

LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN LAS PRADERAS NATURALES

# UN PROYECTO PARA LA APLICACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS

El Alto Alentejo es una región que se encuentra situada en el Sur de Portugal, y que se caracteriza por su clima templado con influencia mediterránea. Las praderas permanentes ocupan aproximadamente 200 000 ha en la zona; aquí surge un proyecto, financiado por el gobierno portugués, sobre "Demostración de tecnologías de aplicación diferenciada de fertilizantes y de semillas en la mejora de las praderas naturales", utilizando las tecnologías de la Agricultura de Precisión. En el desarrollo del mismo se utiliza el sistema comercial *Fieldstar* y la unidad de control electrónico de la abonadora Vicon RS-EDW para aplicar de manera

diferenciada los fertilizantes, en función de la caracterización física, química y de la flora de las parcelas. Este proyecto, iniciado en el año 2004, continúa en la actualidad.



En la década de los '80 se obtienen los primeros resultados de la gestión diferenciada sobre parcelas agrícolas en los Estados Unidos. En Europa, esta misma tecnología alcanza un grado de utilización similar en la década siguiente. En Portugal, algunos investigadores intentaron poner a punto estas técnicas; las fuertes limitaciones relacionadas con las reducidas inversiones en esta área, asociadas a aspectos estructurales, no les han permitido ir más allá de las intenciones. Este es el primer proyecto de demostración aplicada en Agricultura de Preci-

sión, realizado con la participación de instituciones de enseñanza y de investigación científica.

Interesa aplicar tecnologías avanzadas, tradicionalmente utilizadas en los cereales, a una zona de pastos naturales de gran interés para el aprovechamiento de la ganadería extensiva y del ganado porcino en la dehesa.

En el Alto Alentejo, un gran porcentaje de los suelos presentan limitaciones para la producción agrícola, ya que predominan las parcelas que tienen una reducida capa arable, con problemas de drenaje, bajos contenidos de materia orgánica, aci-

dez y muchos afloramientos rocosos en la superficie.

Estas parcelas, durante muchas décadas sometidas a la producción de cereales, alcanzaron un estado de degradación que hace impracticable la utilización de sistemas intensivos de producción. En ellas se exige ahora la adopción de estrategias de recuperación a medio y largo plazo, que se basan en el aprovechamiento de la comprobada aptitud de la región para la ganadería extensiva, con razas autóctonas en régimen extensivo, lo que pasa por fomento de las praderas permanentes, como parte integrante de un ecosistema de valor indiscutible, que es la dehesa.

El gestor de estas praderas debe de tener en cuenta la gran variabilidad que presentan, incluso dentro de cada parcela, en sus potencialidades productivas, de manera que pueda realizar una aplicación diferenciada de fertilizantes, enmiendas y semillas, basándose en su experiencia y conocimiento técnico. La biodiversidad en estas praderas de dehesas son un ejemplo de esta variabilidad.

El gestor de estas parcelas normalmente no tiene medios para hacer una aplicación diferenciada de los factores de la producción referidos, por lo que utiliza la tecnología disponible para realizar una distribución uniforme y no diferenciada. Por ello se sigue un círculo vicioso: la tecnología no se divulga porque el agricultor no la solicita; el agricultor no pide esta tecnología porque la desconoce.

## ■ EQUIPAMIENTO UTILIZADO

El equipo reunido por los participantes en este proyecto, incluye:

- Un tractor Massey Ferguson 6130 (85 CV), provisto con el radar, parte integrante del sistema de información *Datatronic 2*.
- Sistema que *Fieldstar* para la Agricultura de Precisión de AGCO.
- Antena DGPS Garmin 16 montada en el tractor, y estación GPS Trimble 4700, RTK, con 2 unidades móviles (*rovers*).
- Abonadora centrífuga Vicon-RS-EDW, con el sistema de mando e información Ferticontrol y con células de carga instaladas en la base de la tolva de alimentación.
- Vehículo *quad* 4x4.

