

Artículos Agenda Libros Números Anteriores Enlaces Innovación Contacto Cartas de los Lectores

AGRICULTURA DE PRECISIÓN: HACIA LA INTEGRACIÓN DE DATOS ESPACIALES EN LA PRODUCCIÓN AGRARIA

[Versión imprimible en pdf](#)

Juan Agüera Vega
Departamento de Ingeniería Rural. ETSIAM
Universidad de Córdoba

Manuel Pérez Ruiz
Departamento de Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos. ETSIA.
Universidad de Sevilla

NUEVAS TECNOLOGÍAS Y PRODUCCIÓN AGRARIA

Un indicador que ha caracterizado a las diferentes culturas que han evolucionado a lo largo de la historia ha sido el grado de desarrollo de la tecnología aplicada a la agricultura y a la actividad militar. En la mayoría de los casos ambos desarrollos han ido de la mano desde la prehistoria, como el manejo de animales domésticos o la metalurgia. En nuestros días, la historia se repite. Los Sistemas de Navegación Global por Satélite (*Global Navigation Satellite System* o GNSS) y los Sensores Remotos (*Remote Sensors* o RS) usados en Teledetección son claros ejemplos de tecnologías que nacen en el ámbito de la industria militar pero que con el tiempo encuentran su aplicación en la agricultura.

Los cambios tecnológicos han ido conformando poco a poco el comportamiento social de las personas. La revolución industrial del siglo XVIII, propiciada principalmente por la aparición de la máquina de vapor, supuso la primera gran transformación que, en poco tiempo y a gran escala, modificó el devenir de la humanidad. En agricultura, el uso de la máquina de vapor se materializó en el "Locomotor", precursor del tractor agrícola actual. La posterior aparición del motor de gasolina y Diesel, unido al rápido desarrollo de sus mejoras y aplicaciones a vehículos militares durante la primera guerra mundial, originó otra gran revolución en la agricultura: la mecanización agraria.

El uso de tractores y máquinas en el ámbito agrícola debió suponer un cambio de paradigma para los agricultores de la época. En poco tiempo pasaron de manejar animales domésticos y todo lo relacionado con su alojamiento, alimentación, sanidad, aparejos, herrajes etc., a familiarizarse con el uso de combustibles, filtros, volantes, engranajes etc., necesarios para el manejo y mantenimiento de vehículos motorizados. Nadie discute actualmente el papel primordial de la mecanización en la agricultura, pero la tecnología sigue avanzando y dando lugar a nuevas oportunidades que terminan en nuevos cambios de paradigma.

La revolución tecnológica que a nuestra generación le ha tocado vivir es la que han provocado las llamadas "Tecnologías de la Información y la Comunicación" (TIC), lo que nos ha conducido a la "era digital" en la que nos encontramos. Como ha ocurrido con anterioridad, la sociedad se está transformando como consecuencia de los avances tecnológicos. Surgen nuevas formas de relación, aparecen profesiones inimaginables hace unos años mientras que otras, o desaparecen, o incorporan enfoques muy distintos a los tradicionales. Ni la imprenta, la máquina de escribir o el uso de escuadras, reglas o compases de los delineantes tradicionales han sobrevivido a las TIC.

La "Agricultura de Precisión" (AP) no es ni más ni menos que la consecuencia de la irrupción de las TIC en la agricultura, es decir, la manifestación de la era digital en la Producción Agraria. Nuevamente los agricultores han de familiarizarse con las herramientas de la época: teclados, pantallas, selección en opciones de menú..., así como conocer las tecnologías que se pone a su disposición para conseguir una producción agraria con la que alimentar a una población mundial de siete mil millones de personas y en crecimiento, con las restricciones que la seguridad en la sanidad alimentaria, la conservación de los recursos naturales y las leyes de la economía de mercado imponen. Este capítulo trata de dar una visión general de lo que supone la Agricultura de Precisión y el papel que juega la teledetección en este contexto.

