

Los fungicidas cúpricos en el control de las enfermedades del olivo

L.F. Roca; J.R. Viruega; A. Ávila; R. Oliveira;
F. Marchal; J. Moral; A. Trapero.

Departamento de Agronomía. ETSIAM. Universidad de Córdoba. España.

Las enfermedades causadas por hongos en el olivo han sido controladas tradicionalmente mediante el uso de fungicidas cúpricos de carácter protector. No obstante, aún es necesario profundizar en el conocimiento de algunos aspectos relacionados con su utilización y también en la búsqueda de posibles tratamientos alternativos o complementarios.

Los fungicidas cúpricos se emplean en el olivar para el control de las enfermedades fúngicas conocidas genéricamente como "repilos" debido a la defoliación que producen en los árboles. De éstos, el más conocido es el repilo (foto 1) causado por *Spillocaea oleagina*, pero también se incluyen bajo esta denominación el emplomado (foto 2) causado por *Pseudocercospora cladosporioides* y la antracnosis (foto 3) causada por *Colletotrichum* spp. Asimismo, están indicados contra la tuberculosis (foto 4), enfermedad causada por la bacteria *Pseudomonas savastanoi* pv. *savastanoi*. El diagnóstico en campo de estas enfermedades es relativamente fácil, ya que

presentan síntomas característicos, al menos en condiciones favorables para su desarrollo. La medida de lucha más utilizada es la aplicación de fungicidas, entre los que destacan los protectores, que actúan previniendo la infección, y en menor medida, los sistémicos, caracterizados por su efecto erradicador de las infecciones. Entre los primeros destacan, por su amplia utilización, los productos cúpricos (cuadro 1), los cuales, en forma de diversas sales y numerosas formulaciones comerciales, actúan como protectores, inhibiendo la germinación de las esporas fúngicas o la multiplicación de las bacterias. Aunque se vienen utilizando en el olivar desde poco después de su descubrimiento por Millardet en 1885, el conocimiento sobre su eficacia contra las enfermedades o sobre sus efectos secundarios en el olivar es aún limitado. Por ello, el grupo de Patología Agroforestal de la Universidad de Córdoba inició en 1997 una línea de investigación sobre estos aspectos, cuyos resultados más relevantes se exponen a continuación en relación con: momentos de aplicación, eficacia frente a los patógenos, eficacia contra la infección, persistencia en hoja, efectos secundarios y alternativas al cobre.

Momentos de aplicación

Dado el carácter preventivo de los tratamientos, es crucial elegir el momento de aplicación. Éste dependerá de la persistencia del fungicida, del tipo de enfermedad, de lo favorecedor del ambiente, de la susceptibilidad del cultivar y del nivel de infección existente. A falta de un sistema predictivo, que está siendo validado actualmente en campo, se recomienda realizar los tratamientos a principio del otoño y a final del invierno,

principales períodos de infección de *S. oleagina* (figura 1). Estos tratamientos son válidos contra *Colletotrichum* y *Pseudocercospora*, aunque en años favorables pueden resultar insuficientes (figura 2). Un período crítico para la in-

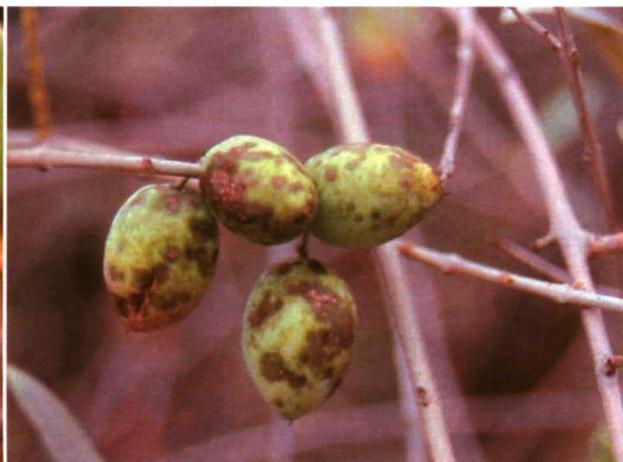


Foto 1. Repilo.
Spillocaea oleagina.

Foto 2. Emplomado. *Pseudocercospora cladosporioides*.

fección de *S. oleagina* es la primavera, si ésta se presenta fresca y lluviosa y hay abundancia de inóculo, por lo que es recomendable al menos un tratamiento en esta época que proteja las hojas nuevas de las infecciones. Estas infecciones permanecen latentes durante el verano, sin producir caída de las hojas, y constituyen la fuente de inóculo principal para las infecciones de otoño-invierno.



Eficacia frente a los patógenos

Las sales de cobre actúan inhibiendo la germinación de las esporas fúngicas, dependiendo dicho efecto de la concentración del ión Cu^{2+} (figura 3). Las diferencias en la eficacia entre productos se deben a la solubilidad del cobre o a la sensibilidad del patógeno. Se ha comprobado que esta última característica varía significativamente entre productos y entre patógenos. Dado el carácter tóxico del ión Cu^{2+} , es muy improbable la existencia de poblaciones fúngicas resistentes o

Cuadro I.

