

Reducción del uso de agroquímicos en cultivos mediterráneos

Supone una gestión más eficiente de las explotaciones agrícolas y una herramienta para la toma de decisiones

El Instituto de Agricultura Sostenible-CSIC lleva trabajando desde 1997 en la obtención de mapas de tratamientos localizados de agroquímicos. El objetivo de este artículo es presentar de forma resumida los resultados obtenidos en aplicaciones dirigidas de fertilizantes foliares en olivar y de herbicidas para el control de las principales malas hierbas de la rotación trigo/girasol.

Francisca López-Granados, Montserrat Jurado-Expósito, José Manuel Peña-Barragán, M^a Teresa Gómez-Casero, Asnake Gelan-Begna y Luis García-Torres.

Instituto de Agricultura Sostenible. CSIC. Córdoba.

La distribución espacial de los factores abióticos (contenido de nutrientes, profundidad de suelo, entre otros) y bióticos (presencia de malas hierbas, organismos patógenos o cosecha) varía en gran medida dentro de una explotación agrícola. Esta heterogeneidad espacial implica que habrá unas zonas con alta o con baja concentración de la variable que estamos considerando. De ahí que la gestión de un campo se debería realizar considerando dicha variabilidad y las inversiones en insumos, concretamente, el uso de agroquímicos llevando a cabo aplicaciones variables o localizadas dentro de cada parcela. Entre los agroquímicos más destacables por su trascendencia medioambiental y económica están los tratamientos fertilizantes o los herbicidas.

Durante años se han publicado en la bibliografía científica los umbrales económicos de tratamiento de numerosas variables agronómicas con el objetivo de aplicar agroquímicos sólo cuando el factor estudiado está por encima de dichos umbrales. Sólo por citar algunos ejemplos, el umbral económico de tratamiento de fertilización de N en olivar es $\geq 1,5\%$, es decir, sólo se debería fertilizar si la concentración de N foliar es $< 1,5\%$. De forma similar, se conoce que el umbral de tratamiento del nerdo (*Ridolfia segetum*) en girasol es de 1,5 plantas m^2 . Actualmente, se consideran conjuntamente la heterogeneidad espacial, los umbrales de tratamiento y distintas aplicaciones de teledetección para obtener ahorros sustanciales en las aplicaciones localizadas de fertilizantes y herbicidas.

Fertilización foliar en olivar

En las últimas décadas el cultivo del olivar se ha modernizado incorporando con frecuencia riego por goteo, fertirrigación, implantación de cubiertas para reducir erosión,

mecanización de la cosecha y/o plantaciones intensivas, entre otros. Sin embargo, la fertilización se sigue realizando de forma arbitraria y sin considerar la variabilidad espacial de los nutrientes. Ello conlleva un claro despilfarro de recursos y un aumento potencial de la contaminación de acuíferos y embalses.

Dentro de los nutrientes necesarios para el olivo, los más esenciales para la obtención de una producción óptima son: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y boro (B). El análisis foliar y la georreferenciación de cada olivo analizado es el mejor método de diagnóstico del estado nutricional del olivo para conocer las concentraciones foliares de dichos nutrientes y diseñar unas recomendaciones localizadas de fertilización. A la vez, hay que considerar que los umbrales de fertilización de cada uno de ellos son: $N \geq 1,5\%$; $P \geq 0,1\%$; $K \geq 0,8\%$ y $B \geq 19 \text{ mg/kg}$ (Fernández-Escobar, 1999). Con toda esta información y aplicando estadística espa-

CUADRO I. PORCENTAJE DE SUPERFICIE SUSCEPTIBLE DE FERTILIZACIÓN CUANDO LA CONCENTRACIÓN FOLIAR DE CADA NUTRIENTE NO EXCEDE EL UMBRAL ECONÓMICO DE TRATAMIENTO.

Año	Umbral de fertilización			
	$N \geq 1,5 \%$	$P \geq 0,1\%$	$K \geq 0,8 \%$	$B \geq 19 \text{ mg kg}^{-1}$
1	3	100	37,4	36,6
2	17,4	72,4	34,3	0,2



Foto 1. *Ridolfia segetum* (nerdo) en girasol.

cial (geoestadística) se pueden obtener los mapas de tratamientos localizados y se ven las zonas con mayor o menor concentración de nutrientes y las zonas en las que es necesaria la fertilización. En la **figura 1** se representan los resultados para el caso de fertilización nitrogenada. En el **cuadro 1** se muestra el porcentaje de superficie susceptible de recibir fertilizante cuando la concentración de cada nutriente foliar no excede el umbral económico de tratamiento.

