

Ensayos con sensores para mejorar la eficiencia en la aplicación de agroquímicos

Estimación de la variabilidad del vigor del viñedo a través de un sensor óptico lateral terrestre

Caracterización de operaciones mecanizadas mediante técnicas de agricultura de precisión

Estrategias de fertilización nitrogenada a través del riego localizado

## Concepto y situación en España de la agricultura de precisión

Han pasado ya suficientes años desde que se empezó a utilizar el término agricultura de precisión para que probablemente todos los agricultores lo hayan oído alguna vez. Su significación sigue siendo la misma con la que se inició, pero el progreso tecnológico hace que la realidad se vaya pareciendo cada vez más a los deseos. Como ejemplos, existen sensores que pueden instalarse en las principales máquinas de recolección que miden la producción que van cosechando, sensores de calidad del producto, etc. Además, existen programas de ordenador que aplican modelos que ayudan en la toma de decisiones. En este artículo, se detallan éstas y otras cuestiones referentes a la agricultura de precisión en España.

Jacinto Gil Sierra. Dr. Ingeniero Agrónomo.

La agricultura de precisión es una vuelta al pasado con medios actuales. Durante siglos los labradores trabajaron el terreno que podían abarcar con sus bueyes o mulas, muchas veces el mismo que ya habrían pateado su padre y su abuelo, lo cual les permitía conocer las particularidades de cada pequeña porción. Ese conocimiento y vigilancia favorecía que pudieran variar las dosis de semillas, riego y fertilizantes en función de las características del terreno, eliminar las malas hierbas sólo allí donde las hubiera, e hicieran una recolección escalonada si era necesario.

La mecanización favoreció que cada persona pudiera trabajar más terreno. Durante muchos años los fabricantes de equipos agrícolas se esmeraron en que éstos trabajasen por igual en toda su anchura de labor y que las dosis de los diferentes insumos se repartieran uniforme-

mente en toda la superficie trabajada. Se consideraba que la mejor máquina era la que, una vez regulada por el operario, mantenía fielmente las condiciones fijadas por la regulación. Era impensable que las máquinas pudieran variar por sí solas sus dosis según avanzaban por el campo, y el operario no podía estar cambiando continuamente la regulación para adaptarla a las características de un terreno cuyas dimensiones exceden de lo que puede conocer perfectamente.

Las consecuencias de este modo de actuar fueron que a algunas zonas de cada finca se las labraba a más o menos profundidad de lo conveniente, y se les aplicaba más o menos dosis de semillas, abonos y herbicidas de lo que necesitaban o eran capaces de asimilar. Las dosis excesivas significan pérdida de dinero y problemas medioambientales (residuos químicos en el subsuelo y en las aguas de drenaje), mientras que las dosis escasas impiden que el suelo desarrolle todo su potencial productivo.

La agricultura de precisión pretende hacer en cada zona del terreno el tratamiento adecuado a sus características, en el momento justo, sin que sea el agricultor quien tenga que estar interrumpiendo continuamente el trabajo para variar las regulaciones a mano y según su criterio. Para poder realizarla se necesitan, básicamente, tres tipos de informaciones:

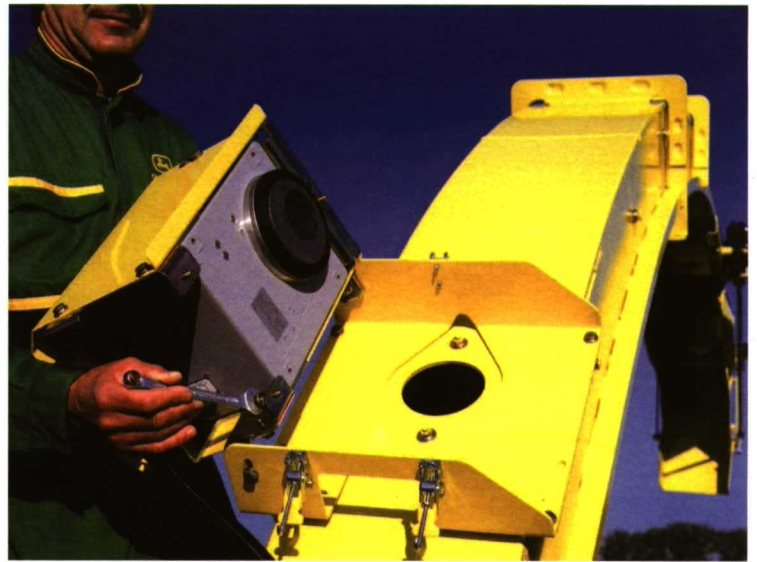
- Posición de la máquina según el sistema de coordenadas que cubre la superficie terrestre.
- Características del terreno (productividad, presencia de malas hierbas, propiedades del suelo, etc.) y del cultivo.
- Programas de ordenador que decidan las características (fecha y dosis) de los tratamientos según modelos que ayuden en la toma de decisiones.
- Máquinas capaces de regularse en función del lugar sobre el que están transitando y las necesidades de cada zona de la finca.