Fungicidas cúpricos registrados en el olivar en 2006.

MATERIA ACTIVA	ABREVIATURA	PRODUCTOS
Oxicloruro de cobre	OC	72
Sulfato cuprocálcico	SC	30
Óxido de cobre	OX	20
Hidróxido de cobre	HX	28
Oxicloruro cuprocálcico	OCC	2
Sulfato tribásico de cobre	ST	5
Sulfato de cobre	SF	2
Oxicloruro + sulfato de cobre	OS	1
Cubiet	CB	2
TOTAL		162

Fuente: Anónimo (2007); Liñán (2006).



Foto 3. Tuberculosis. *Pseudomonas savastanoi*



Foto 4. Antracnosis. *Colletotrichum* spp.

tolerantes a los fungicidas cúpricos, cosa que sí ocurre en el caso de *Ps. savastanoi*, como se ha confirmado en muestreos de campo. Un efecto adicional de los fungicidas cúpricos sobre estos patógenos se manifiesta mediante la reducción del inóculo producido en los tejidos afectados y de su viabilidad, habiéndose observado reducciones de hasta el 95% de la germinación de las esporas producidas en las lesiones de hojas de plántones afectados por *S. oleagina*. También se ha observado una reducción de las poblaciones de *Ps. savastanoi* en olivos tratados con cobre.

Eficacia contra la infección

La evaluación de fungicidas contra estas enfermedades se ha realizado tradicionalmente en condiciones de campo, con las limitaciones que ello conlleva para controlar el momento de aplicación, nivel de inóculo y severidad de las infecciones. Recientemente se han desa-

Figura 1.

Incidencia de repilo (*S. oleagina*) en olivos sometidos a distintas estrategias de lucha (convencional y dirigida según riesgos de infección).

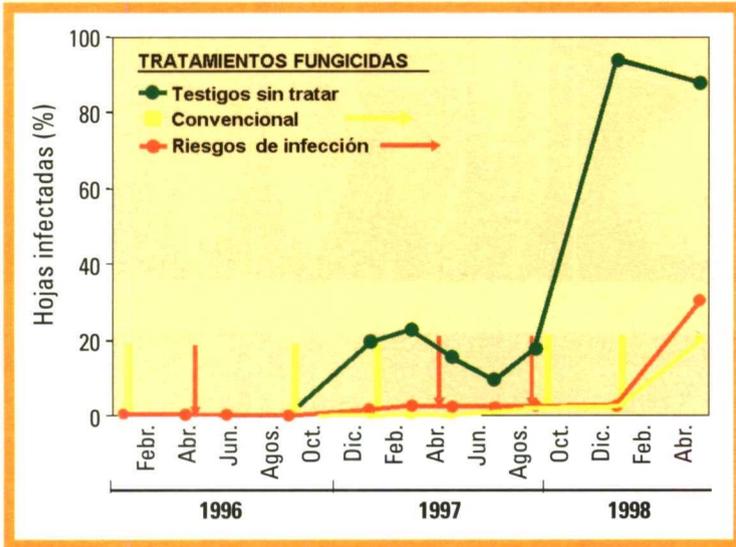


Figura 2.

Evolución temporal de la producción relativa de inóculo de los hongos causantes de los "repilos" del olivo.

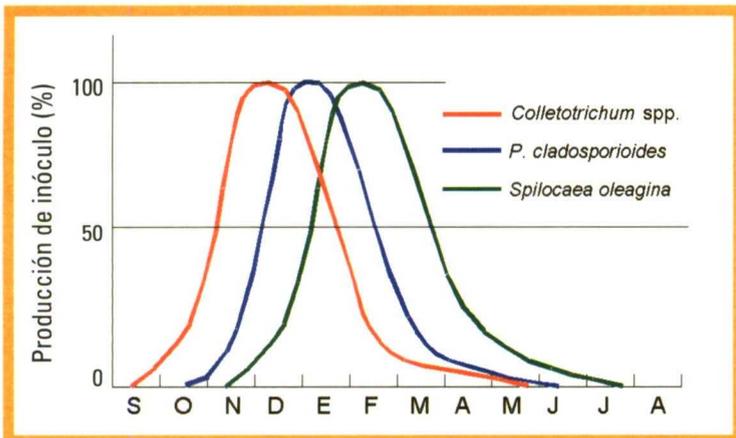


Figura 3.

Porcentaje de inhibición de la germinación de las esporas fúngicas en función de la dosis de cobre.

