Elódio Sebem
Ing. Forestal
(UPM/ETSIA – CAPES/Brasilia)



SISTEMAS DE INFORMACIÓN Y POSICIONAMIENTO GLOBAL

Cada vez es más frecuente que las empresas de maquinaria agrícola ofrezcan sistemas que permiten realizar las operaciones dentro de lo que se define como *agricultura de precisión*. La información correspondiente a cada zona del campo se relaciona con la posición precisa de la máquina calculada por las referencias de un conjunto de satélites. En este artículo se analiza, lo que ofrecen estos sistemas de determinación precisa de la posición y algunas de sus aplicaciones a la agricultura.

Los cambios en las herramientas informáticas han proporcionado un considerable aumento de la capacidad de los ordenadores personales, así como la evolución de los softwares específicos de trabajo con datos geográficos. Esta evolución se acompaña por una demanda creciente de la sociedad por poseer información relacionada con una posición geográfica sobre la superficie de la tierra.

Los Sistemas de Informaciones Geográficas (SIGs) entran en nuestras vidas a diario: cuando se conduce un coche con ordenador de a bordo y un sistema de carreteras en pantalla que nos dice dónde estamos, cuando se utiliza un móvil para comunicarnos o cuando se consulta un callejero en Internet.

Los SIGs son, en realidad, tecnología del mundo contemporáneo. Tienen como característica principal la capacidad de integrar y transformar datos espaciales. La existencia de grandes colecciones de datos (entendidos como la descripción cualitativa y cuantitativa de fenómenos que ocurren en el mundo real), anima a investigadores y usuarios a intentar reunirlas en una base consistente, una Base de Datos.

Es evidente que los datos fueron recogidos en épocas distintas, buscaban objetivos variados, contenían diversas resoluciones y fueron compilados por diversos autores. Hoy, la recogida de datos está cada vez más evolucionada en función de la existencia de herramientas más precisas y un mayor conocimiento científico.

Cuando a los datos se les agregan valores intelectuales se transforman en informaciones. Esas informaciones contienen, por lo tanto, un alto valor añadido, y constituyen la base fundamental de los SIGs para la intervención en los medios físico, químico y biológico y la optimización de la utilización de los recursos naturales.

Por medio de los Sistemas de Informaciones Geográficas pode-





GEOGRÁFICA, TELEDETECCIÓN POR SATÉLITES

mos conocer las ocupaciones y utilizaciones del medio físico, constituyendo el llamado universo de la Geotecnología, juntamente con el Procesamiento Digital de Imágenes (PDI), la Geoestadística y los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS, GALILEO). La Geotecnología es el arte y la técnica de estudiar la superficie de la tierra y obtener informaciones para optimizar la utilización de los recursos naturales.

Así, los SIGs representan una convergencia de la tecnología de la información con la tecnología más tradicional, combinando diversas áreas del conocimiento humano, como la ciencia de la computación, gestión de la información, cartografía, geodesia, fotogrametría, topografía, procesamiento digital de imágenes y geografía.

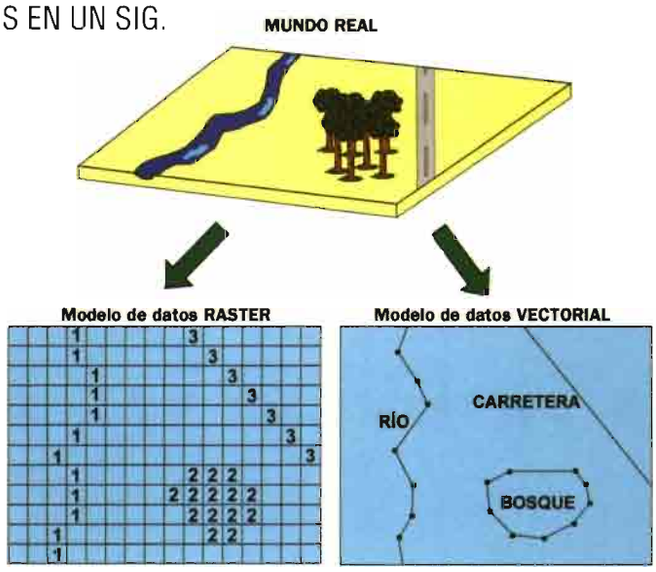
Estructura de los sistemas de información geográfica

