

Agricultura de precisión, del futuro al presente

Tecnologías para intervenir correctamente, en el momento y el lugar preciso

Más que una tecnología nueva y revolucionaria, la agricultura de precisión consiste en la utilización de una serie de elementos y sistemas que permitirán al agricultor mejorar, facilitar y automatizar todas las labores que ha llevado a cabo tradicionalmente, tanto a la hora del abonado, de la siembra o de la aplicación, entre otras operaciones, de productos fitosanitarios.

● **EMILIO GIL.** Ingeniero agrónomo. Profesor de la Escola Superior d'Agricultura de Barcelona.

A menudo la opinión pública cree que la agricultura debería seguir realizándose del modo tradicional, como la practicaban nuestros antepasados. Sin embargo, los que así opinan no son conscientes de las consecuencias de aplicar viejas tradiciones en el sector agrario, mientras que el resto de colectivos experimentan una continua evolución.

Cuando el agricultor debe hacer frente a un sector competitivo, con demandas cada vez más exigentes, precios más ajustados y alimentos de mayor calidad, la aplicación de nuevas tecnologías es una obligación y una necesidad.

¿Es la agricultura de precisión una nueva tecnología?

Para contestar a esta pregunta, definiremos previamente lo que se entiende por agricultura de precisión: «*es efectuar la intervención correcta, en el momento adecuado y en el lugar preciso*». Esta definición, que en sí misma no aporta nada nuevo, engloba todos aquellos parámetros relacionados con la agricultura

de precisión. Efectuar la intervención correcta significa, entre otras cosas, aportar la dosis de nitrógeno adecuada, depositar la cantidad de semilla necesaria o distribuir la cantidad de fitosanitario requerida; el momento adecuado está relacionado con la mayor o menor automatización de la acción, es decir, el poder modificar las cantidades de producto anteriormente relacionadas en el instante que ello sea neces-

sario, y no únicamente al inicio de la labor; y si todo ello se realiza en el lugar preciso, teniendo en cuenta no solo la variabilidad entre parcelas, sino también la variabilidad intraparcelar, de más difícil aplicación, estamos consiguiendo los objetivos que implícitamente aparecen en la definición.

¿Queremos decir con esto que, sin la utilización de las modernas tecnologías, hasta ahora el agricultor no era preciso? Todo lo contrario. Desde los inicios, la agricultura y, con ella el agricultor, ha ido modificando sus hábitos en el sentido de ir adaptándose a las necesidades del momento y teniendo claros siempre los objetivos. Otra cosa es que las disponibilidades de materiales hagan esta consecución más o menos complicada y difícil. Sin embargo, aspectos como la utilización de sembradoras de precisión, la modificación de las dosis de nitrógeno, de forma visual, en función del conocimiento previo de las parcelas, el ajuste de las dosis de semillas

en función del tipo de suelo, la variación de los volúmenes de fitosanitarios basadas en las necesidades puntuales, son en sí mismas una agricultura de precisión. Por lo tanto, más que hablar de un concepto nuevo y revolucionario, hablaremos de la agricultura de precisión como una serie de elementos y sistemas que permiten mejorar, facilitar y automatizar todas aquellas operaciones que, de forma más o menos habitual, se vienen ya practicando.

Fundamentos tecnológicos de la agricultura de precisión

La rápida evolución que la mecanización agrícola ha experimentado en las últimas décadas, ha tenido como consecuencia ciertas evoluciones de