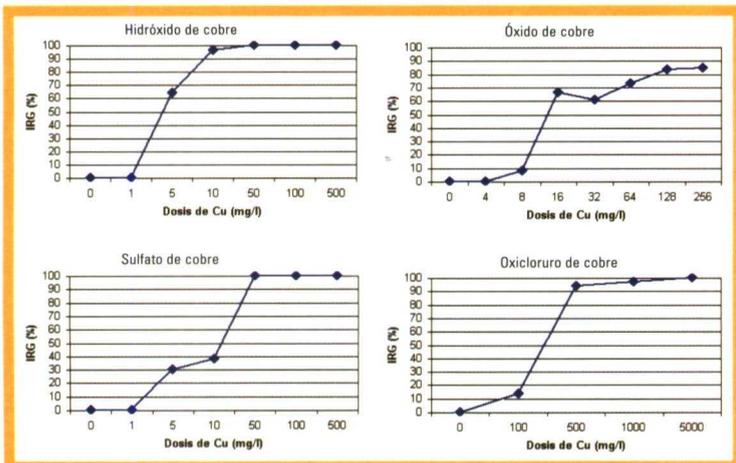


Figura 4.

Efecto preventivo y curativo de fungicidas sobre la infección de *Spilocaea oleagina* en plantones inoculados artificialmente.

En cada momento de aplicación, barras con la misma letra no difieren significativamente ($p=0,05$).

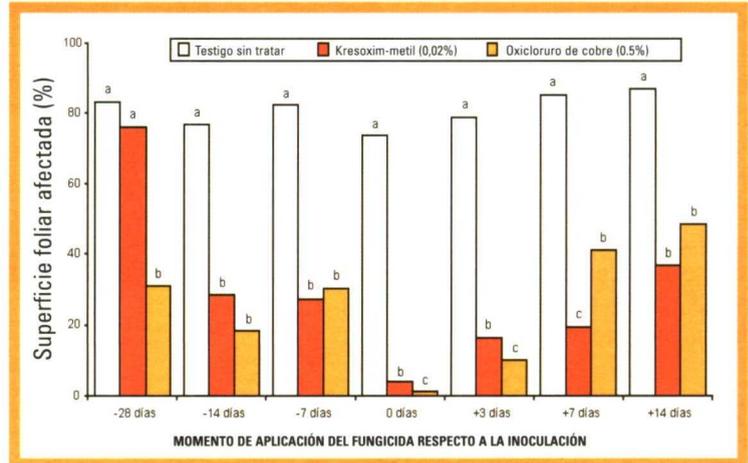


Figura 5.

Inhibición de la severidad de las infecciones en función de la cantidad de cobre aplicada.

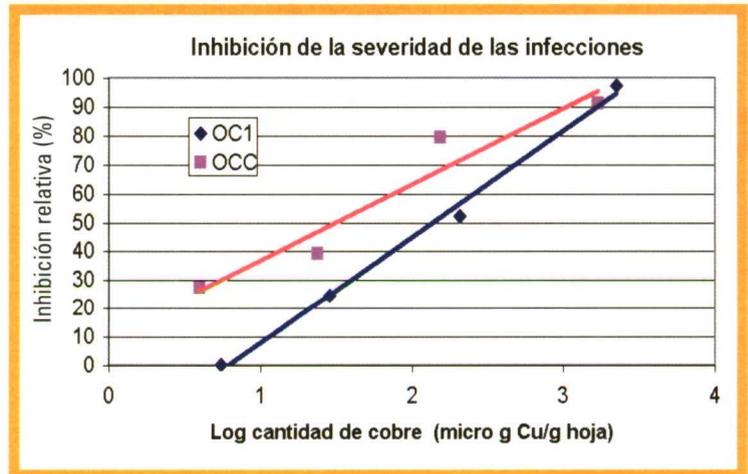
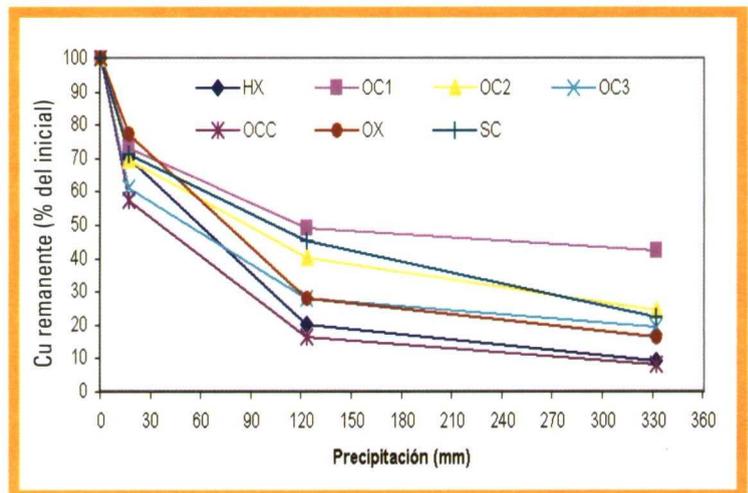


Figura 6.