La primera fase en la definición de un SIG es la estructuración de una Base de Dados (BD) que permita la manipulación de los datos existentes para los análisis que se quieran realizar. La BD debe incluir todos los datos georreferenciados y con controles de error para la optimización del sistema. Los Sistemas de Gestión de Base de Datos (SGBD) pueden utilizarse para el almacenaje y recuperación de datos no gráficos, o sea, los atributos de los objetos que forman el mundo real. Estos sistemas permiten procesar informaciones numéricas y textuales, así como almacenar gráficos, sonidos y imágenes.

Los SIGs pueden almacenar los datos geográficos de dos formas distintas (Figura 1): en forma vectorial en que la descripción de los objetos geográficos utilizan vectores (líneas) definidos por pares de coordenadas relativas a algún sistema cartográfico. Con un par de coordenadas se define un punto, con dos puntos se genera una línea, y con una agrupación de líneas se forman polígonos. A estos objetos de dibujo ya se les pueden asociar las diversas capas de información que se relacionan con el modelo espacial generado a través de puntos y líneas.

La otra manera de almacenaje es la forma *Raster* que se basa en dividir la zona de afección de la base de datos en una retícula o malla regular de pequeñas celdas

FIGURA 1. MODELOS DE DATOS EN UN SIG.



(píxeles) y atribuir un valor numérico a cada celda como representación de su valor temático. Dado que la malla es regular, el tamaño del píxel es constante y se conoce la posición en coordenadas del centro de una de las celdas, se puede decir que todos los píxeles están georreferenciados.

Los datos vectoriales almacenados en los SIGs se obtienen de las técnicas de topografía, fotogrametría, fotointerpretación y los sistemas de posicionamiento global (GPS).

Las informaciones en formato *Raster* para alimentar los SIGs vienen de las técnicas de Teledetección, que es la capacidad de medir las características físicas de un objeto a distancia. Los Fotogramas utilizados por la Fotogrametría fueron los primeros en ser utilizados y alimentar los SIGs: ejemplo es el SIG Oleícola del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España, donde, a través de Internet, se pueden visualizar los límites de las parcelas agrícolas sobre una ortofoto digital.

TABLA 1. PRINCIPALES SISTEMAS DE TELEDETECCIÓN QUE ACTUALMENTE ESTÁN OBTENIENDO IMÁGENES DE LA SUPERFICIE TERRESTRE.

Satélite	Resolución Espectral (nº bandas)	Resolución Espacial (m)	Resolución Temporal (días)
Landsat - Tematic Mapper	6	30	16
Landsat - MSS	4	80	16
SPOT 5 - HRV(XS)	3	10	3 a 5
SPOT 5 - HRV(P)	1	2.5	3 a 5
CBERS-2 - WFI	2	260	5
CBERS-2 - IR-MSS	4	80	26
CBERS-2 - CCD	5	20	26
IKONOS - Multiespectral	5	4	1.5
IKONOS - Pancromático	1	1	2.9
ASTER - VNIR	3	15	Configurable
ASTER - SWIR	6	30	Configurable
ASTER - TIR	5	90	Configurable
IRS - Pancromático	1	5.8	48
EROS B6 (8 satélites)	1	0.82	4
ENVISAT - MERIS	15	300	3
ENVISAT - ASAR (Radar)	1	25 a 1000	3
SAC - C	5	175	9
ORBVIEW-3 - Pancromático	1	1	< 3a

El papel de los satélites

A partir de 1972 la manera de mirar nuestro planeta cambió para siempre cuando la NASA (Agencia Espacial Americana) puso en órbita el primer sensor multiespectral a bordo del ERTS *(Earth Resource Technology Satellite)*, empezando así la puesta en órbita de una serie de satélites de Teledetección, que hoy día conocemos como *Landsat*.

De ese momento hasta hoy numerosos sensores de adquisición de imágenes fueron puestos en órbita a bordo de satélites, incluyendo iniciativas de países como Rusia, Francia, Japón, Canadá, India, Argentina, Israel, China y Brasil, recogiendo las informaciones del espectro electromagnético reflejado por la superficie terrestre. En la Tabla 1 presentamos un listado de los principales sistemas de teledetección con sus resoluciones.