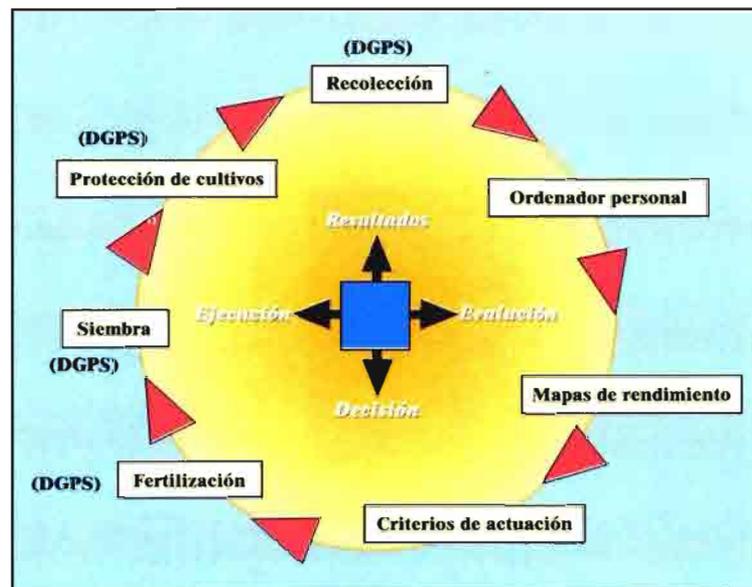


Figura 1.- Esquema de actuaciones en un sistema de aplicación de agricultura de precisión. A partir de los datos obtenidos durante la cosecha se establecen los mapas de rendimientos. Estos datos, juntamente con los obtenidos con otros tipos de captadores son los que se utilizan para establecer los criterios de regulación de los equipos, de forma que sea posible la modulación de las dosis de materias primas aplicadas.

distinto signo. Desde el punto de vista positivo, podemos citar el aumento de la productividad del trabajo y la mejora de las condiciones, y el mejor aprovechamiento de las materias primas a nivel de parcela. Por el contrario, como aspectos negativos, podemos citar, como consecuencia de este aumento de la productividad, una mayor dificultad para la obtención de información a nivel de parcela (las explotaciones y las capacidades de trabajo de los equipos son cada vez mayores) y una cada vez más difícil tarea de dar respuestas puntuales adaptadas a los condicionantes.

Las nuevas tecnologías puestas al alcance del agricultor, ligadas con la agricultura de precisión, van a comportarse como unos "ojos suplementarios" (captadores instalados sobre los equipos o sobre los propios satélites) encargados de observar las parcelas y generar información para la creación de las bases de datos, herramienta imprescindible para ayudar a la toma de decisiones en cuanto al sistema productivo. Además, esta tecnología va a actuar como una "memoria suplementaria" para el almacenamiento y análisis