Cantidad de cobre residual sobre hojas sometidas al lavado de forma artificial o bajo lluvia.



rollado métodos que permiten la evaluación de la eficacia de fungicidas en condiciones controladas frente a *S. oleagina* y *P.s. savastanoi*, que permiten superar dichos inconvenientes y que han puesto de manifiesto el marcado efecto protector de los productos cúpricos (figura 4). Esta metodología se está empezando a aplicar para las infecciones en aceituna por *Colletotrichum* spp. y todavía no se ha desarrollado para *Ps. cladosporioides*.

Persistencia en hoja

El uso de inoculaciones artificiales de hojas y plantones de olivo ha permitido establecer una relación entre la cantidad de cobre depositada en hoja y el nivel de infección (figura 5). Esta relación, aunque varía con el producto cúprico aplicado, podría utilizarse para determinar la necesidad de nuevas aplicaciones en campo para el control del repilo. Por ello, la persistencia o resistencia al lavado por lluvia es un factor determinante en los productos cúpricos. Mediante espectrofotometría de absorción atómica se puede medir la cantidad de cobre residual sobre hojas sometidas a lavado de forma artificial o bajo lluvia. Este método ha puesto de manifiesto la existencia de diferencias entre productos, principalmente relacionadas con la formulación comercial y no con el tipo de sal cúprica. Un ejemplo muy significativo en este sentido es que una formulación de oxiclورو de

Figura 7.

Efecto defoliante de varios productos cúpricos aplicados en plantones afectados por el repilo causado por *S. oleagina*.

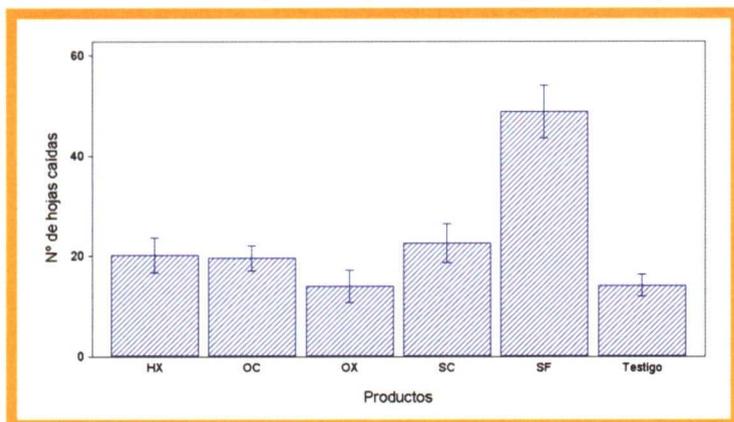
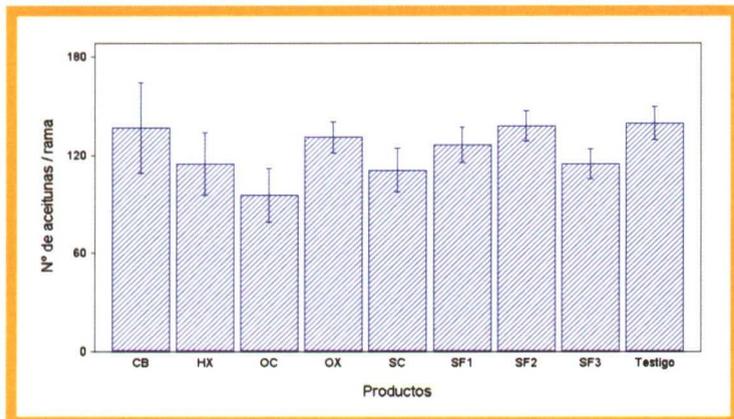


Figura 8.

Efecto de varios productos cúpricos aplicados en olivos en floración sobre el número final de frutos cuajados por rama.



Cuproflow

El **cobre pasta**, persistente, eficaz y selectivo, de máxima acción fungicida y bactericida.



ISAGRO ESPAÑA

Maldonado, 63, C 2º 28006 Madrid
Tel. 91 402 30 40 - Fax. 91 401 30 59

cobre (OC1) resultó entre los productos más resistentes al lavado, mientras que otra formulación comercial de la misma sal (OCC) resultó de los más sensibles al lavado (**figura 6**).

Efectos secundarios

El ión Cu^{2+} puede resultar fitotóxico, por lo que es empleado como defoliante en frutales. En olivo, el cobre puede penetrar por las aberturas producidas por el repilo y causar caída selectiva de las hojas afectadas. En plantones y olivos afectados por repilo se ha comprobado que ciertas formas solubles de cobre, como el sulfato de cobre puro, inducen una mayor caída de hojas con lesiones (**figura 7**). Asimismo, teniendo en cuenta la importancia que puede tener el tratamiento de primavera bajo determinadas condiciones climatológicas, se ha estudiado el posible efecto del cobre aplicado en floración, aunque dada la abundante floración del olivo, no parece afectar al número final de frutos cuajados por rama (**figura 8**).

Figura 9.