Mapas de variables edáficas y de malas hierbas en trigo y girasol

La teledetección consiste en captar la energía electromagnética reflejada por los objetos o accidentes de la superficie terrestre o de la atmósfera desde grandes distancias. Cada cuerpo o cubierta terrestre refleja de manera peculiar esta energía y los sensores situados en satélites o aviones son capaces de capturarla. La teledetección ha progresado enormemente en las últimas décadas debido a:

- 1) Aumento de la resolución espacial, lo que posibilita discriminar objetos más pequeños (por ejemplo, el satélite comercial Quick Bird tiene una resolución espacial de 0,6 m en pancromático y de 2,8 m en multiespectral).
- 2) Reducción del coste de las imágenes.
- 3) Mejora de los programas informáticos para el análisis de las mismas, haciéndolos más fáciles para los usuarios.

Todo lo anterior ha originado que objetivos agronómicos que hace años eran inimaginables sean actualmente asumibles y ello conlleva la posibilidad de ofrecer productos relacionados con la agricultura de precisión a precios competitivos, ya que se puede estudiar una gran cantidad de terreno a precios asequibles.

Mapas de variables edáficas

Los especialistas en suelo han elaborado tradicionalmente los mapas de variables edáficas realizando costosos muestreos de suelo. Uno de los desafíos mayores que estos expertos han encontrado ha sido desarrollar la tecnología que permitiera extrapolar los resultados obtenidos en una zona determinada a otra de la que no se tiene información. Actualmente la confluencia de dos herramientas muy potentes para análisis de información como son la geoestadística y la teledetección está permitiendo que se pueda relacionar el contenido de dicho nutriente con su reflectividad en las bandas de visible o infrarrojo y elaborar mapas de variables edáficas de precisión a gran escala. Nuestro grupo se propuso la obtención de mapas de materia orgánica, pH, contenidos en K, arena, limo y arcilla partiendo de una fotografía en color de un suelo desnudo antes de la siembra de trigo. Los resultados obtenidos se muestran en la **figura 2**.

Mapas de nerdo (*Ridolfia segetum*) en girasol

El nerdo (**foto 1**) es una mala hierba que tiene un ciclo de vida en gran parte coincidente con el cultivo de girasol, de modo que compite severamente con él. Ello redundará en una elevada dis-



FIGURA 1.

a y b) Mapa de isóneas del contenido de N foliar en años consecutivos;
c y d) Mapas de tratamientos localizados de N según el umbral de tratamiento de N en años consecutivos:
(●) zona a tratar
(más información en López-Granados *et al.*, 2004).

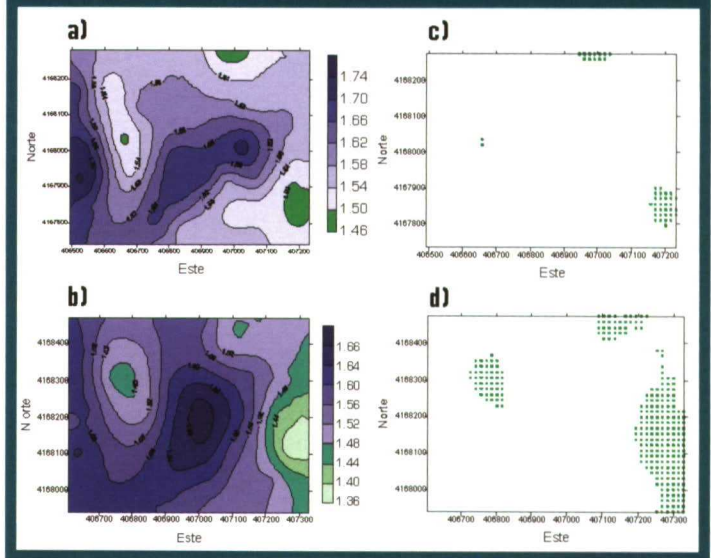
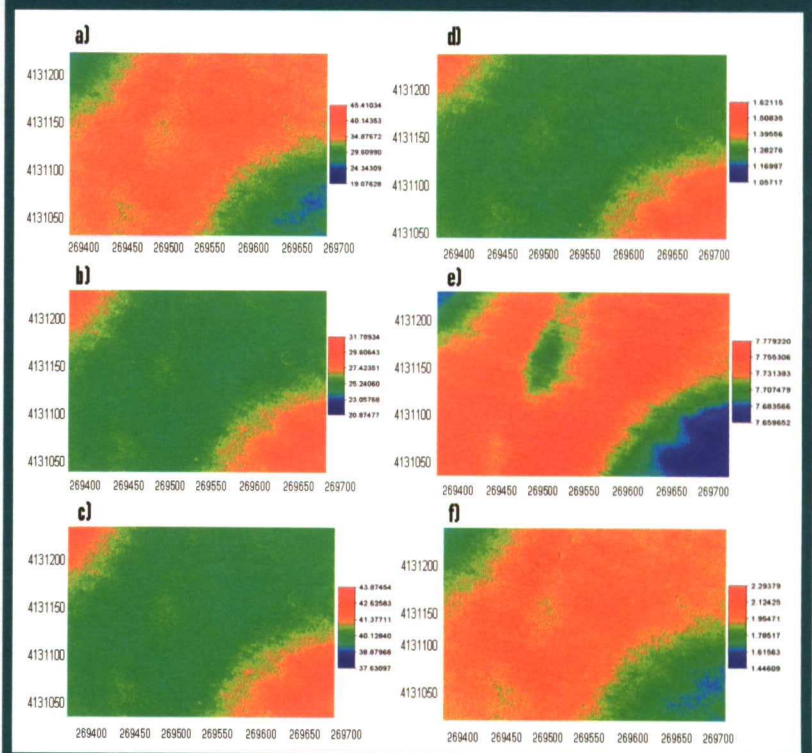