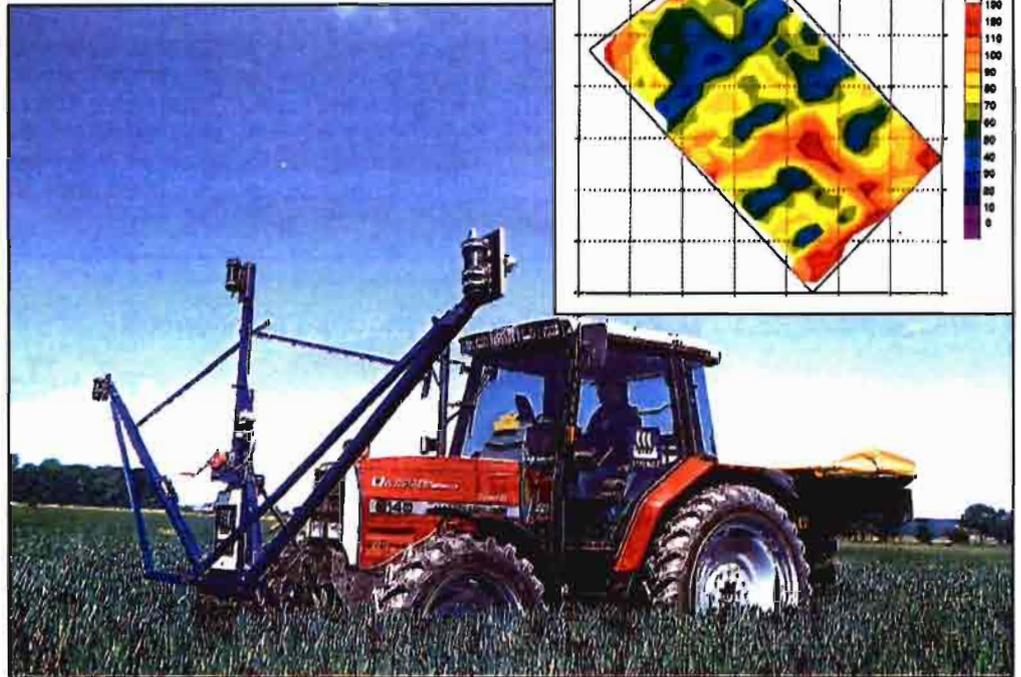


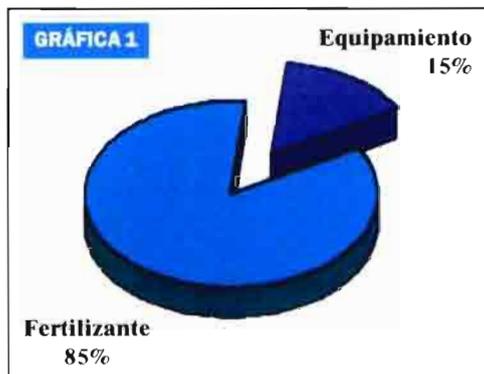
Foto 1.- Colocación de los sensores de contenido de clorofila y mapa de aplicación. (FOTO: AMAZONE).

(Sistemas de Información Geográfica) de la masa de información generada por los captadores. Y, finalmente, sobre la base de una necesaria respuesta diferenciada teniendo en cuenta la variabilidad intraparcilaria, es preciso que el agricultor disponga de unos "brazos suplementarios" capaces de accionar en el momento preciso los mecanismos necesarios para modificar las condiciones de trabajo de los equipos.

La agricultura de precisión puede aplicarse como tal a nivel de parcela (en sentido catastral del término), en el caso de un tipo de actuación como la que se concibe habitualmente, es decir, mediante la elección de una dosis media y un sistema de re-

gulación del equipo idéntico para el conjunto de la parcela, independientemente del tamaño y heterogeneidad de la misma. Sin embargo, cuando se tiene en cuenta la anteriormente mencionada variabilidad intraparcilaria, esto es, cuando se realiza una actuación modular, la toma de decisiones debe analizar previamente la heterogeneidad dentro de la parcela, por lo que la regulación de los equipos esta basada en tres etapas:

- Una primera fase de identificación cuantitativa y cualitativa de la variabilidad, agrupando las zonas en base a su homogeneidad para una determinada operación cultural.
- Una segunda fase de análisis del im-



Distribución de costes de aplicación de fertilizantes.

TABLA 1: AVANCES AGRONÓMICOS Y TECNOLOGÍAS PARA UNA AGRICULTURA MÁS PRECISA

	Principales avances		Líneas de Investigación
	Métodos de razonamiento	Evolución de las tecnologías	
Trabajo del suelo	Elección de la técnica (laboreo o no laboreo) en función del tipo de suelo y la rotación	Polivalencia de los equipos para adaptarse a condiciones variables según años y campañas	Regulación automática de los aperos para preparación del lecho de siembra en función del estado del terreno y del cultivo
Siembra	Elección de la densidad de siembra según el medio y las condiciones de siembra	Incremento de la precisión en sembradoras de cereales	Modulación de la dosis durante la siembra según el tipo (textura, profundidad,...) y el estado del suelo (desmenuzamiento, humedad,...)
Fertilización	Ajuste de la dosis según objetivos de rendimiento	Calidad de trabajo de las abonadoras centrífugas Control de la calidad de distribución	Modulación de la dosis intraparcilaria según las características del suelo y el estado del cultivo
Protección de cultivos	Modulación de las dosis y de los volúmenes Estimación de riesgos según modelos de predicción	Sistemas de reducción de deriva	Aplicación puntual de plaguicidas Variación en continuo de la regulación de los equipos