Se entiende por resolución espectral el número de bandas del espectro electromagnético que el sensor puede diferen-

FIGURA 3. RELIEVE DE LA TIERRA OBTENIDO CON EL SISTEMA RADAR SRTM.
Fuente: SRTM Team NASA/JPL/NIMA - http://earthobservatory.nasa.gov/



ciar. La mayoría de los sistemas sensores obtienen información en el área del visible y el infrarrojo (*Landsat*, SPOT, CBERS, IKONOS, ASTER, IRS, ENVISAT-MERIS, ORBVIEW) y la cobertura de nubes existente puede limitar la obtención de imágenes de la superficie terrestre.

El instrumento SAR *(Sintetic Aperture Radar)* de los sistemas RADAR trabaja con microondas que él mismo emite y recibe las señales de retorno permitiendo 'ver' la superficie terrestre, ya sea con nubes, niebla, humo o noche. Así, un satélite RADAR puede obtener imágenes de óptima calidad a cualquier momento y bajo cualesquiera condiciones atmosféricas.

LOS SISTEMAS DE RADAR HACEN 'VISIBLE' LA SUPERFICIE TERRESTRE, YA SEA CON NUBES, NIEBLA, HUMO O NOCHE

La resolución espacial se refiere al tamaño de la superficie terrestre almacenado en cada píxel de la imagen. Podemos subdividir los sistemas sensores en: Sensores de baja resolución espacial (píxel igual o mayor de 100 m); sensores de mediana resolución espacial (píxel de 15 a 30 m) y sensores de alta resolución espacial (tamaño del píxel menor de 5 m).

El tiempo de revisita al mismo punto de la superficie terrestre caracteriza la resolución temporal de los sistemas orbitales de teledetección y puede variar entre la obtención de varias imágenes de la misma zona de la tierra en el mismo día (satélites meteorológicos) hasta un período de 48 días entre una imagen y otra (satélite IRS).

La Figura 2 presenta una imagen Landsat-5 TM (composición RGB 5-4-3) de la órbita punto 202/35 de 21 de junio de 1995 que corresponde al sur de España donde se puede destacar la vega del Río Guadalquivir en el centro con la ciudad de Sevilla arriba. A la derecha se puede apreciar Cádiz y a la izquierda Huelva.

La Figura 3 presenta una composición de imágenes generadas por el sistema radar SRTM *(Shuttle Radar Topography Mision)* con una resolución espacial de 30 m, adquirida en febrero de 2000. La imagen final comprende el 80% de la superficie terrestre entre las latitudes 60° S y 60° N y sus colores corresponden a la altitud de la tierra.

FIGURA 2. IMAGEN LANDSAT-5 TM COMPOSICIÓN FALSO-COLOR 5-4-3
Fuente: Proyecto CCIREA PN I+D+I 2000-03 (REN2001-3791/CLI) – (JRC – Ispra-IT).



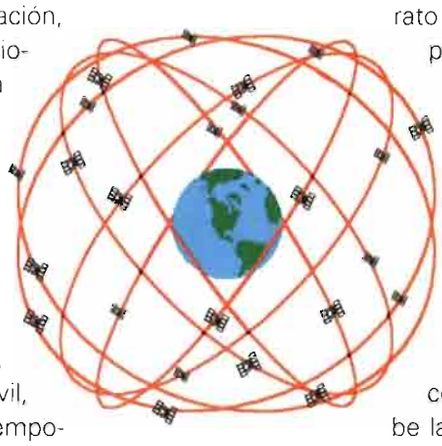
Sistemas de posicionamiento

El desarrollo de los sistemas de posicionamiento global por satélites tiene su máximo impulso con la puesta en órbita del Sistema GPS *(Global Position System)* por el Departamento de Defensa Americano en los años '70. La base del sistema es la triangulación desde los satelites utilizando para tal la medición de la distancia a través del tiempo de viaje de un mensaje de radio. Cada satélite contiene relojes atómicos de alta precisión y transmiten constantemente las señales de radio utilizando un código único de identificación. La Figura 4 presenta una foto de uno de los satélites GPS. La

