

Estudios sobre agricultura de precisión en Andalucía

El presente y el futuro de esta agricultura residen en los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS)



Parcela de girasol de siembra directa objeto de estudio en "El Cabello".



Parcela de trigo duro de siembra directa objeto de estudio en "El Cabello".

El estudio de la variabilidad espacial del rendimiento de los cultivos es esencial en la experimentación en agricultura de precisión. Los mapas de cosecha son muy útiles para detectar la zonificación de los rendimientos de cada parcela, con el fin de poder tomar decisiones para maximizar la eficiencia productiva.

● **Emilio Navarro (*)**, **Francisca López-Granados (**)**, **Montserrat Jurado-Expósito (**)** y **Luis García-Torres (**)**. (*) Laboreo de Conservación, S.A. E-mail: laboreo@teleline.es. (**) Instituto de Agricultura Sostenible/CSIC. E-mail: cs9logrf@uco.es.

La agricultura extensiva ha sido siempre una técnica poco precisa, por lo que cada agricultor ha tratado de tomar decisiones generales para cada cultivo en prácticamente todas las parcelas de su finca, aunque éstas sean muy heterogéneas en cuanto a suelo, pendiente, flora adventicia, plagas y enfermedades. Todavía hoy, se sigue abonando de igual modo una parcela que produce 5.000 kg/ha. de cereal y otra lindera que produce 2.500 kg/ha. (obviamente con menor techo productivo), debido, por ejemplo, a una peor estructura y composición del suelo. Podríamos seguir enumerando ejemplos de manejo de parcelas de forma global y homogénea para todas las zonas de la parcela, finca o incluso comarca: tratamientos fitosanitarios, dosis de siembra, profundidad de las labores, dosis de agua de riego, etc.

Lo más "preciso" que se suele hacer en la agricultura herbácea extensiva es la eliminación manual de malas hierbas "a rodales" (en remolacha, girasol o algodón) o la aplicación "parcheada" de herbicidas específicos de alto precio (sistémicos a alta dosis en olivar,

avenicidas en cereales, graminicidas en remolacha, etc.).

Afortunadamente para el empresario agrícola, la agricultura va evolucionando con la aplicación de nuevas tecnologías, como la robótica, la biotecnología o los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS). La robótica nos permitirá en un futuro no muy lejano tener robots para la agricultura que sirvan de gran ayuda, por ejemplo, a los operarios del campo, para la realización de labores muy fatigosas en situaciones de climatología adversa. Los cultivos transgénicos ya son un hecho fehaciente en la agricultura mundial, con plantas resistentes a plagas y enfermedades, cultivos tolerantes a herbicidas no residuales de baja peligrosidad, y un sinfín de posibilidades que irán llegando poco a poco a nuestros campos.

La revolución de los sistemas GPS, además de realizar mediciones muy precisas (normalmente realizadas para inspecciones de la PAC), ha permitido el nacimiento de la **agricultura de precisión**, que hace posible determinar en cada punto del terreno las causas de la falta de uniformidad en los factores que influyen en el rendimiento de los cultivos. Dichos factores son muy diversos: drenaje, pH, tipo de suelo, contenido de nitrógeno, fósforo o potasio, daños causados por uso inadecuado de herbicidas, presencia de rodales de malas hierbas o nascencia irregular del cultivo. Por tanto, la determinación de la variabilidad espacial en la cosecha de un cultivo debe implicar un conocimiento exhaustivo de cada uno de los factores que influyen en ésta. Sin embargo, hasta hace pocos años en los estudios de agronomía y otras disciplinas no se podía abordar la heterogeneidad espacial de un campo en cualquiera de los aspectos que se consideran de interés, por falta de una tecnología fácilmente disponible y precisa.

A través de los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), junto con programas informáticos procesadores de información espacial (Sistemas de Información Geográfica, GIS), es posible estudiar la variabilidad espacial de un campo y obtener mapas que visualizan la zonificación de los factores a estudiar. El objetivo perseguido por

la agricultura de precisión es conseguir maximizar la eficiencia productiva en cada situación, obteniendo un mayor beneficio económico y medioambiental, ya que la dosis de siembra, labores, riegos y las aplicaciones de insumos (fertilizantes, correctores de suelo y fitosanitarios) se realizan de forma selectiva y dirigida en cada punto del terreno.