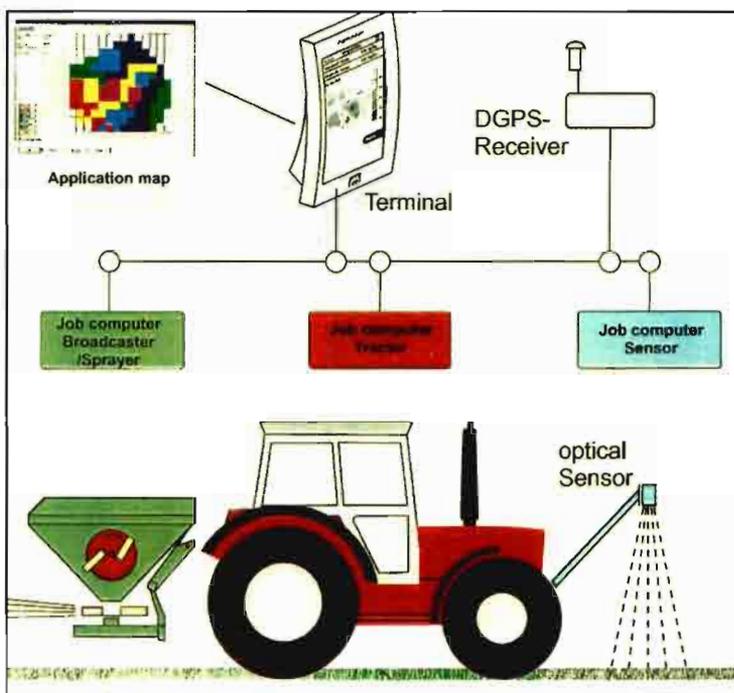
(Boisgontier, 1996)



△ Foto 2.- Ordenador Hardl Pilot con Fieldstar DGPS en un pulverizador autopropulsado.

Foto 2.- La ilustración pequeña △ muestra la antena receptora de la señal GPS.

Figura 2.- Esquema de funcionamiento del sistema SCN de Amazone, mediante el cual se produce una aplicación modulada de nitrógeno en base a la información almacenada en los mapas de aplicación y a los lectores de nivel de clorofila del sensor óptico situados en la parte frontal del tractor. ▷



pacto que una actividad diferenciada en cada zona puede generar, teniendo en cuenta criterios agronómicos.

- Una tercera fase de ejecución modular de las diferentes operaciones

Es en estas tres fases donde hacen acto de presencia las “ayudas suplementarias” anteriormente citadas:

- Para la primera fase los diferentes tipos de captadores son los encargados de analizar las características diferenciales de cada zona. Los datos así obtenidos pasaran a formar parte de la base de datos utilizada en posteriores actuaciones.

- Para la segunda, avanzados sistemas informáticos van a permitir la utilización adecuada de estas bases de datos y, juntamente con modelos agronómicos establecidos, determinar las características diferenciales en cuanto a regulación de los equipos.

- La tercera fase necesita elementos capaces de variar en continuo la regulación de las máquinas para la realización de un aporte modular de las materias primas.

En la **fig. 1** se representa la circulación básica de actuaciones. A partir de los datos de rendimiento diferencial de los cultivos (merced a la incorporación de sensores de rendimiento en cosechadoras de cereales o vendimiadoras, por ejemplo) se establece el mapa de rendimientos de las parcelas, identificando en todo momento la posición exacta gracias a la incorporación de un DGPS (Sistema de Posicionamiento Global Diferencial).

Una vez obtenidos estos resultados, se

trasvasa la información a un ordenador para que, analizando estos datos juntamente con los generados por captadores externos (contenido de materia orgánica del suelo, humedad...) sirvan de ayuda para la toma de decisiones, de forma que se obtengan los requerimientos diferenciales de regulación de los equipos. Cuando ha sido seleccionada la mejor opción, un nuevo intercambio de información entre la unidad central y los distintos implementos, va a permitir, apo-

ximos beneficios.