FIGURA 2.

Mapas de los contenidos de diferentes variables edáficas obtenidos aplicando geoestadística y fotografía aérea:
a) arena, b) arcilla, c) limo, d) materia orgánica, e) pH, y f) K (mmol / 100 gr)
(más información en López-Granados *et al.*, 2005).



TRATAMIENTOS

Foto 2. *Ridolfia segetum* (nerdo) en cultivos de anís.

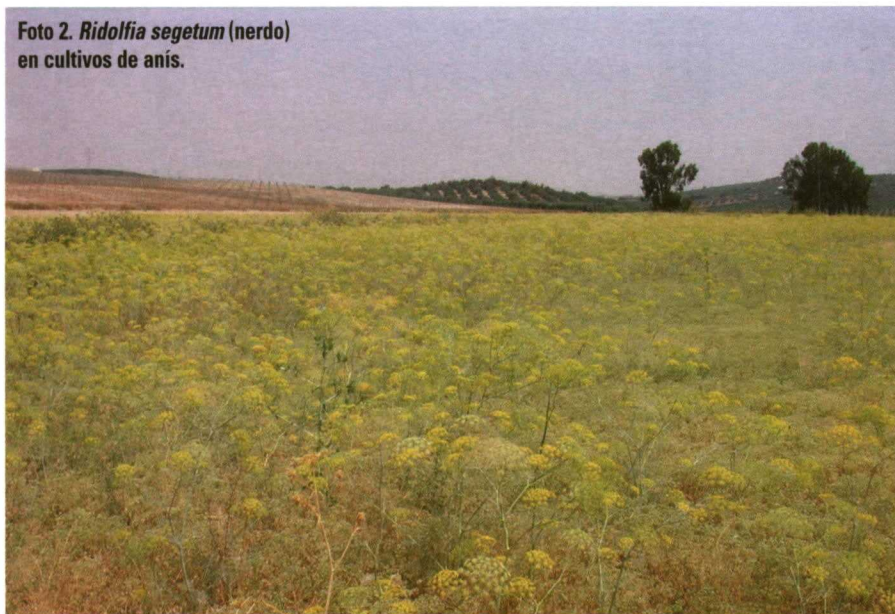


Foto 3. Infestaciones de avena, alpiste y vallico (aún verdes) en trigo (cercano a la recolección) a mediados de mayo en Andalucía occidental.