Veamos cuál es el estado actual de estas prestaciones en España.

## Sistemas de posicionamiento

Determinar las coordenadas del punto en el que se encuentra una máquina, o en el que se ha tomado un dato de propiedades del suelo, producción, presencia de malas hierbas, etc., es algo perfectamente disponible en prácticamente todo el territorio español. Gracias a los receptores GPS, podemos conocer las coordenadas del punto donde se encuentre el receptor, por lo que no se necesita más que colocarlo sobre la máquina o sobre el lugar cuyas coordenadas interesa determinar. En estos momentos están orbitando alrededor de la tierra los satélites de la red norteamericana, los de la red rusa y los que van poniendo en órbita los europeos, por lo que los receptores reciben sus señales y calculan la posición del lugar.

**En lo que más se está trabajando en España en los últimos años es en el desarrollo de un sensor que, incorporado a las vendimiadoras, analice de modo continuo el mosto de las uvas que van llegando a la tolva, para determinar su contenido en azúcar como índice de calidad del futuro vino.**



Hay sensores que determinan la humedad del producto, para descontarla y calcular la producción referida a materia seca.

Según sean las características del receptor, la precisión de la medida puede variar desde tener un error de algunos metros hasta de apenas uno o dos centímetros. Si solo se trabaja con las señales de los satélites, el error puede ser de varios metros. Las medidas más precisas (de precisión centimétrica) son las que elaboran los receptores que reciben también las ondas de una estación terrestre de coordenadas conocidas. Esta técnica es conocida como corrección RTK y solo puede utilizarse en las zonas situadas a pocos kilómetros de una estación base que emite la señal correctora. La estación recibe las señales de los satélites y calcula a partir de ellas sus propias coordenadas. El resultado de ese cálculo se compara con las coordenadas reales de la estación, y el error se transmite para que los receptores situados en su radio de acción y que están recibiendo las señales de los satélites apliquen la corrección oportuna.

En este tema los pioneros en España han sido los andaluces, puesto que el Instituto de Cartografía de Andalucía (dependiente de la Consejería de Obras Públicas y Transporte) instaló ya en el año 2004 una red de 22 estaciones permanentes que distan entre ellas un máximo



# El mundo agroalimentario es muy amplio

de 100 km y ofrecen, entre otros servicios, la señal para correcciones de la posición en tiempo real. El usuario necesita disponer de un receptor GPS con radio-módem. El alcance desde cada estación está limitado por las condiciones topográficas y ambientales. Otras comunidades autónomas ya han desplegado una red de estaciones en su territorio (Castilla y León en 2007) o la están instalando en la actualidad.

También hay una red europea de estaciones cuyas señales se pueden captar a través de Internet inalámbrico, lo cual permite hacer correcciones en cualquier lugar donde se tenga esa facilidad.