Varias son las aplicaciones de la agricultura de precisión actualmente disponibles en el campo de la fertilización. Algunos sistemas, como el de **Bogballe**, basan su funcionamiento en la información obtenida de los mapas de rendimiento de la parcela. Es decir, a partir de datos históricos de rendimiento se establecen los criterios de fertilización, los cuales son introducidos al ordenador de forma que las variaciones de regulación del equipo se realicen de forma automática en función de las necesidades del punto en que se encuentra la máquina. Evidentemente, la determinación de la posición exacta corre a cargo de un sistema de posicionamiento global diferenciado (DGPS) instalado en el tractor.

Otros sistemas, como el *SCN fertiliser application*, desarrollado conjuntamente por **Amazone, Massey Ferguson e Hydro**, representan un paso más en el sentido de decidir la cantidad de fertilizante incorporada no solo en función de los mapas de rendimiento de campañas anteriores, sino que también tienen en cuenta las características del cultivo en el momento de la aplicación.

El sistema está basado en el hecho comprobado de que las necesidades puntuales de nitrógeno en el caso de cereales de invierno (en los estadios de germinación y espiga 1 cm) pueden determinarse exactamente a partir de medidas del nivel de clorofila en las hojas. Este dato del contenido de clorofila en hojas, obtenido mediante un sensor óptico colocado en la parte delantera del tractor es introducido en el ordenador de a bordo, conjuntamente con los mapas de rendimiento de la parcela y los mapas de aplicación previamente establecidos.

La información así obtenida, juntamente con las características específicas del equipo y del fertilizante utilizado (**fig. 2**), permite al ordenador el establecimiento de los criterios de regulación del equipo y su actuación en tiempo real, es decir, modificar las condiciones de actuación de la abonadora (regulando el flujo de abono) en función del punto exacto de la parcela en la que se encuentra (información recibida a través del DGPS). Paralelamente, los datos de aplicación son almacenados para la posterior elaboración de los mapas de fertilización (**foto 1**).

yándose nuevamente en un DGPS, la aplicación diferenciada de las materias primas necesarias en cada punto de la parcela.

Ciertamente, este último paso de modificar “en continuo” las condiciones de actuación de los equipos, lo que anteriormente hemos llamado el “brazo suplementario” se presenta como uno de los más difíciles. Sin embargo, existen actualmente en el mercado diferentes posibilidades ya en funcionamiento en explotaciones reales, por lo que resulta oportuno, a continuación, mostrar algunos de estos ejemplos para centrar o concretar un poco más todo lo que comentando anteriormente (**tabla 1**).

Aplicación de fertilizantes

El coste de los fertilizantes (**gráfico 1**), en el conjunto global de la operación, representa entre un 85 y un 90% del total, frente al 10-15% correspondiente al coste de utilización de los equipos. Resulta por tanto esencial realizar una aplicación precisa con relación a las necesidades del cultivo, de forma que se obtengan los má-

Siembra

La distribución y colocación de la cantidad exacta de semilla, en función de las características y potencialidades locales, es ya un hecho para muchos fabricantes de sembradoras. **Nordsten** ha desarrollado una sembradora neumática equipada con un rodillo de alimentación de accionamiento eléctrico, capaz de modificar en continuo la cantidad de semilla distribuida según datos previamente establecidos. **Kongskilde** presentó en Agromek '97 el sistema **Demeter**, un sistema electrónico de control de la dosis de semilla en función de los requerimientos específicos. Aplicado a una sembradora monograno, cada una de estas unidades controla 6 elementos de siembra de forma individual, con posibilidad de variación de la cantidad de semilla tanto en sentido longitudinal como transversal. Una característica de este sistema es que puede ser accionado manualmente por el propio agricultor, o bien automáticamente, ligándolo a la señal proveniente de un DGPS.

Otra propuesta es el *Amasat D.A.T. "Dual Application Technique"* presentado por **Amazone** en la última edición de Agritechnica '97. Este sistema dual permite el control simultáneo e independiente, con una sola estación DGPS, de la cantidad de semilla y de fertilizante, manejando sendos mapas de siembra y fertilización previamente establecidos. Tal y como se observa en la **fig. 3**, los mapas de siembra y fertilización previamente establecidos se introducen en el ordenador de a bordo de forma que, en continuo, el sistema pueda variar, de forma independiente, la cantidad de semilla depositada y la cantidad de fertilizante, sin ningún tipo de interacción entre ambas acciones.