AGRICULTURA DE PRECISIÓN. ASPECTOS GENERALES Y CLASIFICACIÓN DE TECNOLOGÍAS QUE LA INTEGRAN

En el término Agricultura de Precisión se engloban una serie de tecnologías de aplicación en la producción agraria, que tienen como factor común el uso de las TIC en la racionalización de la toma de decisiones y su precisa ejecución. Cualquier tarea que forme parte de las operaciones necesarias para la implantación, desarrollo y explotación de un cultivo es susceptible de ser realizado haciendo uso de alguna de las técnicas que integran la AP. Desde sus inicios en los años 90 del siglo XX, la AP ha ido incorporando nuevos métodos y respondiendo a problemas diferentes, lo que ha hecho que su definición haya ido evolucionando de acuerdo con su carácter dinámico, propio de las nuevas tecnologías.

Con el fin de llevar un orden, y sin pretender ser demasiado exhaustivos, clasificaremos las técnicas de AP en dos grandes apartados atendiendo al objetivo principal que se persigue con ellas:

1. Técnicas orientadas a la gestión de la variabilidad espacial de las propiedades de los suelos y estado de los cultivos.
2. Técnicas orientadas a la ayuda al guiado y a la uniformidad de las operaciones mecanizadas.

El papel de los Sistemas de Navegación Global por Satélite en la AP es clave. Un receptor GNSS no es más que un dispositivo electrónico que proporciona, entre otros datos, las coordenadas latitud, longitud, altitud del punto donde se encuentra su antena. Esta información puede ser usada por otros dispositivos electrónicos con diferentes propósitos, dando lugar a multitud de aplicaciones.

En AP los receptores GNSS se utilizan tanto para la toma de información en campo, con equipos portátiles de mano, como montados en las máquinas que realizan los trabajos agrícolas (tractor, cosechadora o cualquier tipo de máquina autopropulsada), permitiendo que el usuario y otros dispositivos de control de a bordo puedan conocer en cada momento la posición en la que se encuentran dentro de la parcela que trabajan, o en la ruta de transporte hacia/desde ella. La gestión posterior de esta información por parte del usuario y/o los dispositivos de control que la reciben dependerá del objetivo final perseguido.

La precisión de los receptores GNSS en relación a las coordenadas que proporcionan es una de sus características más importantes, debido al antagonismo que existe respecto a su precio. Podemos encontrar en el mercado multitud de modelos con precisiones que van desde 3 metros hasta 3 cm, dependiendo de lo sofisticado de su técnica, el tipo de señal de corrección que utilicen e incluso el estado de la constelación de satélites en la que se basa este sistema. Cada tipo de operación agrícola a realizar con técnicas de AP exigirá una precisión mínima diferente. No es lo mismo realizar una labor de abonado con un ancho de trabajo de 20 metros, donde una desviación del tractor respecto a la trayectoria ideal de 0,2 metros no origina un error significativo, que realizar una labor de siembra en líneas separadas 0,4 metros donde esa misma desviación sí que originaría un error muy apreciable.

GESTIÓN DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL DE LAS PROPIEDADES DE LOS SUELOS Y ESTADO DE LOS CULTIVOS

Desde muy antiguo se conoce que la cantidad de cosecha recogida en una parcela agrícola no es uniforme en toda ella, a pesar de haber realizado todas las operaciones de cultivo (laboreo, siembra, abonado etc.) de forma homogénea. Existen factores ligados a las propiedades de los suelos, microclimas o agentes patógenos, que afectan de manera selectiva y con distintos grados de intensidad en zonas concretas, dando lugar a lo que se conoce como variabilidad intra-parcelaria. Ya en la Biblia, la Parábola del Sembrador hace referencia a esta observación como algo bien conocido en la época, sirviendo de símil para facilitar la comprensión de otros conceptos más complejos. La forma original de gestionar esta variabilidad fue la división de la explotación en parcelas de características homogéneas, teniendo en cuenta la experiencia e intuición conseguidas a lo largo de los años.



