia orgánica que se utiliza para el control de patógenos

¿Cómo hacer biofumigación en dehesa?

Cultivo de brasicas en dehesa y enterrado en verde



Disminuir la densidad e infectividad de las esporas y propágulos en suelo en las zonas en las que está presente la enfermedad

Biofumigación: sustancias volátiles producidas por la degradación de la materia orgánica que se utiliza para el control de patógenos

¿Cómo hacer biofumigación en dehesa?

Cultivo de Brasicas en dehesa y enterrado en verde

Brassica carinata (mostaza etíope)

Bc11-03 y Bc11-06

var. ELEVEN

Brassica juncea (mostaza india)

Bj11-04 y Bj11-05

var. SCALA

vars. KODIAC, PACIFIC GOLD, CALIENTE 99, EXTRA-RED y GREEN PIZZO

Brassica nigra (mostaza negra)

var. BRONS

Disminuir la densidad e infectividad de las esporas y propágulos en suelo en las zonas en las que está presente la enfermedad

Biofumigación: sustancias volátiles producidas por la degradación de la materia orgánica que se utiliza para el control de patógenos

¿Cómo hacer biofumigación en dehesa?

Cultivo de Brasicas en dehesa y enterrado en verde

B. carinata presenta una escasa adaptación a su cultivo en dehesa

B. juncea y *B. nigra* presenta buena adaptación

B. juncea fue más precoz, cubriendo antes el suelo

La producción de biomasa es mayor en el cultivo de *B. juncea* (11-4,8 t/ha) que en el de *B. nigra* (6,8-0,9 t/ha). Ni el método de siembra (líneas/voleo) ni el aporte de azufre (con/sin) afectaron a la producción.

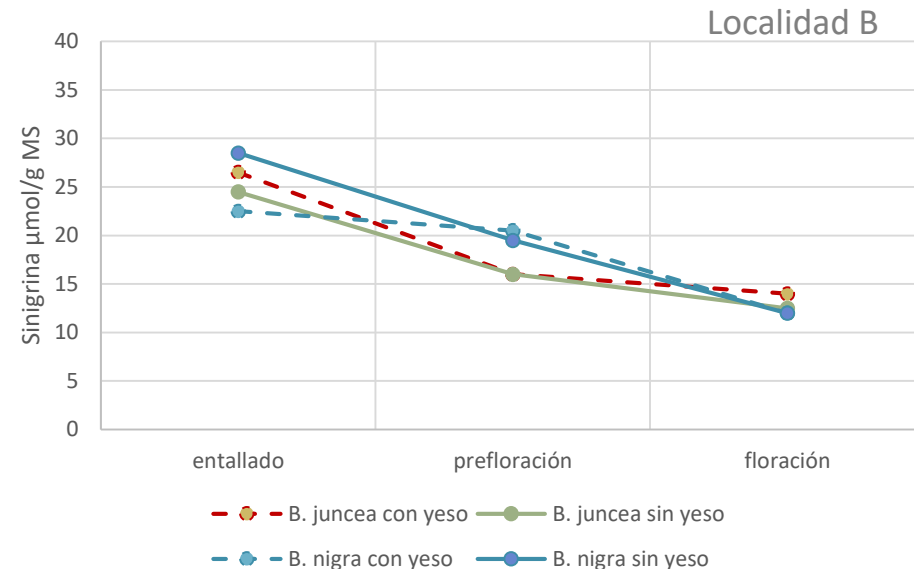
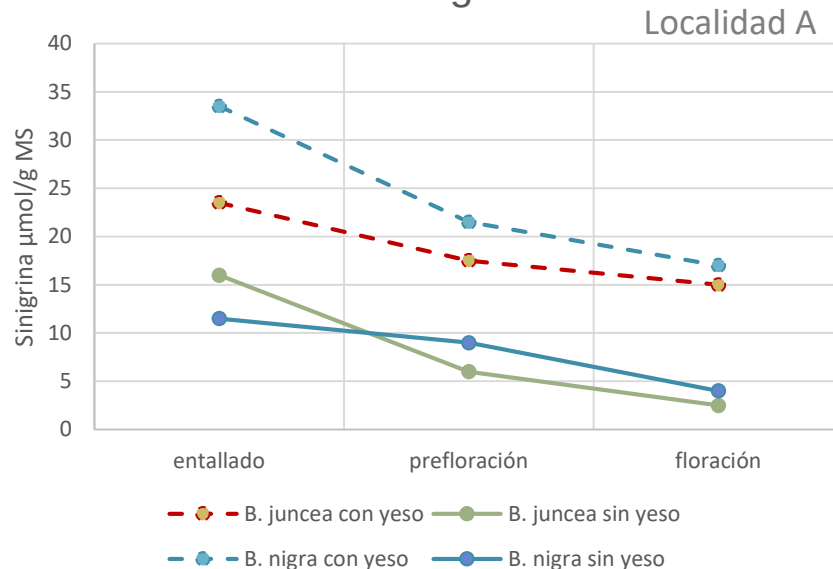
Disminuir la densidad e infectividad de las esporas y propágulos en suelo en las zonas en las que está presente la enfermedad