## Características del terreno y del cultivo

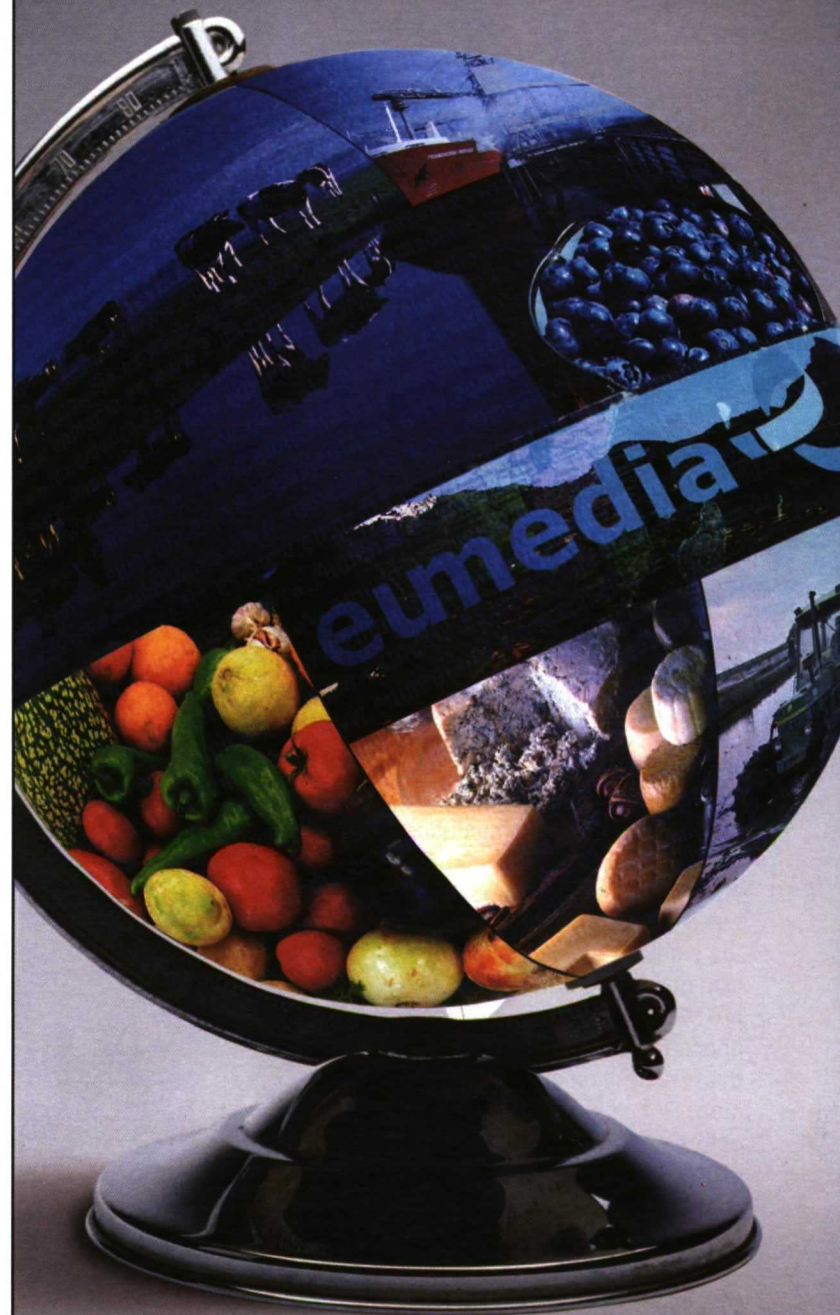
Las propiedades del terreno y del cultivo, cambiantes de un lugar a otro y a lo largo del tiempo, se pueden determinar mediante mediciones y muestras tomadas sobre el propio terreno y a partir de imágenes de aviones o satélites.

Existen sensores que pueden instalarse en las principales máquinas de recolección que miden la producción que van cosechando y pasa por las cintas transportadoras camino de la tolva. Esas medidas se toman a base del peso o del volumen de producto que pasa por un determinado lugar de la máquina cada cierto tiempo (por ejemplo, cada segundo). También hay sensores que determinan la humedad el producto, para descontarla y calcular la producción referida a materia seca. Llevando también un receptor GPS en la máquina, la producción medida en cada determinación se asocia al lugar de la finca donde la máquina se encuentra en ese momento, pudiendo obtenerse un mapa de rendimiento en toda la finca. Esta tecnología se desarrolló primeramente para determinar la cantidad de grano en las cosechadoras de cereales, pero ya existe en otras máquinas de cosechar, como por ejemplo las cosechadoras de patata, de remolacha azucarera y en las vendimiadoras. Son los fabricantes de cosechadoras de cereales quienes más esfuerzos han realizado para difundir esta tecnología y convencer a sus clientes para que la demanden en las nuevas máquinas que compran.