Efecto de bioactivadores vegetales utilizados como inductores de resistencia sobre la severidad de las infecciones de *S. oleagina* en plantones de olivo. Tratamientos cinco días antes de la inoculación (1) y cinco días después (2).

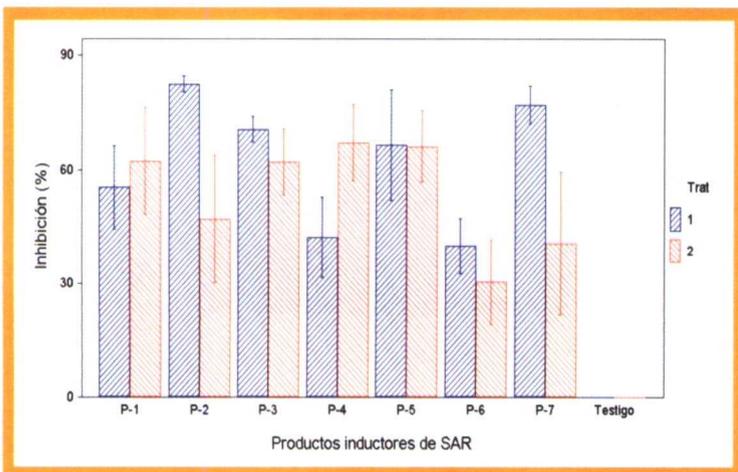
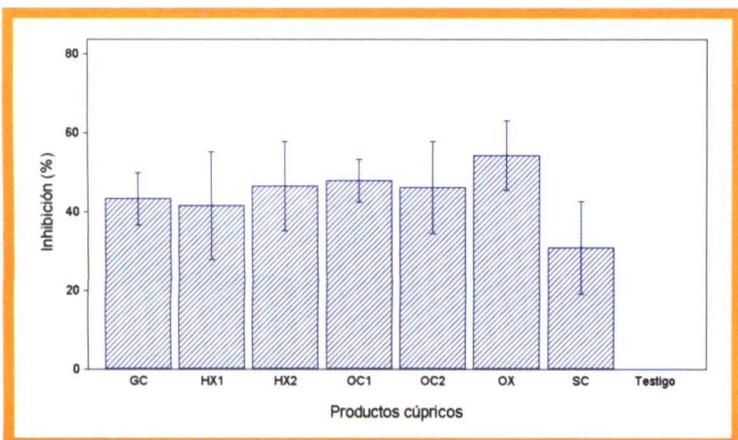


Figura 10.

Efecto de productos cúpricos empleados como inductores de resistencia sobre la severidad de las infecciones de *S. oleagina* en plantones de olivo.



Alternativas al cobre

La necesidad de reducir el impacto de los fungicidas sobre el ambiente está propiciando el desarrollo de nuevas materias activas más compatibles ambientalmente, así como de medidas alternativas de control. Una de estas alternativas es la utilización de microorganismos antagonistas o de productos de origen biológico. El grupo de Patología Agroforestal de la Universidad de Córdoba, ha seleccionado algunas cepas fúngicas y bacterianas procedentes de hojas de olivo que se han mostrado eficaces frente al patógeno, tanto *in vitro* como en plantones inoculados artificialmente. Son también numerosos los fungicidas "ecológicos" disponibles en el mercado, generalmente a base de sustancias naturales, y que también se están evaluando frente a los repilos. Algunos de estos productos podrían actuar como inductores de resistencia, provocando mecanismos propios de defensa de la planta, fenómeno que se conoce como "resistencia sistémica adquirida" (SAR) y que ya se utiliza en diversos cultivos. En olivo también se ha demostrado su eficacia frente al repilo en condiciones controladas (**figura 9**) y se ha comprobado que incluso algunas sales de cobre poseen esta capacidad inductora (**figura 10**). ■

Bibliografía

Registro de productos fitosanitarios. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2007. www.mapa.es/es/agricultura/pags/fitos/registro/menu.asp

Campillo, R. 1998. Los productos cúpricos en la olivicultura actual. *Phytoma España* 102: 159-167

Gullino, M. L., Kuijpers, L. A. M. 1994. Social and political implications of managing plant diseases with restricted fungicides in Europe. *Annu. Rev. Phytopathol.* 32: 527-547.

Hammerschmidt, R., Kuc, J. 1995. Induced resistance to disease in plants. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 182 pp.

James, J. R., Tweedy, B. G., Newby, L. C. 1993. Efforts of industry to improve the environmental safety of pesticides. *Annu. Rev. Phytopathol.* 31: 423-439.

Liñán, C. 2006. Vademécum de productos fitosanitarios 2006. Ed. Agrotécnicas S.L. 766 pp.

Marchal, F., Alcántara, E., Roca, L.F., Boned, J., Trapero, A. 2003. Evaluación de la persistencia de fungicidas cúpricos en hoja de olivo. *Vida Rural* 176: 52-56.