### El equipo de distribución de fertilizante

El distribuidor centrífugo de abono utilizado, Vicon RS-EDW, dispone de una tolva de 1 500 litros de capacidad que alimenta dos discos con la rotación divergente. Este equipo permite un conjunto de regulaciones mecánicas con el objetivo doble de ajustar el caudal de fertilizante y de regular la anchura de trabajo.



Antena GPS Garmin 16 montada sobre la cabina del tractor.

Con la abonadora Vicon RS-EDW es posible la regulación automática de la densidad de la aplicación pretendida en la función de la velocidad de avance. Estos equipos se designan como distribuidores de caudal proporcional al avance (CPA). El operador, a través de una consola, programa el microprocesador con la densidad de distribución de referencia y con la anchura de trabajo del distribuidor. El microprocesador también recibe la información de la velocidad de trabajo, a través del radar instalado en el tractor.

Esta abonadora incorpora un sistema de pesa-do que incluye cinco sensores entre el bastidor y la tolva que permiten medir la masa de fertilizante contenida en la misma, en intervalos de medio segundo, así como el caudal de salida de abono a los elementos de proyección.

Esta información es fundamental para la regulación de la densidad de aplicación de fertilizante establecida, que queda asegurada de una manera automática con la conexión del microprocesador a los actuadores eléctricos, cuya función es la de ajustar la apertura de la dosificación modificando la sección de los orificios de salida de la tolva, o en otros términos, para ajustar el flujo de masa de fertilizante en función de la velocidad de avance.

Actuadores eléctricos de apertura de los platos de dosificación del fertilizante.





GPS con corrección diferencial Trimble RTK 4700: montado sobre tractor, en quad y en el campo.



### Sistema de posicionamiento del tractor sobre el terreno

La aplicación del concepto de agricultura de precisión exige la conexión de los equipos agrícolas (tractores, aperos, segadoras, etc.) a los sistemas de posicionamiento de las máquinas en el terreno. De esta manera, la información recogida por los sensores electrónicos son georeferenciadas, permitiendo al agricultor volver a cada posición, e identificarlos factores responsables de los comportamientos anormales de determinadas variables.

El tractor del ensayo se equipó con una antena Garmin-GPS 16, con receptor de corrección diferencial enviada por una estación de referencia, en este caso un satélite geoestacionario.

En el equipo utilizado en esta proyecto dispone de una antena Trimble 4700, constituida por la base y dos unidades móviles. La base se instó en un lugar de coordenadas conocidas, procediendo a la corrección en tiempo real (RTK) de las coordenadas registradas por las unidades móviles, que pueden ser transportadas por el propio tractor, en un *quad*, o manualmente por el propio operador.

## APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN A LAS PRADERAS NATURALES

### Conexión entre los diferentes componentes del equipo

Cualquier proyecto que involucra nuevas tecnologías de fabricantes diferentes, presenta siempre, como dificultad principal, el establecimiento de las conexiones entre los diferentes materiales. La dificultad para las conexiones se refuerza cuando los representantes de la tecnología venden un número reducido de unidades, ya que no encuen-



tran justificación a la inversión necesaria para la formación de sus técnicos. Este proyecto, y con los materiales utilizados, no escapa de la regla, por lo que la primera fase consistió en el establecimiento de las conexiones del sistema completo.

El sistema comercial *Fieldstar* desarrollado por Massey Ferguson, permitió, en el caso del estudio, interconectar la información del tractor (radar), del apero (a través del sistema Ferticontrol) y de los satélites (GPSd). El operador sólo tendrá que programar, con el software del ordenador de mesa, una tarjeta de memoria en la que inserta el mapa de la parcela con las densidades de fertilizante que se desean aplicar en cada zona de la misma.

Previamente a la realización de los ensayos del campo, el distribuidor centrífugo de fertilizante se ensayó en tres etapas.