También hay sensores de calidad del producto. En lo que más se está trabajando en España en los últimos años es en un sensor incorporado a las vendimiadoras que analice de modo continuo el mosto de las uvas que van llegando a la tolva, para determinar su contenido en azúcar como índice de calidad del futuro vino. Unas pocas uvas se desvían a cada momento del camino hacia la tolva para ser estrujadas y analizadas. De nuevo, asociando este dato con la posición, se obtendrá un mapa de rendimiento y de calidad de la uva casi en cada cepa.

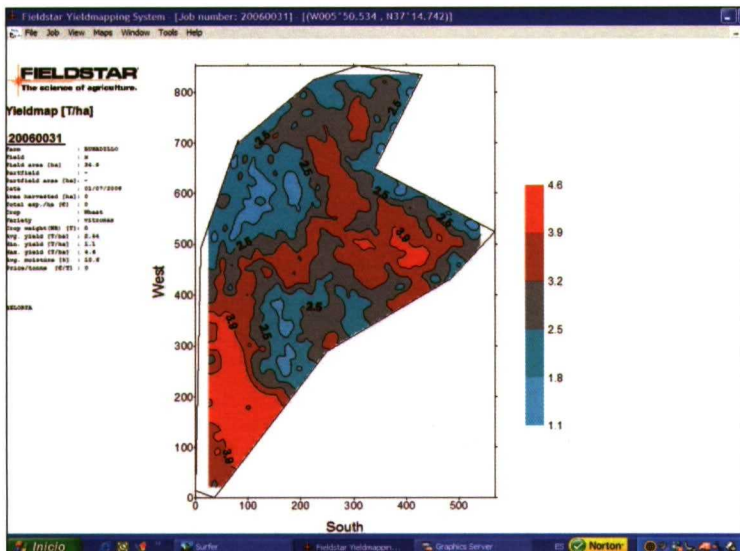
Para las demás propiedades del suelo y del cultivo medidas in situ, el procedimiento práctico para asociar el valor de la propiedad con la posición es llevar un receptor GPS y situarlo en cada punto donde se extrae una muestra de suelo, se observa la presencia de malas hierbas o se detecta determinada propiedad en el cultivo. De este modo, los valores que se observen en ese momento o se obtengan después en el laboratorio donde se analice el suelo se asocian a la posición determinada por el receptor.

Otra fuente de datos del estado del cultivo en una finca procede de las imágenes tomadas desde satélites o aviones. Según sea la longitud de onda dentro del espectro visible y del infrarrojo a la que quedan registradas las imágenes, se pueden detectar diferencias que identifiquen el estado del cultivo, humedad del terreno, presencia de malas hierbas y otras características de interés agronómico. Hay satélites que suministran esta información a cambio de un precio razonable. El problema está en la interpretación de las imágenes, pues según el cultivo que se esté estudiando hay que trabajar con unas longitudes de onda u otras y desarrollar criterios diferenciadores. Esta técnica es conocida como teledetección. En la actualidad son varios los departamentos universitarios de las escuelas de Ingenieros Agrónomos, Agrícolas, Topó-



pero todo está en  
**www.eumedia.es**  
**¡Visítanos!**

**www.eumedia.es**  
**el portal agroalimentario de referencia**



**Hoy en día lo que es más fácil de encontrar en España son tractores dotados de guiado automático y cosechadoras capaces de elaborar mapas de rendimientos.**

grafos y hasta Facultades de Informática quienes están trabajando en el procesamiento de información a partir de las imágenes captadas por satélites.