Ramos, 1973. Ensayos de la lucha contra el repilo del olivo en Granada. V. Acción defoliante de algunos fungicidas. *Bol. Infor. Plagas* 111: 45-51.

Roca, L.F., Trapero, A. 2004. Efecto de los fungicidas cúpricos sobre la floración del olivo. XII Congreso de la Sociedad Española de Fitopatología, 26 septiembre - 1 octubre, Gerona.

Roca, L.F., Alsalmiya, M., Trapero, A. 2006a. Resistencia sistémica adquirida en olivo al Repilo causado por *Spilocaea oleagina*. XIII Congreso de la Sociedad Española de Fitopatología, septiembre 2006, Murcia.

Roca, L.F., Marchal, F., Chmiti, A., Trapero, A. 2006b. Influencia de la cantidad de cobre depositado en hojas de olivo sobre la infección por *Spilocaea oleagina*. XIII Congreso de la Sociedad Española de Fitopatología, septiembre 2006, Murcia.

Sánchez Pacheco, N. 1999. Evaluación *in vitro* de fungicidas contra *Spilocaea oleagina*, agente del Repilo del olivo. Trabajo de Investigación Fin de Carrera, ETSIAM, Univ. de Córdoba, Córdoba. 151 pp.

Segura, R., Trapero, A. 2001. Screening of epiphytic fungi from olive leaves for the biological control of *Spilocaea oleagina*. *Biological Control of Fungal and Bacterial Plant Pathogens IOBC wprs Bulletin* Vol. 24. 187.

Teviotdale, B.L., Krueger, B. 2004. Effects of timing of copper sprays, defoliation, rainfall, and inoculum concentration on incidence of olive knot disease. *Plant Dis.* 88: 131-135.

Trapero, A., Blanco, M.A. 2004. Enfermedades. In: *El Cultivo del olivo*. Barranco, D., Fernández Escobar, R., Rallo, L., eds. Junta de Andalucía y Mundi-Prensa. Madrid, pp 517-664

Trapero, A., Roca, L.F. 2004. Bases epidemiológicas para el control integrado de los "Repilos" del olivo. *Phytoma España* 164: 130-137.

Viruega, J.R., Trapero, A., Moreno, S. 2002. Efficacy of Kresoxim-methyl against olive leaf spot caused by *Spilocaea oleagina*. *Acta Hort.* 586: 801-804.

Waard, M.A. De, Georgopoulos, S.G., Hollomon, D.W., Ishii, H., Leroux, P., Ragsdale, N.N., Schwinn, F.J. 1993. Chemical control of plant diseases: problems and prospects. *Annu. Rev. Phytopathol.* 31: 403-421.

presentan mayor fiabilidad. Estos modelos simulan los procesos físicos que suceden en la atmósfera, los océanos y la superficie terrestre, para diferentes grados de emisiones. Los modelos MCGA-OA muestran como resultado las variaciones que se prevén en relación a un clima de referencia.

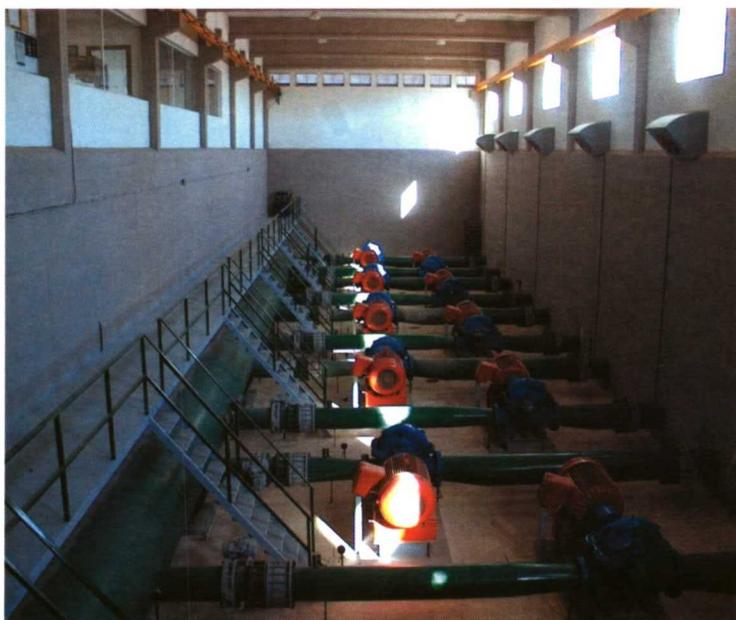
Para este trabajo se ha usado el modelo de cambio climático HadCM3, el cual es un MCGA-OA desarrollado en el Hadley Centre for Climate Prediction and Research (Reino Unido) (Gordon *et al.*, 2000; Pope *et al.*, 2000). El modelo tiene una resolución de 2,5° x 3,75° (latitud x longitud), lo que implica un tamaño de píxel para España de 280 x 320 km. HadCM3 predice el clima mundial a primeros (2020), mediados (2050) y finales (2080) del siglo XXI. Debido al tamaño del píxel, los resultados de estos modelos son aplicados a climas de referencia más detallados mediante técnicas de *downscaling*. En esta ocasión se ha usado el clima de referencia desarrollado por New *et al.* (2002) con una resolución espacial de 10'.