FIGURA 5.- DIBUJO ESQUEMÁTICO DE LA CONSTELACIÓN DEL SISTEMA GALILEO.
Fuente: www.galileo-industries.net

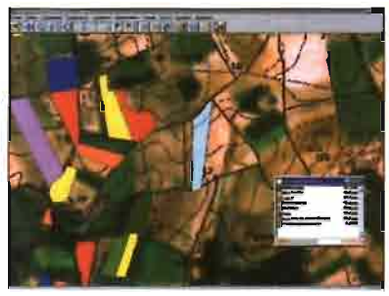


constelación GPS esta compuesta por 24 satélites en 6 planos orbitales con 4 satélites en cada plano en una altitud de 20 200 km. Las áreas de utilización de los Sistemas de Posicionamiento Global son enormes: Transporte, Seguridad, Energía, Aviación, Telecomunicaciones, Ingeniería Civil, Topografía, Geodesia, Agricultura y Pesca, Medio Ambiente, Ayuda a discapacitados, Protección Civil, Referencia Temporal, Ciencia, Ocio, Finanzas, Bancos y Agencias de Seguro.



Las técnicas de GPS diferencial (DGPS) se utilizan para eliminar los errores introducidos por la disponibilidad selectiva y otras fuentes de error. El DGPS supone la cooperación de dos receptores, uno que es fijo (estación base) y otro que se desplaza alrededor realizando medidas de posición. El receptor fijo es la clave y se encarga de relacionar todas las medidas del satélite con una referencia fija. De este modo, la estación base calcula las correcciones necesarias para que las pseudodistancias coincidan con su posición correcta que es perfectamente conocida. Se puede utilizar para eso post-procesamiento o un enlace de radio para que la corrección diferencial sea en tiempo real. En el post-procesamiento los programas de ordenador de cada aparato recalculan los puntos comparando las mediciones de la estación base y el receptor móvil. Para la corrección en tiempo real el receptor GPS recibe la señal de radio con los datos de la base y automáticamente corrige la posición del punto que se esta midiendo.

El 19 de julio del año 1999 el Consejo Europeo decidió lanzar el programa Galileo, dentro de la generación GNSS-2 *(Global Navigation Satellite System)*, como un sistema propio con infraestructura independiente tanto en el segmento vuelo como en el segmento tierra, de titularidad civil y cobertura global, bajo la supervisión de la UE y abierto a la interoperabilidad con otros sistemas como el GPS. La previsión es que en el año de 2008 esté completamente operativo poniendo en marcha la fase de explotación comercial y operación del sistema.



El sistema Galileo dispone el despliegue en el segmento vuelo de una constelación de 30 satélites en órbita media (MEO). Estos estarán repartidos en 3 orbitas circulares igualmente espaciadas, en cada uno de los cuales se encuentran dispuestos 10 satélites con una inclinación de 56° en el plano orbital sobre la línea del ecuador, a una altura de 23 616 km (Figura 5). Serán 27 satélites activos más 3 de reserva en previsión de fallos. Estos serán de un peso aproximado de 680 kg, y darán la vuelta completa a la Tierra en 14 horas. El Galileo transmitirá en tres bandas que son: de 1 164-1 215 Mhz (Bandas E5a y E5b), la banda de 1 260-1 300 Mhz (E6) y la banda de 1 559-2 591 (E2; L1; E1) con un total de 11 señales. Para más informaciones visitar la página web www.galileo-industries.com.

Los SIGs del MAPA

La página del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (www.mapya.es) tiene dos Sistemas de Información Geográfica disponibles a través de su página Web. Para acceder a los SIGs del MAPA se utiliza el enlace Cartografía y SIG en la página del Ministerio.

El SIG Oleícola, permite visualizar las imágenes aéreas y las parcelas catastrales del olivar español, permitiendo además mostrar el número de olivos y las coordenadas de cada una por parcela, siendo un ingrediente fundamental del Fichero Oleícola

FIGURA 6. EJEMPLO DE UTILIZACIÓN DEL SIG OLEÍCOLA DEL MAPA

Fuente: http://www.mapya.es/es/sig/pags/sig/intro2.htm



FIGURA 7. CARTOGRAFÍA GENERAL DE GUADALAJARA – APLICACIÓN SIGCH DE SIGA.
Fuente: http://www.mapya.es/es/sig/pags/siga/intro.htm



Informatizado, herramienta de control necesaria para la correcta gestión de las ayudas y la producción de aceite de oliva. De fácil utilización, el SIG Oleícola necesita las siguientes informaciones: el nombre de la provincia, del municipio y el número del polígono y parcela que constan del catastro. En la Figura 6 enseñamos un ejemplo de utilización del SIG Oleícola a través de la red, en que podemos ver la parcela 323, del polígono 35 en el municipio de El Provencio en Cuenca. Esa parcela (con límites en rojo) tiene una superficie de 1 142 ha y 83 olivos (marcados en verde).