Se persigue: 1) obtener el mapa de rendimiento del cultivo con una cosechadora que tenga incorporado un GPS y 2) con esta información se dividiría la parcela agrícola en distintas subparcelas, dentro de las cuales se determinan parámetros de suelo (físicos y químicos), malas hierbas, plagas y enfermedades, posibilidad de encharcamiento, pendiente, etc. Finalmente, se tomarían decisiones acerca de dosis de semilla, fertilizantes, tratamientos fitosanitarios o labores específicas para cada subparcela, y hacerlas realidad mediante máquinas agrícolas "inteligentes" que sepan procesar la información de cada subparcela y decidir cómo actuar. Es decir, tomando como ejemplo el abonado de fondo, tendríamos una abonadora que reconocería el terreno (por GPS) y estaría programada para abonar más o menos según la fertilidad del suelo, o incluso para poder aplicar dos tipos de abonos distintos. Esto es lo que llamamos agricultura de precisión, nada nuevo en cultivos intensivos donde el trabajo se realiza manualmente y de forma precisa, pero algo revolucionario en cultivos extensivos, cada vez más mecanizados y con menos rentabilidad.

Experimentación en Andalucía: aspectos generales

La agricultura de precisión es ya una realidad en algunas zonas de EE.UU., donde ya se utilizan cosechadoras que mapean los rendimientos de los cultivos, abonadoras que zonifican el abonado o sembradoras que modifican la dosis de siembra según los datos puntuales de cada parcela. En Europa, la agricultura de precisión está aún en nivel experimental, aunque la tecnología americana ya está llegando con fuerza a nuestro continente.

En la actualidad, se están llevando a cabo una serie de ensayos

que están incluidos en un proyecto de investigación financiado por fondos FEDER de la Unión Europea (ref.: 1FD97.0049) en colaboración con varios agricultores. El objetivo es determinar la influencia de una gran variedad de factores bióticos (malas hierbas) y abióticos (por ejemplo, el estado nutricional del suelo) en el rendimiento de cultivos de trigo, girasol y olivar. En el **cuadro I** se presentan los datos obtenidos de variabilidad en el rendimiento de trigo y girasol en las localidades de El Arahál (Sevilla), La Luisiana (Sevilla) y Montoro (Córdoba). Los mapas de rendimiento de ambos cultivos de la finca "El Cabello", Montoro, se muestran en la **figura 1 (a y b)**. El mapeo de la cosecha se ha obtenido gracias a la colaboración de la empresa de AGCO Iberia, Massey Fergusson, y su cosechadora de precisión con sistema Fieldstar. Dicha cosechadora tiene un GPS y un medidor de cosecha incorporados y permite obtener información del rendimiento obtenido en cada punto del campo.

En las fincas objeto de estudio se ha realizado un muestreo de suelo en unas 10 ha. que ha consistido en tomar 10 muestras de terreno por hectárea a dos profundidades: superficial (0-15 cm) y profunda (25-35 cm). Cada punto de muestreo se georreferenció con un GPS facilitado por la empresa Trimble Navigation Ibérica y la posición de cada punto se ha incorporado al sistema de información geográfica ArcView. En cada muestra se han determinado los siguientes factores abióticos: textura, pH, conductividad, amonio, nitratos, nitritos, fósforo, potasio y materia orgánica (análisis procesados por el Laboratorio Agronómico de la empresa Fertiberia S.A.)

Asimismo, se ha muestreado la emergencia de las malas hierbas presentes dominantes en cada una de las parcelas georreferenciando su posición con un GPS con el fin de determinar posibles rodales de las mismas que pudieran influir en los diferentes rendimientos obtenidos.

En los mapas de rendimiento (**figura 1**) se pueden apreciar claramente zonas de mayor rendimiento (a veces, hasta 1.000 kg/ha. de diferencia). La zonificación de las diferencias en la producción son atribuibles a la diversidad de tipos/calidad de suelo e infestaciones de malezas, entre otras. Los tonos azules representan las zonas de menor producción y los rojos los de mayor. Es obvio el interés de perfilar las variables que influyen en las diferencias de producción, lo que puede redundar en un claro beneficio para el agricultor.