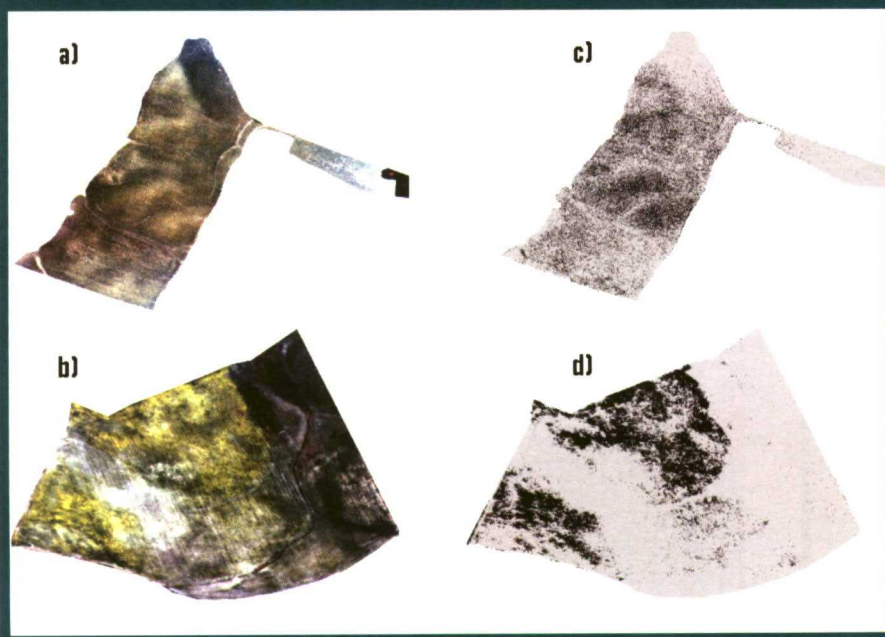
minución de su rendimiento, frecuentes atascos en las cosechadoras y una contaminación de los aquenios debido al diminuto tamaño de las semillas de la mala hierba. Actualmente, más del 25% de los campos de Andalucía presentan graves infestaciones de *Ridolfia*, dándose la circunstancia de que también se pueden ver muy afectados otros cultivos que se puedan incluir en la rotación, como los aromáticos (por ejemplo, el anís, **foto 2**) o la colza.

El hecho de que los rodales de malas hierbas sean prácticamente estables en el tiempo permite tomar imágenes remotas en

el momento fenológico en que resulta más fácil la discriminación entre las malas hierbas y el cultivo y, posteriormente, realizar el análisis de las imágenes. El proceso finaliza con el diseño de mapas de tratamientos localizados para al año siguiente cuando sea posible una aplicación herbicida. Ese ha sido el fundamento agronómico de nuestros estudios recientes sobre malas hierbas y teledetección. En este sentido, hemos tomado fotos aéreas en color e infrarrojo color (**figuras 3a y 3b**) en varias localidades a mediados de junio cuando el cultivo de girasol estaba en un estado fenológico de formación de capítulo o capítulo cerrado y el nerdo en floración (flor amarilla), con el objetivo de planificar estrategias de control localizado el año siguiente (**figuras 3c y 3d**).

FIGURA 3.

a y b). Fotografías aéreas de la zona de estudio (unas 40 ha). c y d). Mapas clasificados con zonas libres de infestación (zonas grises) y con infestaciones de nerdo (zonas oscuras, 20% y 25% del total, respectivamente) (más información en Peña-Barragán *et al.*, 2006).



Mapas de malas hierbas gramíneas en cereales de invierno

Las malas hierbas gramíneas más ampliamente distribuidas y más competitivas asociadas a cultivos de cereales de invierno son: avena loca (*Avena* spp.), alpiste (*Phalaris* spp.) y vallico (*Lolium* spp.). Su presencia reduce en gran medida los rendimientos esperados del cultivo y su control se realiza con herbicidas específicos generalmente muy caros. Dado que tanto los cultivos de cereales como las citadas malas hierbas pertenecen a la familia de las gramíneas, su detección es altamente difícil cuando están en fases tempranas de desarrollo. Sin embargo, hay un momento fenológico definido por unas dos o tres semanas, antes de que la cosecha del cultivo tenga lugar, en el que las malas hierbas están todavía en un estado activo y aún verdes y el cereal está amarilleando y en un estado senescente (**fotos 3 y 4**).

Siguiendo la misma hipótesis agronómica, nuestro objetivo fue detectar y mapear las infestaciones de estas malas hierbas cuando resulta más fácil llevarlo a cabo, es decir, a mediados de mayo, y planificar estrategias de control para los años siguientes. En otras palabras, se indica en cada parcela dónde ha habido infestaciones de estas ma-

Foto 4. Detalle de las infestaciones de avena en trigo en la última fase del cultivo.