En la primera, se utilizó un recipiente para la recogida del fertilizante, lo que permitió evaluar la capacidad de los discos del distribuidor para proporcionar un flujo de fertilizante que garantice la

- En la primera, se utilizó un recipiente para la recogida del fertilizante, lo que permitió evaluar la capacidad de los discos del distribuidor para proporcionar un flujo de fertilizante que garantice la



Sistemas Ferticontrol, Fieldstar y Datatronic 2, instalados en el tractor de ensayo.

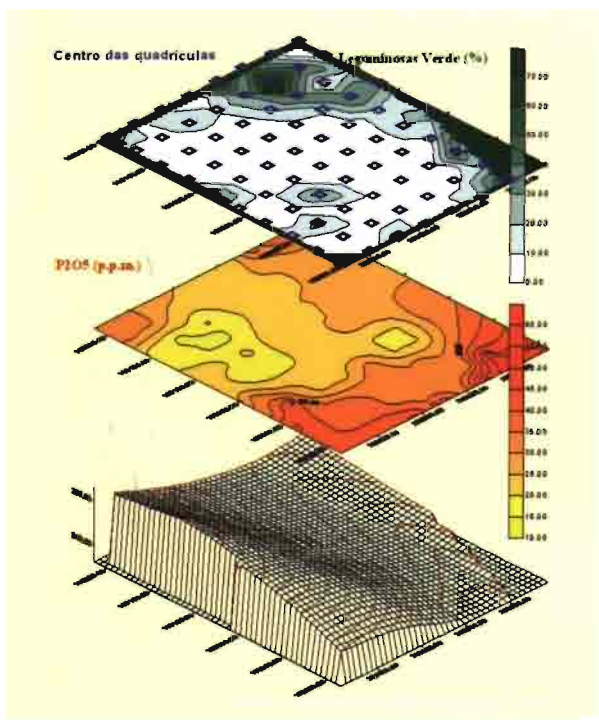
densidad de aplicación programada, en la función de la velocidad de avance.

- En la segunda, se evaluó la uniformidad transversal del distribuidor centrífugo de fertilizante, para establecer la anchura de trabajo efectiva. Esto se realiza haciendo pasar el tractor perpendicularmente a un conjunto de cajas de recogida, de las que se utilizan en ensayos de laboratorio, que reciben el fertilizante proyectado, pesando los contenidos de cada caja para establecer la curva de distribución transversal correspondiente.
- En la tercera, los mismos recipientes se colocaron longitudinalmente en relación con la pasada del tractor-distribuidor, intentando evaluar el punto de caída del fertilizante y el tiempo de respuesta del distribuidor a partir de las instrucciones para el cambio en las diferentes densidades de aplicación de fertilizante (determinación de la dimensión de las áreas de transición entre las diferentes densidades de la aplicación), en la función de la velocidad de trabajo.

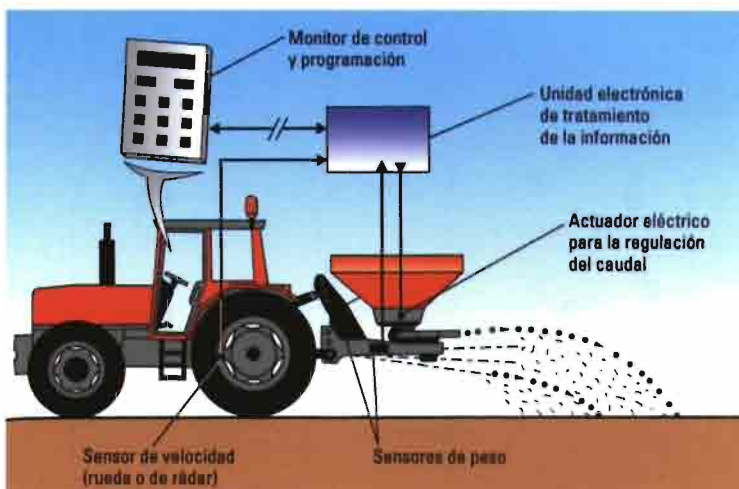
También, antes de la ejecución de los ensayos del campo, fue evaluada la precisión del sistema GPSd Garmin instalado en el tractor. La precisión se probó en cuatro puntos representativos dónde, en días diferentes y a varias horas del día, se efectuaban lecturas de las coordenadas geográficas, a partir de las cuales se verificada un radio dispersión, que fue del orden de los 3 metros.