Abonado nitrogenado con máquina VRT basada en sensor óptico. (Cortesía de Fritzmeier Umwelttechnik).

Con la llegada de la mecanización, la subdivisión en parcelas, muchas veces demasiado numerosas y de tamaño reducido, deja de ser práctica por la cantidad de tiempos muertos que se generan. Como consecuencia, se hace prioritario que las unidades de cultivo sean lo más extensas posible, quedando la variabilidad intra-parcelaria como algo secundario, imposible de tener en cuenta. En esta situación, las máquinas empleadas en la aplicación de los distintos insumos, necesarios en las operaciones de cultivo, son ajustadas para aplicar una dosis constante y homogénea en toda la parcela, calculada en base a un promedio de toda ella.



Aplicación selectiva de herbicida mediante sensores ópticos que detectan las malas hierbas. (Weed Seeker de Trimble)

MAQUINARIA PARA LA GESTIÓN DE LA VARIABILIDAD INTRA-PARCELARIA

Con la aparición de las TIC, especialmente los GNSS y la teledetección, se presenta la oportunidad de considerar la variabilidad intra-parcelaria en la gestión de las explotaciones. Las máquinas con tecnología de distribución variable (*Variable Rate Technology* o VRT) permiten que la dosis aplicada pueda ser modificada durante la marcha sin intervención del operador. Atendiendo a este concepto existen dos tipos de máquinas VRT:

- Basadas en sensor.
- Basadas en mapa.

Las máquinas VRT basadas en sensor ajustan automáticamente la dosis aplicada en función de la información que recibe de un sensor óptico (teledetección) que analiza el espectro de la luz reflejada por el cultivo. En el caso de la fertilización, las máquinas abonadoras VRT basadas en sensor poseen de 2 a 4 dispositivos ópticos que exploran la luz que refleja la superficie de cultivo alrededor de la máquina, calculando sobre la marcha la dosis óptima a aplicar mediante un modelo que llevan programado, ajustado a las condiciones generales en que se encuentra. Mediante un servomecanismo, el dispositivo de control modifica la configuración del sistema dosificador de la abonadora para adaptarlo a la dosis calculada en cada momento. En la aplicación de herbicidas, los sensores ópticos permiten discriminar las malas hierbas del suelo desnudo, lo que posibilita comandar una electroválvula que hace pulverizar el caldo sólo cuando es necesario. Con ello se evita los tratamientos masivos con el consiguiente ahorro económico y la reducción del impacto ambiental. Además del análisis espectral en que se basan los sensores ópticos, existen ensayos a nivel experimental con

resultados prometedores que combinan dicha técnica con el empleo de cámaras y análisis de imagen (visión artificial). De esta forma es posible, además, discriminar las malas hierbas de las plantas cultivadas, lo que sería de gran utilidad en tratamientos herbicidas en la línea de cultivo una vez éste se ha establecido.

La maquinaria VRT basada en mapa realiza los cambios de dosis según un patrón previamente establecido llamado "mapa de prescripción", calculado con anterioridad al momento de realización de la aplicación e introducido en el dispositivo de control de la máquina en forma de archivo digital. La obtención de la información necesaria para realizar el mapa de prescripción, haciendo uso entre otras técnicas de la teledetección, y su propia confección, constituye toda una rama de la AP que será tratada en el siguiente apartado. Con este sistema se hace imprescindible el uso de un receptor GNSS a bordo de la máquina con objeto de informar al sistema de control sobre la posición en la que se encuentra, de modo que pueda establecer mediante el mapa de prescripción cargado previamente, la dosis que corresponde a dicha punto. De manera similar a la maquinaria basada en sensor, un conjunto de electroválvulas, servomecanismos y otros tipos de actuadores modifican el sistema dosificador para adaptarlo a la dosis prescrita.