El SIGA (Servicio de Información Geográfico Agrario) ofrece, por otra parte, la información cartográfica y alfanumérica relacionada con la Organización Común de Mercados de Cultivos Herbáceos y el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos de España. Las aplicaciones SIGA ofrecen información cartográfica y alfanumérica englobada en dos aplicaciones: Aplicación SIGCH (Sistema de Información Geográfico relacionado con la OCM de Cultivos Herbáceos) que está compuesta por: Cartografía general; Mapas temáticos sobre variables agroclimáticas, Plan de Regionalización Productiva de España para la aplicación del Reglamento (CE) 1251/1999 del Consejo y Informes sobre Municipios y Estaciones Meteorológicas. Aplicación MCA (Mapa de Cultivos y Aprovechamientos de España) con informaciones de Mapa de Cultivos y Aprovechamientos de España, a escala 1/50 000, Metodología utilizada y Informes sobre teselas, Hojas 50 000 y Municipios. La Figura 7 enseña un ejemplo de utilización de la Cartografía General de la Aplicación SIGCH.

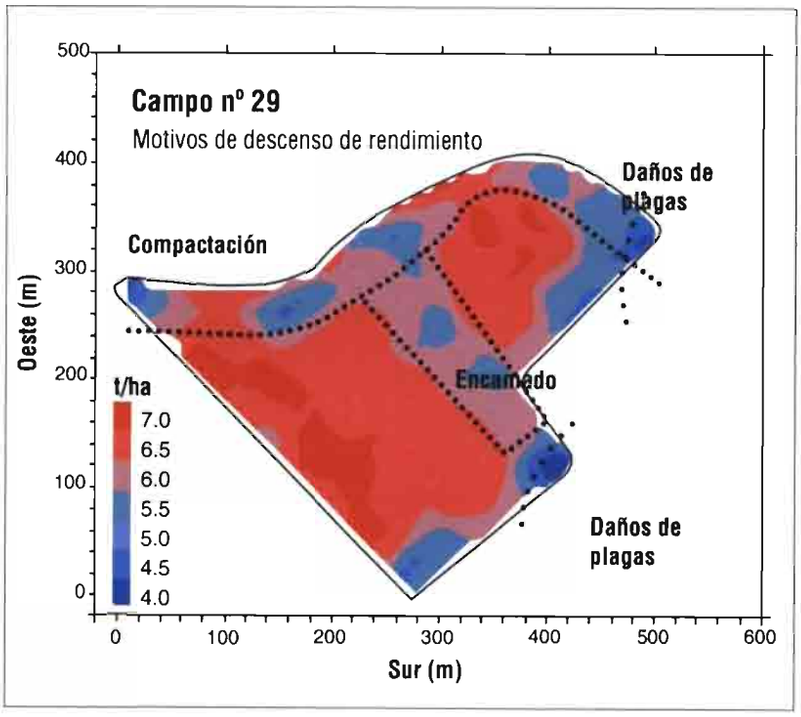
También se ha incorporado el SIGPAC, que posibilitará la publicación y mantenimiento de los recintos con sus usos agrícolas en todo territorio español, sobre un fondo de fotografía aérea.