Biofumigación: sustancias volátiles producidas por la degradación de la materia orgánica que se utiliza para el control de patógenos

¿Cómo hacer biofumigación en dehesa?

Cultivo de Brasicas en dehesa y enterrado en verde

Concentración de sinigrina



Disminuir la densidad e infectividad de las esporas y propágulos en suelo en las zonas en las que está presente la enfermedad

Biofumigación: sustancias volátiles producidas por la degradación de la materia orgánica que se utiliza para el control de patógenos

¿Cómo hacer biofumigación en dehesa?

Cultivo de Brasicas en dehesa y enterrado en verde

El enterrado de estos cultivos puede hacerse desde el periodo de inicio de entallado hasta el periodo de plena floración, procurando la existencia de suficiente humedad en el suelo para que actúe la mirosinasa degradando la sinigrina hacia AITC.

En inicio de entallado, se estima que la producción de sinigrina estaría en el rango 30-50 kg ha⁻¹ y en plena floración podría ser algo mayor, 40-60 kg ha⁻¹

Precisa desarrollo de su implementación en campo

Disminuir la densidad e infectividad de las esporas y propágulos en suelo en las zonas en las que está presente la enfermedad

Biofumigación: sustancias volátiles producidas por la degradación de la materia orgánica que se utiliza para el control de patógenos

¿Cómo hacer biofumigación en dehesa?

La **deshidratación** reduce la concentración de sinigrina en planta (50%)

Su hidratación libera alil-isotiocianatos, aunque en baja cantidad

Para aportar una cantidad suficiente de sinigrina al suelo, deberían añadirse elevadas cantidades de material deshidratado al suelo (del orden de 15 t ha^{-1})

Conservación de biomasa de
Brasicas y aporte en momentos
adecuados: henificado y deshidratado

El **secado al sol** reduce la concentración de sinigrina en la planta (15%)

Su hidratación libera alil-isotiocianatos

En la operación de recogida y empaçado puede perderse hoja, la fracción más rica en compuestos biofumigantes

<i>B. juncea</i> var. SCALA	35	Hoja	Concentración de sinigrina ($\mu\text{mol/g MS}$)
	4	Tallo	

Disminuir la densidad e infectividad de las esporas y propágulos en suelo en las zonas en las que está presente la enfermedad

Biofumigación: sustancias volátiles producidas por la degradación de la materia orgánica que se utiliza para el control de patógenos

¿Cómo hacer biofumigación en dehesa?

Harina de semilla desengrasada
Restos tras la cosecha de semilla

Aporte mínimo de 1000-4000 kg de harina de semilla ha⁻¹

Subproductos de la industria del
aceite y biodiesel

Existen productos comerciales BioFence en pellets. Testado in vitro. Resultados no satisfactorios en planta

Precisa desarrollo de su
implementación en campo

Concentración de
sinigrina en semilla
($\mu\text{mol/g MS}$)