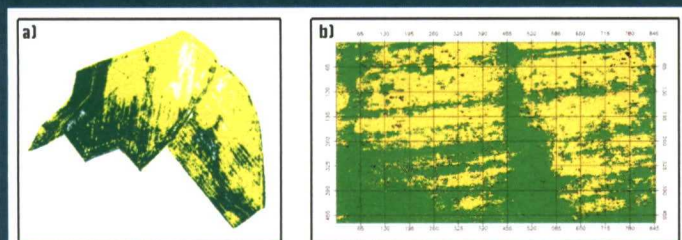
das). En la **figura 4** se muestran los mapas de las distintas especies gramíneas en cultivos de trigo. Las zonas infestadas representan aproximadamente un 30% de la superficie total de la parcela y ello implica una considerable reducción de herbicida y de dinero para acometer un control eficiente de dichas malas hierbas.

Conclusiones

Existe actualmente tecnología para una gestión más eficiente de las explotaciones agrícolas con cultivos de alta importancia económica de modo que se optimice la toma de decisiones respecto a las aplicaciones localizadas de agroquímicos. Las ventajas medioambientales y agro-económicas de la agricultura de precisión están ampliamente demostradas y hay detrás un gran esfuerzo en investigación de numerosos grupos de trabajo. No obstante, es una tecnología reciente que hay que ir perfeccionando y su transferencia supone un desafío para investigadores, agricultores y empresas agronómicas (maquinaria, agroquímicos), para que su implantación en nuestro país sea una realidad. ■

FIGURA 4.

Mapas de diferentes especies de malas hierbas gramíneas en trigo: a) campo Florida Oeste: (●) infestaciones de vallico, avena loca y alpiste, (●) trigo y (-) suelo desnudo; b) Santa Cruz: (●) infestaciones de avena loca y alpiste, (●) trigo. (Más información en López-Granados *et al.*, 2006).



las hierbas (y por consiguiente donde se debe aplicar un herbicida antigramíneas) y dónde no ha habido y, previsiblemente, no habrá tales infestaciones (ahorrándose así los tratamientos herbici-

Bibliografía

Fernández-Escobar, R. 1999. Fertilización. In: Barranco, D., Fernández-Escobar, R., Rallo, L. (Eds.). El cultivo del olivo. Mundi-Prensa, Madrid, pp. 247-265.

López-Granados, F., Jurado-Expósito, M., Álamo, S., and García-Torres, L. 2004. Leaf spatial variability and site-specific fertilization maps within olive orchards in southern Spain. *European Journal of Agronomy*, 21:209-222.

López-Granados, F., Jurado-Expósito, M., Peña-Barragán, J.M., and García-Torres, L. 2005. Using geostatistical and remote sensing approaches for mapping soil properties. *European Journal of Agronomy*, 23:279-289.

López-Granados, F., Jurado-Expósito, M., Peña-Barragán, J.M., and García-Torres, L. *et al.*, 2006. Using remote sensing for identification of late-season grass weeds patches in wheat (*Triticum aestivum* L.) for precision agriculture. *Weed Science*, 54: 346-353.

Peña-Barragán, J.M., López-Granados, F., Jurado-Expósito, M., and García-Torres, L. 2006. Mapping *Ridolfia segetum* Moris patches in sunflower (*Helianthus annuus* L.) crop using remote sensing. *Weed Research*, en prensa.



13, 14, 15, 16 SEPTIEMBRE '06
FERIA DE MUESTRAS DE ARMILLA
(Granada)

ORGANIZAN:



OLEOSUR

VII Feria Internacional del Aceite de Oliva y Afines

- JORNADAS TÉCNICAS
- VII PREMIO A LA CALIDAD DEL ACEITE DE OLIVA VIRGEN
- CATAS DE ACEITE GUIADAS A PROFESIONALES
- EL PAIS DEL ACEITE DE OLIVA. CATAS PARA CONSUMIDORES DIRECTOS.
- COCINA EN VIVO.
- CONCURSO GASTRONÓMICO.
- ENCUENTROS COMERCIALES.

PATROCINAN:



COLABORAN:



ASOCIACION CULTURAL CAMPOLIVA

Plaza del Ayuntamiento, s/n · Teléfono 958 38 52 48 · 18560 Campotéjar (Granada)
info@oleosur.com · www.oleosur.com

FERMASA (FERIA DE MUESTRAS DE ARMILLA S.A.)

Recinto Ferial Sta. Juliana · Tlf. 958 81 89 16 · Fax 958 81 79 29 · Aptdo. Correos 107 · 18100 ARMILLA (Granada)
fermasa@fermasa.org · www.fermasa.org