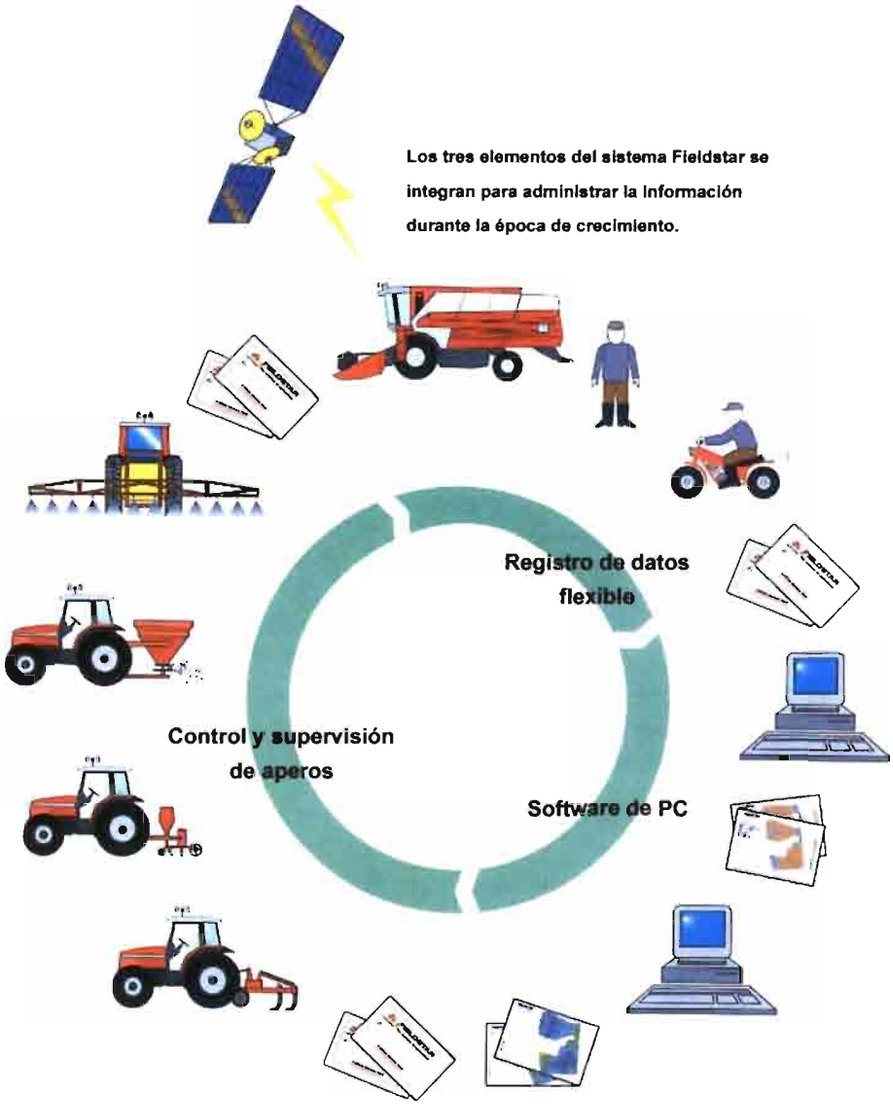
Agricultura de precisión

En los últimos años, el término *agricultura de precisión* se usa con frecuencia. La creciente preocupación medioambiental y la necesidad de producir alimentos de calidad de una manera sostenible y respetuosa con el entorno, al mismo tiempo que se intenta reducir el coste de los insumos, son las bases del inicio de la agricultura de precisión.

La agricultura de precisión consiste en efectuar la intervención correcta, en el lugar indicado y en el momento oportuno. Esto se consigue, además de las bases agronómicas pertinentes, usando ordenadores, sensores y otros equipos electrónicos. En la agricultura de precisión se usan herramientas que permiten la obtención y análisis de datos georreferenciados, mejorando el diagnóstico, la toma de decisiones y la eficiencia en el uso de los insumos.

Los orígenes están en los años '70 cuando e Departamen-





Los tres elementos del sistema Fieldstar se integran para administrar la información durante la época de crecimiento.

to de Defensa Americano comenzó a lanzar los satélites de posicionamiento global (GPS). El desarrollo y abaratamiento de microprocesadores y otras tecnologías electrónicas son las herramientas necesarias para el desarrollo de la agricultura de precisión. Con estas tecnologías podemos captar datos, generar información para la elaboración de bases de datos, almacenar y analizar dicha información.