### Caracterización de una parcela de prado natural

La primera fase de cualquier ciclo de agricultura de precisión pasa por la evaluación de la heterogeneidad de las parcelas. Para cuantificar la varia-



Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramienta de soporte a la decisión.



Regulación del caudal de la abonadora en función de la velocidad de avance CPA (CEMAGREF - Francia).

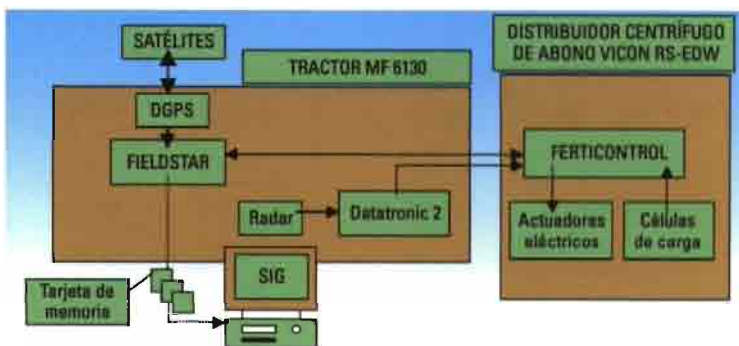
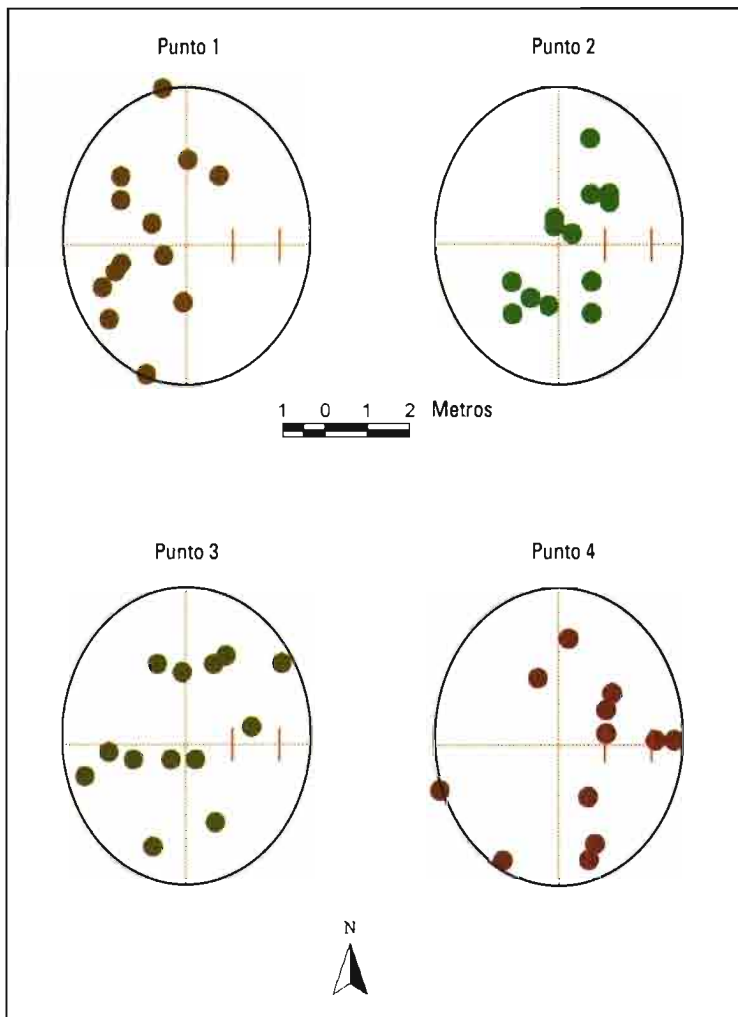


Diagrama esquemático del sistema de aplicación diferenciada de fertilizantes.

bilidad inherente al medio natural es esencial decidir la estrategia para llevar a cabo el manejo de los cultivos, sobre el interés o de gestionar la parcela de una manera diferenciada.