Protección de cultivos

El tercer gran campo de aplicación de la tecnología referente a la agricultura de precisión concierne a la protección de cultivos. El reparto de la dosis correcta, la necesidad de reducción de los volúmenes de aplicación (y en consecuencia de las cantidades de productos fitosanitarios), la presión medioambiental y el coste económico de las aplicaciones, hacen de estas labores una de las más interesantes y justificadas en cuanto a la incorporación de sistemas y tecnologías que traten de incrementar la eficacia y la eficiencia de las mismas.

La aplicación puntual de plaguicidas, con el objetivo de distribuir en cada punto de la parcela únicamente la cantidad necesaria, cambia completamente la concepción actual, en la que la regulación de los equipos se realiza de forma homogénea

TABLA 2: TIPOS DE MODULACIÓN INTRAPARCELARIA Y DISPONIBILIDAD DE EQUIPOS EN PROTECCIÓN DE CULTIVOS

Tipo de modulación	Principio	Equipo necesario y disponibilidad
Visual	El agricultor decide las condiciones de trabajo	Pulverizador clásico convencional
A partir de datos cartográficos	La modulación se realiza sin intervención del agricultor, aunque las decisiones dependen de él.	Disponible en algunas marcas de fabricantes
Con captadores en tiempo real	La modulación se realiza sin intervención del agricultor. La decisión depende de la información suministrada por el captador	No disponible en Europa a nivel comercial Disponible en USA.

SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN GPS Y DGPS

El GPS permite conocer la posición de un vehículo en la parcela. Esta basado en la utilización de un conjunto de satélites. Teniendo en cuenta las "interferencias" es necesario disponer, además de un receptor GPS, de una señal de corrección para obtener una precisión de medida compatible con los requerimientos agrícolas. Se habla entonces de un dGPS o GPS diferencial.

CAPTADORES DE RENDIMIENTO

Asociado a un sistema GPS permite la realización de cartografías de rendimiento, utilizables para posteriores razonamientos de actuación.

OTROS CAPTADORES DE ADQUISICIÓN DE INFORMACIÓN (SUELO, PLANTA, CLIMA)

Sistemas más o menos automatizados capaces de recoger y almacenar información sobre los distintos aspectos de la parcela (textura del suelo, contenido de humedad, contenido en M.O y nutrientes), la planta (nivel de clorofila, ...) y el clima. Se convierten en "ojos suplementarios" del agricultor".

MODELOS DE AYUDA PARA LA TOMA DE DECISIONES

Para cada una de las operaciones culturales, existen diferentes modelos de ayuda basados en las características agronómicas de los cultivos y en los datos obtenidos con los captadores.

SISTEMAS PARA MODULAR LAS DOSIS DURANTE EL TRABAJO

A partir de las cartografías establecidas, estos sistemas permiten la modificación en continuo y en tiempo real de las características de trabajo de los equipos.

para toda la parcela o, incluso, grupo de parcelas. Muchos fabricantes de equipos de tratamientos han desarrollado sistemas más o menos sofisticados que, solos o ligados con el consiguiente sistema de posicionamiento global diferencial, permiten modificar de forma automática las condiciones de trabajo del pulverizador. Un ejemplo de estos sistemas puede ser el controlador **Hardi Pilot**, desarrollado por **Hardi International, A/S**. Este sistema está basado en el ajuste de la dosis en función de la relación presión/velocidad. Es decir, a partir de la lectura del caudal, se modifican las condiciones de presión de forma que se mantengan en todo momento las condiciones preestablecidas de litros por unidad de superficie. En la **fig. 4** podemos ver un ejemplo de aplicación puntual de plaguicidas en una parcela

concreta, basada en datos sobre características del suelo diferenciales.