Medir instantáneamente el rendimiento de cultivo, asociarlo a un punto geográfico de la parcela, y almacenarlo en un procesador móvil para luego poder analizar dicha información es la base y el inicio de la agricultura de precisión. Para determinar el rendimiento de cultivo, se deben conocer tres aspectos: el flujo de grano que entra en la tolva de la cosechadora, la velocidad real de la máquina y la anchura de corte. Después haremos mapas de rendimiento basados en los datos instantáneos. Se asocia cada dato de rendimiento con un punto geográfico de la superficie terrestre. A este proceso se le llama georreferenciación.

Los sistemas de agricultura de precisión, a diferencia de otro tipo de ámbito de la maquinaria agrícola, están encaminados a sacar más rendimiento de las explotaciones agrícolas, es decir, se trata de una inversión, que debe ser rentable para que al agricultor le interese adquirir. Evaluar los sistemas de agricultura de precisión en términos económicos no es complicado ya que éstos actúan directamente sobre el rendimiento del cultivo y sobre los costes de producción.

Sistema John Deere

El fabricante John Deere está comercializando algunas herramientas referentes a la agricultura de precisión, sus nombres comerciales son: *Parallel Tracking*™ y *Autotrac*™.

Los componentes usados deben ser, y realmente son, componentes modulares que se pueden mover de máquina a máquina gracias a preinstalaciones en tractores y cosechadoras. Se compone de una antena receptora, procesador móvil y un monitor.

- La antena es el elemento que georreferencia la máquina en el campo. Las señales de GPS o la señal correctora tienen distinto orden creciente de precisión en función de que sea gratuita o no.
- El procesador es el cerebro del sistema, y funciona igual que un miniordenador.
- El monitor muestra toda la información de la máquina y permite cambiar las regulaciones de la misma.

El *Parallel Tracking*™ permite guiar una máquina en líneas paralelas rectas o curvas a una predeterminada a la anchura de trabajo. Se trata de un sistema de conducción manual pero asistido por el sistema. Este sistema permite trabajar en condiciones de poca visibilidad y aprovechando la anchura total de trabajo en todas las operaciones.

El *Autotrac*™ se trata de un sistema de guiado de forma automática en rectas paralelas según una línea de referencia predeterminada a un ancho establecido. Durante la línea recta, no es necesario guiar el tractor por parte del conductor. En el cabecero es el operario el que debe realizar el giro.

Sistema AGCO



El fabricante AGCO comercializa el sistema de agricultura de precisión *FieldStar*® con tres elementos básicos.

- *Flexible Data Logging:* Sistema de georreferenciación de los datos de campo que pueden ser, por ejemplo, el rendimiento de la cosecha o el local de colecta de muestras de suelo.
- *PC software:* Sistema informático para generar los mapas de los datos de campo y trasladar los mismos al sistema de control de la maquinaria a través de tarjetas de memoria.
- *Implement Control and Monitoring:* Sistema de control de los implementos que permite la aplicación automática de un producto (fitosanitarios, abonos, etc.) de acuerdo con los mapas de necesidad generados.

El sistema FieldStar® se basa en el análisis de la variabilidad de los campos de cultivo (rendimiento, tipo de suelo o humedad, por ejemplo), su posterior análisis, la toma de decisiones para corregir las diferencias existentes y la aplicación de los insumos necesarios.

Por ejemplo, con el mapa de aplicación de abono de determinada parcela en el ordenador de bordo del tractor, el sistema de distribución del implemento libera la cantidad necesaria en función de la posición en que se encuentra dentro del área.

Permite además trabajar con el sistema GPS de forma individual (sólo el receptor del tractor) o GPS Diferencial (a través de dos receptores, siendo uno fijo en un punto de coordenadas conocidas).

Los avances en el área de las geotecnologias es de gran importancia a todos los profesionales que manejan datos georreferenciados y abren muchas perspectivas de trabajo. Estar atentos a los adelantos técnicos permite rentabilizar al máximo el esfuerzo en el área agrícola, reduciendo costes y aumentando la productividad.

Referencias en la red

Alguna de las siguientes páginas web pueden resultar interesantes acerca de empresas fuertes en el sector de la agricultura de precisión:

www.agleader.com
www.trimble.com
www.spot.com
www.farmworks.com
www.fieldstar.com
www.specmeters.com
www.omnistar.com
www.johndeere.com
www.csi-wireless.com
www.agriculturadeprecision.org