El proceso de caracterización llevado a cabo en la parcela de ensayo tenía como objetivo la construcción de mapas de caracterización para el año cero, antes del comienzo de la tecnología de aplicación diferenciada. El tractor Massey Ferguson 6130, provisto con el sistema *Fieldstar* y guiado por la antena GPSd Garmin, se condujo a lo largo de los extremos de la parcela de pradera. Con el sistema de situación fueron registrados en la tarjeta de memoria los puntos de referencia del contorno de la parcela, la presencia de árboles, los afloramientos rocosos y otros obstáculos naturales existentes. Los datos se transfirieron a través de una tarjeta de memoria, a un ordenador personal provisto con *software* apropiado, que muestra el contorno de la parcela y identifica los obstáculos registrados. De esta forma se crea un mapa de la parcela. El mismo contorno se efectuó con el GPSd Trimble, después de haber instalado una de las unidades móviles en sobre un *quad*. Este equipamiento permitió el levantamiento topográfico de la parcela.

Tomando como referencia la anchura de trabajo de la abonadora, fueron georeferenciados los



Precisión obtenida con el sistema DGPS Garmin 16.

puntos de una rejilla que sirviera de referencia para el muestreo del campo.

El análisis del suelo es el método más antiguo, pero también el más seguro, para caracterizar un suelo agrícola. Se recogieron por ello muestras

georeferenciadas para la evaluación de composición física (granulometría) y química del suelo (nitrógeno total; el fósforo y potasio extraíbles; pH y materia orgánica).

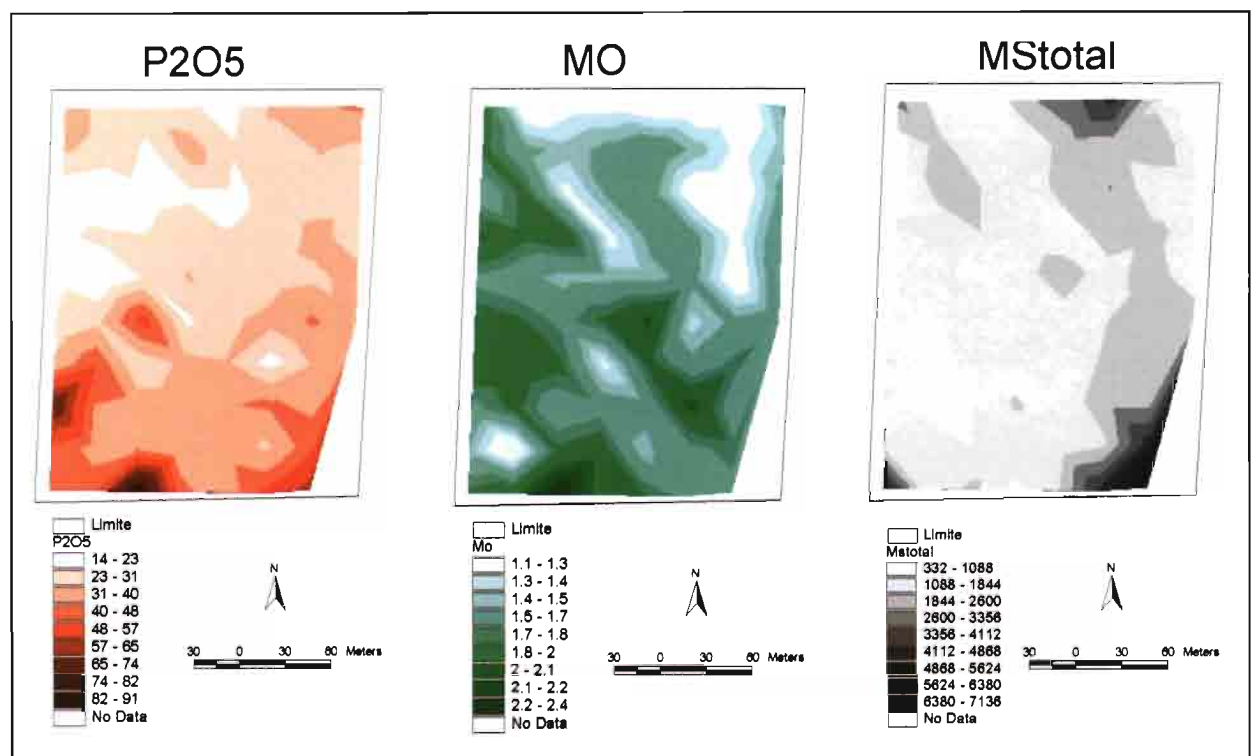
Por otra parte, y considerando que la evaluación de la producción es indiscutiblemente el único método de comprobación de la heterogeneidad de las parcelas que tienen en cuenta el resultado final del cultivo, se procedió a recogida georeferenciadas de muestras de pradera con vista al análisis florístico de su composición (relación entre gramíneas y leguminosas, producción de materia seca, etc.).