Existe, sin embargo, un tercer paso en la aplicación modular de fitosanitarios, diferente a los anteriormente mencionados. Si hasta ahora hemos comentado las diferencias entre la regulación homogénea para toda la parcela y la aplicación puntual de plaguicidas basada en mapas preestablecidos (de características del suelo, de malas hierbas, etc.), el paso siguiente consiste en la dosificación en tiempo real, es decir, mediante la utilización de captadores capaces de detectar las malas hierbas y aplicar el producto en el punto exacto de su localización. Es evidente que la tecnología necesaria aumenta la dificultad, ya que, entre otras cosas, es preciso la utilización de electroválvulas de apertura y cierre automático, de respuesta rápida y

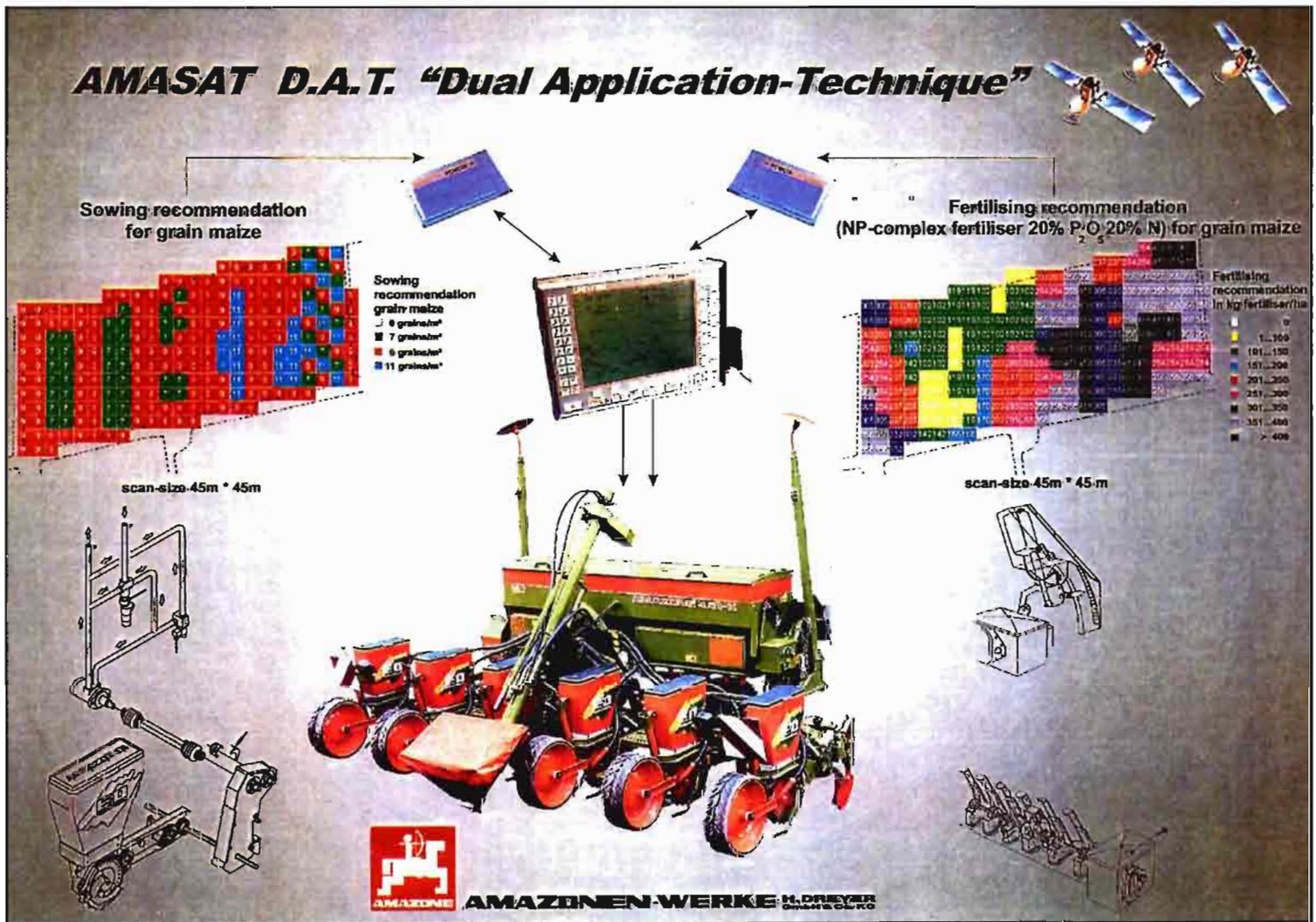


Figura 3.- Esquema de funcionamiento del sistema AMASAT D.A.T. de Amazone.

accionadas a partir de las señales recibidas por los captadores o sensores. En la **tabla 2** aparece reseñado un resumen de los tipos de modulación, el principio en el que se basan y la disponibilidad actual en el mercado.

Conclusiones

Hablar de agricultura de precisión hace escasamente cinco años podía parecer ciencia ficción. Ciertamente resultaba difícil imaginar la posibilidad de utilizar satélites espaciales en agricultura. Sin embargo, las tecnologías han evolucionado rápidamente y, actualmente no es extraño ver en ferias de maquinaria agrícola equipos adaptados a la utilización de estas nuevas tecnologías.