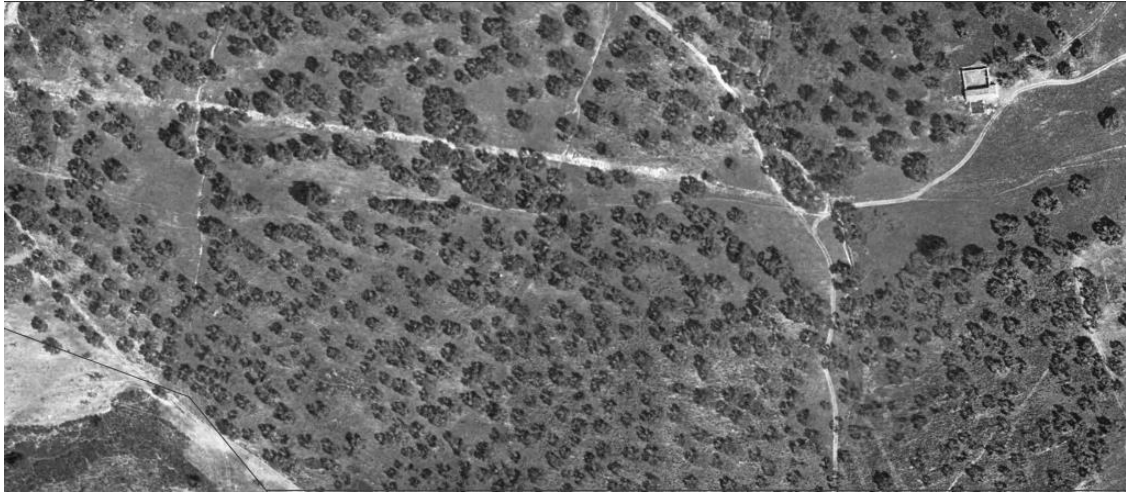
77

B. nigra var. BRONS

94

B. juncea var. SCALA

Imagen 77-83



¿Qué hacer?

Imagen 2009



Aplicación de calcio al suelo en toda la parcela

Aplicación de fosetyl-Al a los árboles vivos
con poca defoliación

Cultivo de *B. juncea* + yeso y enterado a comienzo de primavera (cortafuego)



Control de la podredumbre radical: conjunto de actuaciones dirigidas a:

Limitar su propagación hacia zonas libres de enfermedad (contención)

Disminuir la densidad e infectividad de las esporas y propágulos en suelo en las zonas en las que está presente la enfermedad

Las actuaciones de control a llevar a cabo y su priorización dependen de la escala de análisis (espacio) y de la prevalencia de la enfermedad (tiempo)

Limitar su propagación hacia zonas
libre de enfermedad (contención)

Vectores de propagación

Contacto raíz-raíz

corta distancia

Escorrentía y erosión de suelo

media distancia

Actividades humanas

media/larga distancia

Limitar su propagación hacia zonas
libre de enfermedad (contención)

Vectores de propagación

Contacto raíz-raíz

corta distancia

Escorrentía y erosión de suelo

media distancia

Actividades humanas

media/larga distancia

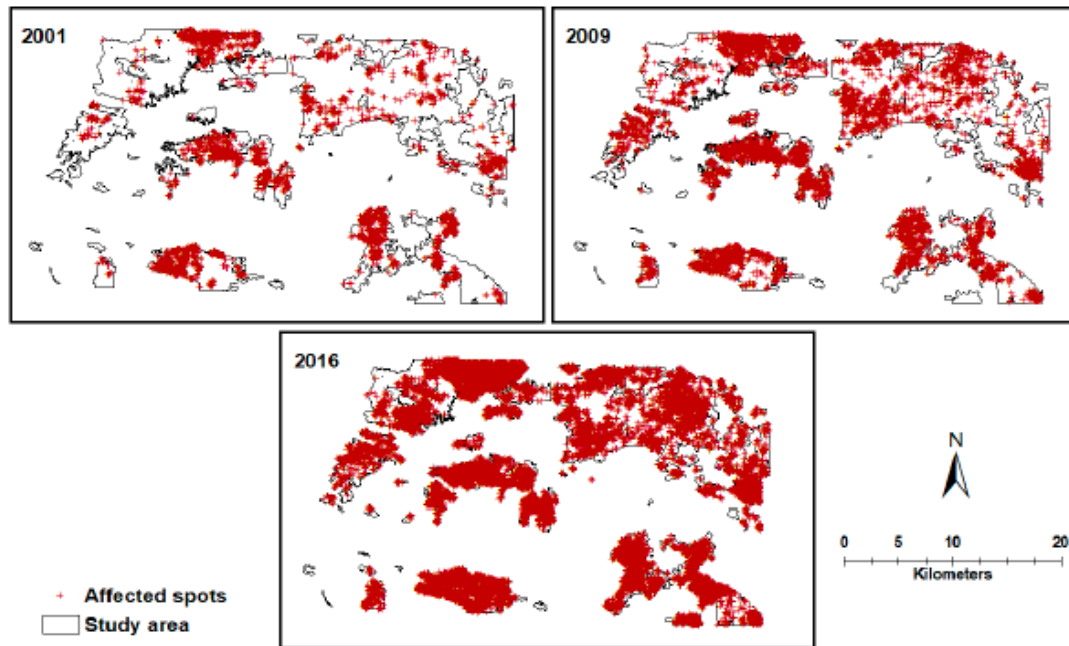


Figure 3. Newly affected spots (oak decline) identified through photo interpretation for the study area (*Dehesa* stands in El Andévalo region) in each individual year.