## Modelos para la toma de decisiones

Lo ideal sería introducir en un ordenador toda la información obtenida por los sensores montados sobre máquinas, análisis, determinaciones visuales y teledetección, y que éste nos dijera los momentos y dosis de aplicación de los diferentes productos (semillas, abonos, agua, pesticidas) y el de la recolección. Por supuesto, esto es lo más difícil de todo el proceso, puesto que se requiere tener en cuenta muchas particularidades locales de cada comarca, variedad de cada especie cultivada y tipo de suelo y clima. Existen programas de ordenador

que aplican modelos que ayudan en la toma de decisiones, los cuales han sido elaborados a partir de datos y condiciones existentes en otros países. En España ya hay algunas adaptaciones, pero por supuesto se refieren a algún cultivo y zona muy concretos y difícil de extrapolar a otras.

## Situación actual del agricultor español

La agricultura de precisión no debe entenderse como un compendio de varias técnicas que se adopten de un modo que se podría denominar "todo o nada", sino que los agricultores van adoptando una a una las sucesivas tecnologías.

En estos momentos, lo que es más fácil de encontrar en España son tractores dotados de guiado automático y cosechadoras capaces de elaborar mapas de rendimientos. El guiado automático ya ha alcanzado tal grado de precisión que el tractor puede seguir una trayectoria con un error máximo de 1 ó 2 cm. Esta trayectoria puede haber sido programada introduciendo los comandos oportunos en el ordenador de a bordo, o repetir una seguida anteriormente cuando se actuaba a mano sobre el volante. Los mapas de rendimiento que elaboran las cosechadoras son bastante precisos, aunque se requiere calibrar los sensores que detectan la producción que va pasando camino de la tolva, para que sus señales se adapten a semillas de diferente tamaño, forma y densidad.

Aunque en menor cuantía, quien lo desee también puede encontrar en el mercado abonadoras y pulverizadores cuyos sistemas de dosificación reciban órdenes desde el ordenador instalado en el tractor, lo cual les hará variar la dosis en cada zona del punto del terreno sobre la que se encuentren, para aplicar dosis variables en función de los datos disponibles del terreno y el cultivo.

A medida que avanzamos en las aplicaciones tecnológicas, la ejecución ya es más difícil y se sale de las capacidades de los pequeños y medianos agricultores. En España hay varias empresas que ofrecen servicios de teledetección, y muy pocas dedicadas plenamente a la agricultura de precisión. En esto último, los pioneros están en Andalucía, quizás por la existencia en esa Comunidad de fincas grandes donde es más rentable la agricultura de precisión. Ya hay dos o tres empresas que ofrecen servicios al agricultor para asesorarle en cultivos tales como el olivar o el algodón. Estos servicios abarcan la toma de datos en campo y los extraídos de la teledetección, y consejos sobre aplicación de las labores agrícolas. También en Andalucía la Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa ha creado Novapyme, un programa de asesoramiento tecnológico para llevar las nuevas tecnologías a muchas empresas entre las que se incluyen las agrícolas.

## Trazabilidad

La agricultura de precisión, tanto si se implanta en su totalidad, como solo algunos de sus aspectos, requiere la toma, utilización y almacenamiento de un gran número de datos. Muchos de estos datos reflejan lo que podríamos llamar la historia del producto final, es decir, las aportaciones que se han hecho de dosis de semillas, abonos, pesticidas, agua de riego, y los resultados de producción y fechas de cosecha.

Los consumidores y las autoridades están cada vez más interesados en conocer la denominada trazabilidad alimentaria, entendiendo

por tal los pasos que ha seguido un alimento desde que se está produciendo hasta que llega al mercado. Esta información proporciona seguridad y confianza, y es un seguro contra los fraudes que a veces ponen en peligro la salud.

La agricultura de precisión, al necesitar conocer y utilizar muchos datos referentes a la producción de alimentos, permite disponer de la información que conforma la trazabilidad. Por tanto, los empresarios agrícolas que se decanten por ponerla en práctica en sus explotaciones, además del probable ahorro de productos que esparzan sobre el terreno y de costes de las labores agrícolas, también estarán en situación ventajosa respecto a los que no adopten la agricultura de precisión, al poder ofrecer información del proceso productivo junto con el producto final cosechado. ■



**Aunque en menor cuantía, quien lo desee también puede encontrar en el mercado abonadoras y pulverizadores cuyos sistemas de dosificación reciban órdenes desde el ordenador instalado en el tractor, lo cual les hará variar la dosis en cada zona del punto del terreno sobre la que se encuentren.**