Los ejemplos citados en las líneas anteriores no son nada más que eso: una pequeña selección de las múltiples posibilidades que el agricultor actual tiene a su alcance y que en un futuro no lejano serán de aplicación habitual en las explotaciones. Las razones son claras: la necesidad

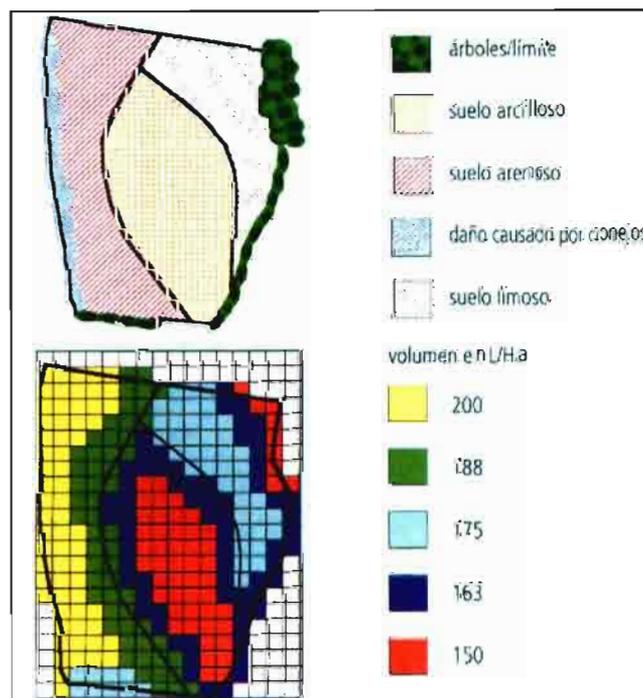


Figura 4.- Ejemplo de aplicación puntual de herbicidas basada en datos de parcela. (FOTO: Hardi International).

de ajustar los costes de las explotaciones, la cada vez más severa legislación en materia de aplicación de agroquímicos y la gran cantidad de información disponible harán imprescindible la utilización de estos u otros sistemas. ■

BIBLIOGRAFIA

- Anónimo (1998). Aplicación puntual de pesticidas. Hardi Rama, 1998, 8-9.
- Boisgontier, D.; Debroize, D. (1996) Agriculture de précision. 10 questions/réponses pour bien comprendre. Perspectives Agricoles, nº 216, 14-19.
- Boisgontier, D. (1998) Hétérogénéités, comment les décoder? Perspectives Agricoles, nº 222, 14-19.
- Boisgontier, D.; Verdier, J.L. (1998) Quelles évolutions dans 5 ou 10 ans? Perspectives Agricoles, nº 234, 35-38.
- Gil, E. (1997) Situación actual de la agricultura de precisión. Vida Rural, nº 51, 26-27.