Limitar su propagación hacia zonas
libre de enfermedad (contención)

Vectores de propagación

Contacto raíz-raíz

corta distancia

Escorrentía y erosión de suelo

media distancia

Actividades humanas

media/larga distancia

Table 4. Relative importance of landscape predictors in Multivariate Adaptive Regression Splines models for each year. RI stands for relative importance based on the relative decrease of the residual sum of square (RSS) and Nsubsets stands for the number of subsets in which the variable was included. "Unused" indicates that this variable was not relevant for the discrimination between affected and healthy spots.

Variables	MARS model 2001			MARS model 2009			MARS model 2016		
	RI (%)	Nsubsets	Order of RI	RI (%)	Nsubsets	Order of RI	RI (%)	Nsubsets	Order of RI
SLOPE	100.0	24	1/8	100.0	15	1/8	100	18	1/7
REFOR	78.1	23	2/8	78.8	14	2/8	33.6	7	7/7
WATER	71.8	22	3/8	39.7	8	7/8	37.9	8	6/7
URBAN	66.5	21	4/8	66.5	12	4/8	80.4	16	3/7
ELV	54.0	18	5/8	71.3	13	3/8	75.1	15	4/7
TMI	40.9	14	6/8	24.5	5	8/8	56.3	12	5/7
ROADS	27.6	10	7/8	52.8	10	5/8	unused	unused	-
RESEV	17.3	6	8/8	44.7	9	6/8	87.4	17	2/7
FLOWAC	unused	unused	-	unused	unused	-	unused	unused	-
ASPECT	unused	unused	-	unused	unused	-	unused	unused	-

Limitar su propagación hacia zonas
libre de enfermedad (contención)

Vectores de propagación

Contacto raíz-raíz

corta distancia

Escorrentía y erosión de suelo

media distancia

Actividades humanas

media/larga distancia

Table 4. Relative importance of landscape predictors in Multivariate Adaptive Regression Splines models for each year. RI stands for relative importance based on the relative decrease of the residual sum of square (RSS) and Nsubsets stands for the number of subsets in which the variable was included. "Unused" indicates that this variable was not relevant for the discrimination between affected and healthy spots.

Variables	MARS model 2001			MARS model 2009			MARS model 2016		
	RI (%)	Nsubsets	Order of RI	RI (%)	Nsubsets	Order of RI	RI (%)	Nsubsets	Order of RI
SLOPE	100.0	24	1/8	100.0	15	1/8	100	18	1/7
REFOR	78.1	23	2/8	78.8	14	2/8	33.6	7	7/7
WATER	71.8	22	3/8	39.7	8	7/8	37.9	8	6/7
URBAN	66.5	21	4/8	66.5	12	4/8	80.4	16	3/7
ELV	54.0	18	5/8	71.3	13	3/8	75.1	15	4/7
TMI	40.9	14	6/8	24.5	5	8/8	56.3	12	5/7
ROADS	27.6	10	7/8	52.8	10	5/8	unused	unused	-
RESEV	17.3	6	8/8	44.7	9	6/8	87.4	17	2/7
FLOWAC	unused	unused	-	unused	unused	-	unused	unused	-
ASPECT	unused	unused	-	unused	unused	-	unused	unused	-

Limitar su propagación hacia zonas libre de enfermedad (contención)

Vectores de propagación

Contacto raíz-raíz

corta distancia

Escorrentía y erosión de suelo

media distancia

Actividades humanas

media/larga distancia

Table 4. Relative importance of landscape predictors in Multivariate Adaptive Regression Splines models for each year. RI stands for relative importance based on the relative decrease of the residual sum of square (RSS) and Nsubsets stands for the number of subsets in which the variable was included. "Unused" indicates that this variable was not relevant for the discrimination between affected and healthy spots.