Los resultados de los análisis y de las observaciones permitieron construir el mapa de la capacidad productiva del suelo, o mapa de la variación del potencial productiva del suelo, que sirviera para tomar decisiones en relación con las dosis de aplicación de factores necesarios para la implantación y mantenimiento de la pradera. En las figuras adjuntas se ilustra, como ejemplo, los mapas correspondientes al fósforo extraíble, a la materia orgánica en porcentaje y la producción de materia seca total en la parcela.

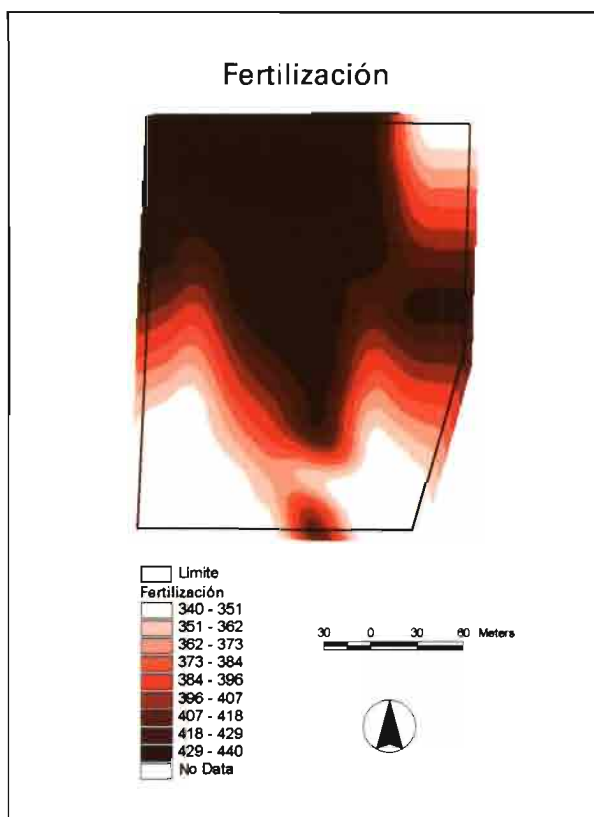
### Aplicación diferenciada de fertilizantes

La información reunida (características topográficas, aspectos físicos y químicos del suelo, composición de la flora de la pradera) se pusieron a disposición de los especialistas y de consultores externos para los efectos de toma de decisiones necesarios en la implantación y mantenimiento de la pradera.