Ensayos en la finca "El Cabello", Montoro (Córdoba)

La finca "El Cabello" está gestionada desde 1996 por la empresa Laboreo de Conservación, S.A. Los estudios sobre agricultura de precisión se comenzaron a finales de la campaña agrícola 97-98, eligiendo dos parcelas de cultivos herbáceos (trigo y girasol) representativas de la zona para su seguimiento y experimentación durante al menos tres campañas agrícolas consecutivas. La elección de las dos parcelas se realizó en base a su heterogeneidad: factores edáficos, cambios de pendiente, existencia de cauces de arroyos, etc.

Ambas parcelas llevan desde 1993 bajo la técnica de siembra directa, por lo que presentan una serie de rodales de malas hierbas típicas del "no laboreo", como malvas (*Malva spp.*), nerdos (*Ridolfia segetum*), *Galium aparine* y pepinillos del diablo (*Echallium elaterium*), entre otras.

El primer paso fue contar con una cosechadora con GPS y equipos de detección del rendimiento en cada momento, para poder obtener mapas de cose-



Los ensayos han sido realizados con una cosechadora Massey Ferguson con sistema Fieldstar.

CUADRO I. VARIABILIDAD EN EL RENDIMIENTO DE LOS DIFERENTES CULTIVOS Y LOCALIDADES DE ANDALUCÍA.

Localidades/ Fincas	Cultivo	Cosecha Media -kg/ha.-	Rango de cosecha (máximo / mínimo) -kg/ha.-	Coefficiente de variación -%-	Superficie cosechada -ha.-
Montoro (Córdoba)/ "El Cabello"	Trigo	1.484	2.100 / 600	29,3	17
	Girasol	2.025	3.000 / 1.000	27,6	38
El Arahal (Sevilla) / "El Caracol"	Trigo	1.863	2.700 / 900	21,3	33
	Girasol	3.264	4.400 / 1600	22,7	40
La Luisiana (Sevilla)/ "Castillo de la Monclova"	Trigo	1.863	2.400 / 1000	26,7	34
	Girasol	1.891	2.500 / 800	16,7	42

pedregosas, ataques de pájaros, etc. Siendo todavía pronto para obtener conclusiones de los mapas de rendimiento de 1998 en "El Cabello", ya se puede detectar la presencia de arroyos y zonas encharcadas colindantes que afectaron gravemente al rendimiento, tanto en la parcela de trigo como en la de girasol, así como las zonas más pedregosas y de suelo más erosionado en la parcela de 38 ha. de girasol.

El segundo paso consistió en medir el perímetro de las parcelas mediante la utilización de un GPS. De esta forma se tiene información de las coordenadas geográficas de cada punto que esté en el interior del perímetro de la parcela. Estos datos nos servirán para poder dividir

cha. Gracias a la tecnología de las cosechadoras Massey-Ferguson y a su sistema Fieldstar, se logró mapear con éxito las cosechas de trigo y girasol, ambas en siembra directa, en la recolección del verano de 1998 (figura 1, cuadro 1). Como puede apreciarse, la variabilidad del rendimiento en "El Cabello" es muy acusada en ambas parcelas, con coeficientes de variación superiores al 25%. Estos mapas de cosecha son el resultado productivo más preciso que existe hoy día para detectar problemas diversos en una parcela agrícola: abonado defectuoso, siembras mal planteadas, encharcamientos, rodales de malas hierbas, presencia de nematodos, zonas

nuestra parcela en microparcels (tal y como explicamos en la introducción) y estudiarlas global e individualmente.

Una vez medidas las parcelas, el tercer paso es conocer las características edáficas de las mismas. Para ello, se tomaron muestras de suelo posicionando cada punto de muestreo con un GPS (figura 2). Lo anterior posibilita volver exactamente a los mismos puntos en campañas sucesivas para ver las modificaciones de los diversos parámetros que hemos estudiado en el suelo. Una vez procedido al análisis de los diferentes factores, se establecerán mapas de fertilidad, zonas encharcables, zonas pedregosas, pH del suelo