Variables	MARS model 2001			MARS model 2009			MARS model 2016		
	RI (%)	Nsubsets	Order of RI	RI (%)	Nsubsets	Order of RI	RI (%)	Nsubsets	Order of RI
SLOPE	100.0	24	1/8	100.0	15	1/8	100	18	1/7
REFOR	78.1	23	2/8	78.8	14	2/8	33.6	7	7/7
WATER	71.8	22	3/8	39.7	8	7/8	37.9	8	6/7
URBAN	66.5	21	4/8	66.5	12	4/8	80.4	16	3/7
ELV	54.0	18	5/8	71.3	13	3/8	75.1	15	4/7
TMI	40.9	14	6/8	24.5	5	8/8	56.3	12	5/7
ROADS	27.6	10	7/8	52.8	10	5/8	unused	unused	-
RESEV	17.3	6	8/8	44.7	9	6/8	87.4	17	2/7
FLOWAC	unused	unused	-	unused	unused	-	unused	unused	-
ASPECT	unused	unused	-	unused	unused	-	unused	unused	-

Limitar su propagación hacia zonas
libre de enfermedad (contención)

Vectores de propagación

Contacto raíz-raíz	Escorrentía y erosión de suelo	Actividades humanas
corta distancia	media distancia	media/larga distancia

Actuaciones para mejorar la infiltración y reducir la erosión pueden redundar en tasas de propagación más lentas:

En dehesas:

- Pastoreo finales de verano-principios otoño (romper costras)
- No pastorear en otoño cuando la hierba inicia el crecimiento (raíces mejora drenaje)
- Evitar cargas ganaderas altas en condiciones de elevada humedad del suelo
- Mejorar el drenaje: labores verticales (subsolado) en laderas según curvas de nivel
- Dejar un residuo herbáceo al final del verano
- En laderas mantener la rugosidad del terreno (franjas de matorral)

Limitar su propagación hacia zonas
libre de enfermedad (contención)

Vectores de propagación

Contacto raíz-raíz	Escorrentía y erosión de suelo	Actividades humanas
corta distancia	media distancia	media/larga distancia

Evitar actuaciones que impliquen movimiento de suelo en zonas con presencia de enfermedad puede redundar en tasas de propagación más lentas:

En dehesas:

- Evitar cultivos agrícolas

- Evitar control del matorral con laboreo (mejor desbroces)

- Mantenimiento de áreas cortafuegos preferentemente con pastoreo, siega/desbroce

- Evitar construcción de nuevos caminos/cortafuegos en focos

Evitar acopio de tierra, arena para obras de zonas con presencia de la enfermedad

Limitar su propagación hacia zonas
libre de enfermedad (contención)

Vectores de propagación

Contacto raíz-raíz	Escorrentía y erosión de suelo	Actividades humanas
corta distancia	media distancia	media/larga distancia

Limitar el transito de vehículos, máquinas, animales y personas en zonas con presencia de enfermedad puede redundar en tasas de propagación más lentas

En dehesas:

Organizar actividades que impliquen movimiento de vehículos en los periodos en los que el suelo esté seco

No colocar comederos/bebederos en focos

Limitar su propagación hacia zonas
libre de enfermedad (contención)

Vectores de propagación

Contacto raíz-raíz

corta distancia

Escorrentía y erosión de suelo

media distancia

Actividades humanas

media/larga distancia

Limpieza de vehículos, aperos, animales y calzado a la salida de un foco de enfermedad (o a la entrada en una zona sin enfermedad) puede redundar en tasas de propagación más lentas

En dehesas:

Vadenes sanitarios

Pediluvios para el ganado (portátiles)

Duchas para el ganado

Limitar su propagación hacia zonas
libre de enfermedad (contención)

Vectores de propagación

Contacto raíz-raíz	Escorrentía y erosión de suelo	Actividades humanas
corta distancia	media distancia	media/larga distancia

Utilizar planta forestal/ornamental en trabajos de repoblación/jardinería enferma implica la aparición de nuevos focos y la extensión de la enfermedad

En dehesas:

Utilizar planta forestal libre de enfermedad en densificaciones/regeneración de zonas libres de enfermedad

Si no hay suficiente garantía, mejor regeneración natural y siembras de bellotas

Recoger bellotas en zonas libres de enfermedad (o en su caso desinfestarlas)



Muchas gracias por su atención

Gestión de dehesas afectadas por podredumbre radical del arbolado

P. Fernández-Rebollo

Dpto. Ingeniería Forestal, ETSIAM, Universidad de Córdoba. Campus de Rabanales, 14075 Córdoba,.

Correspondencia: pfernandez@uco.es