Esta es, ciertamente, la fase más compleja del ciclo completo de agricultura de precisión. La ela-



Representación de los mapas de distribución de fósforo, materia orgánica y producción de materia seca.



Mapa de aplicación de superfosfato 18% en la parcela de ensayo (kg/ha).

boración de sistemas de apoyo a la toma de decisión agronómica adaptados a la agricultura de precisión, para la interpretación de los mapas de capacidad productiva del suelo, susceptibles de tener en cuenta los objetivos específicos de cada exploración, combinando en la decisión final los criterios económicos, medioambientales y de calidad de la producción, exigirá un esfuerzo muy importante en los próximos años, para definir referencias regionales y locales.

En el mapa de la parcela, el programa *Fieldstar* introduce una rejilla que la divide en una malla de subparcelas de dimensiones iguales a la anchura de trabajo de la abonadoras. En cada una de estas subparcelas, y con la referencia del mapa de caracterización previa, se efectuó el registro de las cantidades de fertilizantes que había que aplicar, creándose de esta manera el mapa de tratamientos, o mapa de aplicación de fertilizantes. El mapa fue transferido, a través de una tarjeta de memoria, al terminal *Fieldstar* del tractor, permitiendo, esta manera, ordenar la distribución de fertilizante automáticamente en la función de cada posición en la parcela.

La gestión intraparceldaria es un proceso en que el nivel de conocimiento es acumulativo. Son necesarios varios años de observaciones para identificar los factores explicativos principales de la variabilidad verificada. Los sistemas de información geográfica son una herramienta fundamental, ya que permiten almacenar y poner en capas dife-



rentes de información el mismo parámetro a lo largo de varios años, o de varios parámetros de manera simultánea, lo que facilita el análisis y la toma de decisiones para la gestión de exploración.

El sistema que *Fieldstar* utilizado registra la evolución que el tratamiento diferenciado proporciona, creándose de esta manera una actualización del potencial productivo de la parcela y de la pradera. El año de 2005, en el que se debería de desarrollar la primera fase de evaluación de la aplicación diferencial de fertilizante, ha sido sin embargo, un año de sequedad extrema en la península Ibérica. Estas condiciones adversas comprometieron la producción de praderas de secano en el Alentejo, lo que ha impedido, por el momento, alcanzar uno de los objetivos del proyecto: la mejora de las praderas de secano.

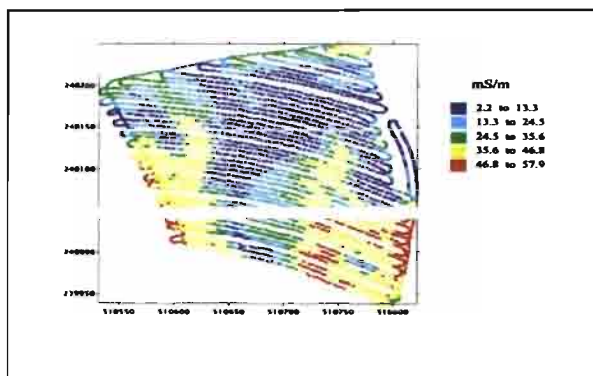
## ■ NUEVAS PERSPECTIVAS

El concepto de gestión de microparceldas, que se desarrolló para los cereales, con la adaptación de sensores para la medida de la masa de grano



Importación de datos del sistema *Fieldstar* al ordenador.

Determinación rápida de la conductividad eléctrica del suelo.



recogido por las cosechadoras y la elaboración de los mapas de cosecha, ha sido el primer el instrumento para la evaluación de la heterogeneidad de las parcelas. Algunos fabricantes de maquinaria agrícola están desarrollando sensores para la medida de la masa de forraje recogido por las segadoras picadoras, lo que constituye un nuevo campo de aplicación de la agricultura de precisión.