Al no conocerse a ciencia cierta cómo evolucionarán los niveles de emisiones durante este siglo, los modelos MCGA-OA deben considerar distintos posibles escenarios futuros. El modelo HadCM3 usa los escenarios desarrollados por el IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) y conocidos como SRES (Special Report on Emission Scenarios) (Nakicenovic *et al.*, 2000). En este trabajo se han usado los escenarios A2 y B2 (altas y bajas emisiones respectivamente).

Impacto del cambio climático en la evapotranspiración y precipitación

Dos son las variables climáticas que determinan las necesidades de agua de riego: evapotranspiración y precipitación. Aplicando los cambios que el modelo HadCM3 prevé para España al clima de referencia, los valores totales anuales de ambas variables fueron calculados tanto para el clima actual como para los escenarios futuros. Los resultados obtenidos fueron representados en un Sistema de Información Geográfica (SIG) y se muestran en las **figuras 1 y 2**.

Como muestran las **figuras 1 y 2**, se espera un considerable incremento de la evapotranspiración y una considerable reducción de las precipitaciones. A modo de resumen, en el **cuadro 1** se muestran los valores promedio de P y ET₀ de todos los píxeles en que se divide el



Los picos de demanda de agua de riego, en parte debidos a un aumento de la evapotranspiración, pueden tener un efecto importante en las redes de riego actuales.

país. En el caso de la ET₀ para mediados del siglo XXI se esperan incrementos de más del 8% y para finales de siglo, los incrementos serán de más del 20%. Para las precipitaciones, se prevé una pequeña disminución para mediados de siglo de aproximadamente el 5% y una más acusada para finales, especialmente en el escenario A2.

Definiendo un indicador agroclimático

En el apartado anterior se ha mostrado la evolución de los valores totales anuales de precipitación y ET₀. No obstante, los modelos prevén variaciones en su distribución temporal. Para relacionar la evolución de dichas variables a lo largo del año se ha empleado el indicador agroclimático PSMD (Potential Soil Moisture Deficit o Déficit Potencial de Agua en el Suelo). PSMD es básicamente un balance acumulado de agua en el suelo y se calcula mediante la **ecuación 1**.

Cuadro I.

Valores promedio de P y ET₀ para España.

	ET ₀ (mm/año)			P (mm/año)		
	Media	Desv. típica	% Incr.	Media	Desv. típica	% Incr.
Referencia	1.117	171	-	654	277	-
A2 2050	1.216	200	8,9	619	284	-5,4
B2 2050	1.211	197	8,4	620	263	-5,2
A2 2080	1.357	210	21,5	497	240	-24,0
B2 2080	1.345	231	20,4	607	279	-7,2

Escenario A2: altas emisiones. Escenario B2: bajas emisiones.

Figura 1.

Impacto del cambio climático en la evapotranspiración de referencia anual (mm/año).