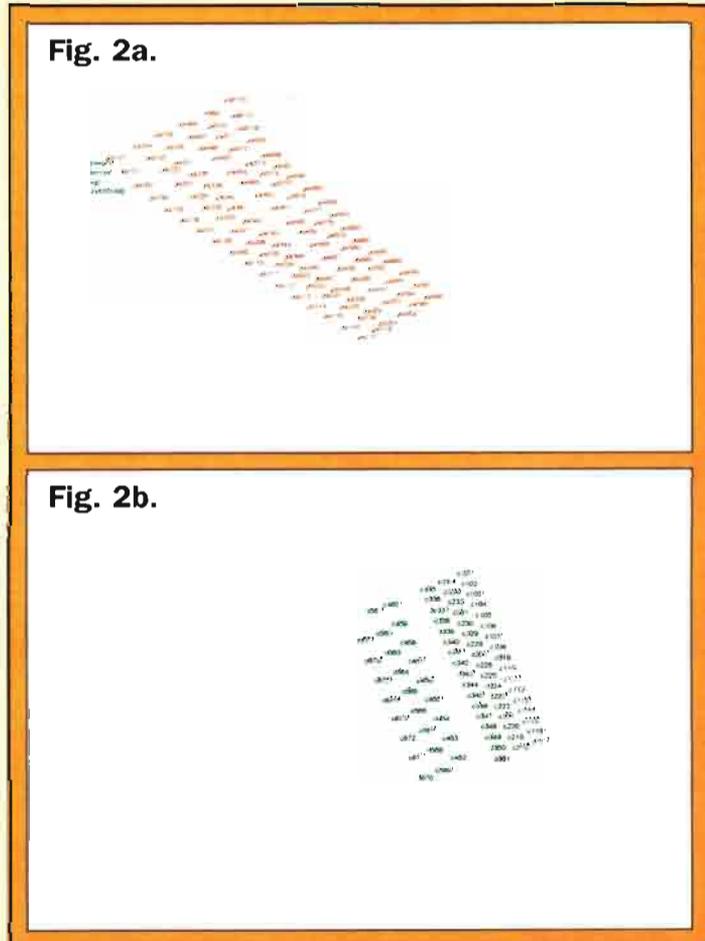
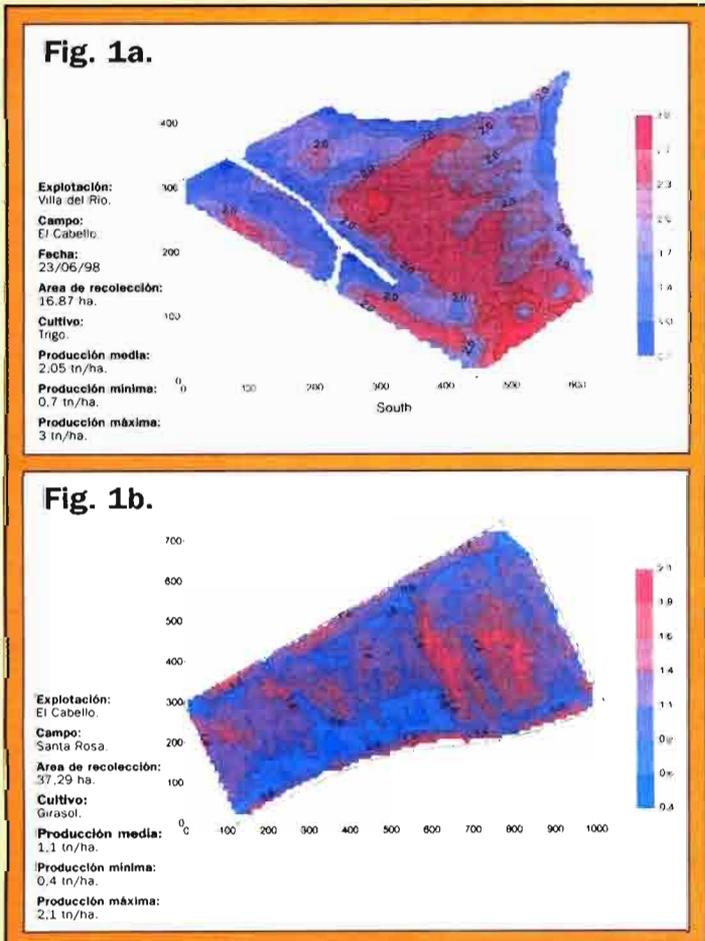


Figura 2. Localización de los puntos de muestreo de suelo llevados a cabo en la finca "El Cabello", a) parcela de trigo en campaña 98/99, b) parcela de girasol en campaña 98-99. En cada punto se conoce el nivel de cosecha y el estado nutricional del suelo.