Otras aplicaciones naturales de esta tecnología tienen que ver con la administración de los perímetros del riego, o con el aprovechamiento de cultivos mediterráneos, con gran importancia económica en la península Ibérica, como la viña y el olivar, especialmente los que se relaciona con la evaluación del estado sanitario y del estado de maduración de las cosechas.

Asimismo, en el ámbito de la aplicación diferenciada de fertilizantes, la evolución pasará por la colocación de varias tolvas de alimentación con fertilizantes diferentes (o semillas) y un mezclador controlado por el sistema de posicionamiento en la parcela. En la función de la información de la cartografía, el sistema mezclaría los elementos diferentes (N, P, K o semillas), para que la formulación se ajusta a una dosificación apropiada para las necesidades de cada microparcela a fertilizar o sembrar. Este sería un sistema similar al que ya se utiliza en los modernos mezcladores-distribuidores de raciones para los animales.

Determinación rápida de la cantidad de materia seca en la pradera.



La evolución tecnológica proporciona actualmente un gran volumen de información y crea a los gestores un grado de dificultad agregada. Se exige ahora el correspondiente desarrollo de herramientas de apoyo a las tomas de decisión. Se da particular importancia a la evaluaciones rápidas en las parcelas, a partir de la determinación de la conductividad eléctrica del suelo, como resultado de la comprobación de la relación de este parámetro con algunas características del suelo que influyen en la productividad (contenido de humedad, contenido de arcilla, contenido de materia orgánica, etc.).

Específicamente para las praderas y forrajes, se está utilizando con el éxito en Nueva Zelanda y en Australia un instrumento manual para la medida de la cantidad de materia seca producida, lo que exige, naturalmente, la calibración en la función de las características de la parcela.

Recientemente para el proyecto presentado, que sigue su curso, se ha adquirido un nuevo interfaz BlackBox de Patchwork, y un sistema de apoyo para conducción en línea recta paralelas, con el objetivo de mejorar el proyecto ya iniciado para la difusión de estas tecnologías entre los agricultores.

## ■ LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS: ATRACTIVO PARA LOS JOVENES

Todos reconocen el elevado coste de estas tecnologías, por lo que se necesita urgentemente promover una política del asociacionismo entre pequeños y medianos agricultores que permita el establecimiento de sociedades, con el objetivo de repartir las responsabilidades y rentabilizar las potencialidades inherentes.

Las tecnologías innovadoras dan su contribución en el sentido de mostrar que la agricultura tiene hoy a su disposición medios que son suficientemente atractivos para poder competir de igual a igual con otras actividades económicas. Este aspecto es particularmente importante, frente al muy conocido abandono continuo de la agricultura, como el área de formación, para los jóvenes. Entre las razones que se presentan para ello está lo que consideran la falta de sofisticación de la agricultura, si se compara con la enseñanza de otras áreas técnicas (ingeniería y otros).

Por otro lado, al no ser hoy la enseñanza y los servicios estatales las salidas profesionales para las licenciaturas en el área de la agricultura, y no siendo capaz a la estructura agrícola de absorber a estos profesionales, hay fomentar el ejercicio libre de la profesión y la creación de nuevas compañías pequeñas. La prestación de servicios en la agricultura, con la participación fuerte de las nuevas tecnologías asociadas a la aplicación de la agricultura de precisión, es una posibilidad, ya confirmada a muchos países de Europa. ■

■ **JOÃO M. SERRANO, JOSÉ O. PEÇA, PAULO PALMA, JOSÉ R. SILVA, JORGE MENDES, MÁRIO DE CARVALHO, JOÃO ROMA, DAVID CRESPO, A. CASAS NOVAS**

Universidade de Évora, Departamento de Engenharia Rural, Núcleo de Mitra, Apartado 94, 7002-554 Évora – Portugal  
E-mail: [jmrs@uevora.pt](mailto:jmrs@uevora.pt)  
Traducción: **LUIS MÁRQUEZ**