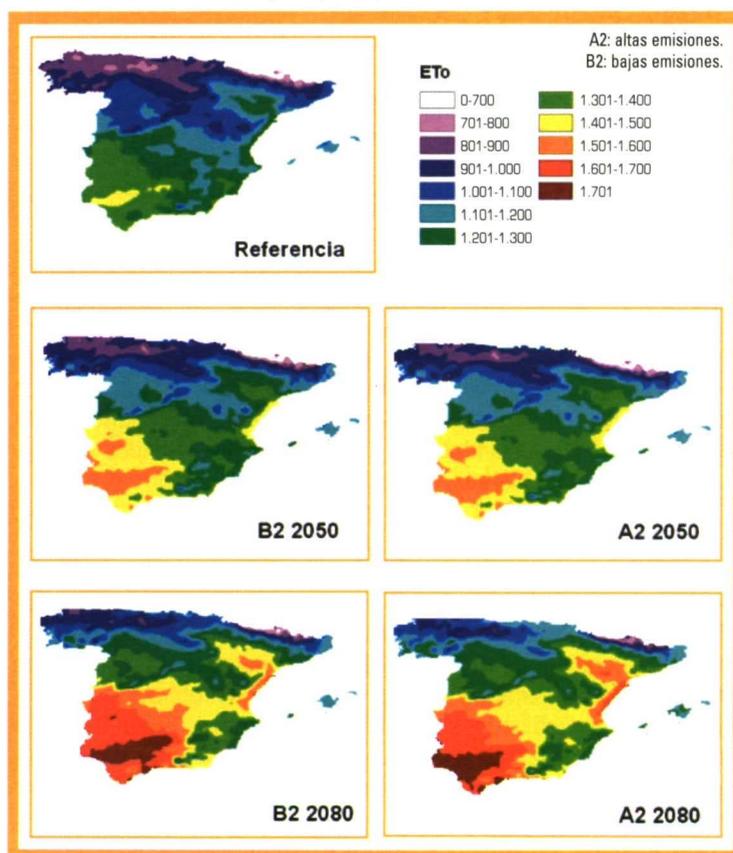
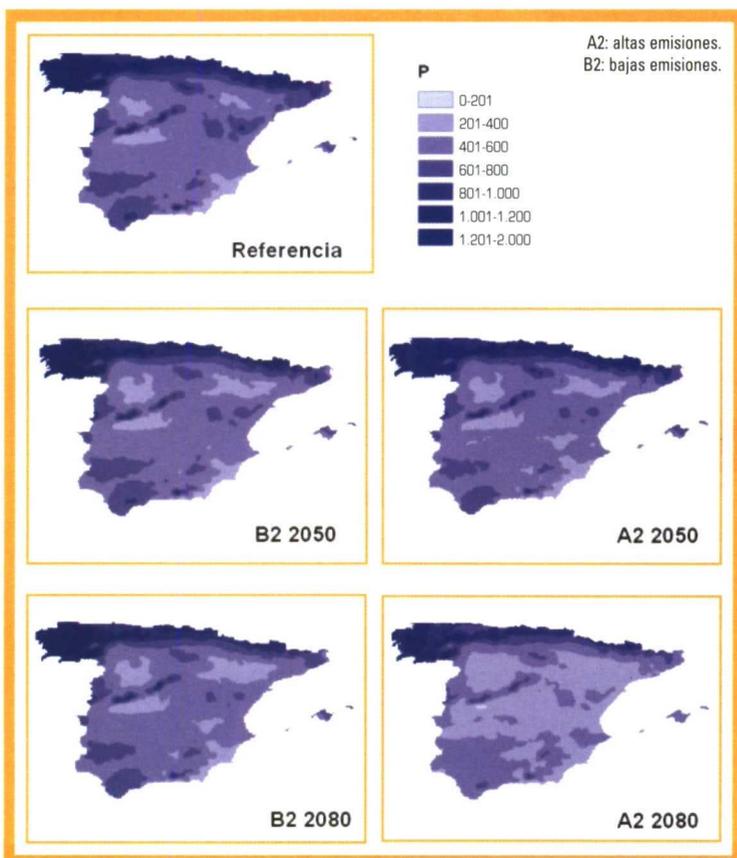


Figura 2.

Impacto del cambio climático en las precipitaciones anuales (mm/año).



rencia se mantienen en el año 2050 aunque con un importante aumento de la aridez en todas ellas. Como ejemplo, la mayor parte de la cuenca del Guadalquivir pasarán del rango 900 – 1.050 al inmediatamente superior (1.050 – 1.300), condiciones mucho más áridas a las existentes en la actualidad. Para 2080 la Península alcanzará valores extremos desconocidos en la actualidad. Zonas de la cuenca del Guadalquivir, suroeste, cuenca del Ebro y litoral mediterráneo alcanzarán valores extremos (1.300 – 1.450).



Para el horizonte 2030 se esperan disminuciones medias de las aportaciones hídricas, en régimen natural, de entre un 5 y un 14%.

Ecuación 1:

$$PSMD_i = PSMD_{i-1} + ET_i - P_i$$

donde:

PSMD_i = valor del indicador en el mes i, mm.

PSMD_{i-1} = valor del indicador en el mes i-1, mm.

ET_i = evapotranspiración potencial en el mes i, mm.

P_i = precipitación en el mes i, mm.

PSMD relaciona las dos principales variables que determinan las necesidades de agua de riego de los cultivos, precipitaciones y evapotranspiración. Por tanto, se puede considerar un descriptor del clima en relación a las necesidades de agua y por esta razón existe una relación directa entre los valores de PSMD máximos del indicador a lo largo del año y los de las demandas de agua de riego. Cuanto mayor sea el valor de PSMD también serán mayores las demandas de agua (Downing *et al.*, 2003; Knox *et al.*, 1997).

Usando la **ecuación 1**, los datos derivados del modelo de cambio climático y del clima de referencia fueron procesados para obtener un conjunto de valores máximos anuales de PSMD para toda la superficie del país con una resolución de 10'. Posteriormente los valores de PSMD fueron importados dentro de un SIG (**figura 3**).

Como se observa en la **figura 3** existe una gran diferencia entre los escenarios presentes y futuros. En el clima de referencia los valores máximos del indicador son siempre menores a 1.050 mm. Las zonas con mayores valores de PSMD (entre 900 y 1.050 mm) se concentran en la cuenca del Guadalquivir, otras partes del suroeste y sudeste.

Las mismas zonas agroclimáticas existentes en el clima de refe-

Figura 3.

Mapas de PSMD actuales y futuros (mm).