Aunque las tareas más frecuentes llevadas a cabo con la técnica VRT basada en mapa son la fertilización y los tratamientos herbicidas, no están limitadas a ellas. En la actualidad existe la posibilidad de realizar cualquier operación de cultivo aplicando esta técnica, desde laboreo con profundidad variable, siembra a distintas densidades e incluso riego con dosis adaptada a las necesidades concretas de cada zona de la parcela. Cabe mencionar también los ensayos de recolección diferenciada basada en mapa, realizados en viña. En este caso, el mapa de prescripción diferencia dos zonas con calidad de uva distinta, confeccionado mediante teledetección con apoyo de medidas directas sobre el cultivo. Aunque la máquina cosechadora trabaja en continuo, el mapa de prescripción indica a cuál de las 2 tolvas de las que dispone la cosechadora, debe ir la uva recolectada en cada zona. De esta forma puede conseguirse mostos que darán origen a vinos de distinta calidad, aún procediendo de la misma parcela. Durante la realización de la operación utilizando maquinaria VRT, los equipos de control tienen la posibilidad de grabar en archivos digitales la dosis real aplicada en cada punto constituyendo los llamados "mapas de aplicación", que pueden ser volcados posteriormente a un ordenador para comprobar el correcto ajuste de la aplicación a la prescripción.

Generación de mapas de prescripción

Si un agricultor trabaja sobre mapas de prescripciones o aplicación, debe poseer un equipo electrónico apropiado en la cabina del vehículo agrícola, que reciba la posición desde el receptor GNSS y envíe a la unidad de control del aparo la información de qué dosis (o profundidad de laboreo si hablamos de laboreo variable) está prevista en la posición que la máquina ocupa en cada momento. La información que conforman los mapas de prescripciones pueden provenir de muchas fuentes (mapas de producción, sensores del terreno, del cultivo, etc.), imposible de manejar mediante sistemas tradicionales. En este caso son los ordenadores, mediante aplicaciones informáticas especiales denominadas Sistemas de Información Geográfica para Agricultura (AgGIS), los que intervienen. Estas aplicaciones, además de almacenar ordenadamente toda la información, permiten su visualización así como su tratamiento estadístico para el cruce de los distintos datos. La creación de una base de datos de cada parcela es una herramienta fundamental para optimizar la toma de decisiones en un sistema productivo agrícola. Estos datos generan capas de información tales como, propiedades químicas de los suelos, compactación, plagas y enfermedades, humedad, conductividad eléctrica, etc., y posteriormente serán utilizadas para la adecuada interpretación de la variabilidad espacial (dentro de la parcela) y temporal (entre años) de los rendimientos. Algunos de los mapas de variabilidad que se utilizan actualmente en el sector agrícola son: (i) mapas de rendimiento, (ii) mapas de vigor del cultivo, (iii) mapas de conductividad eléctrica (CE), etc.

Mapa de rendimiento

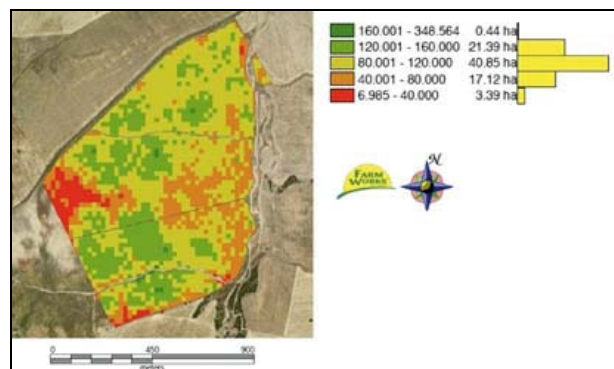
Basados en nuestra experiencia, coincidente con la opinión de muchos expertos, podríamos decir que la implantación de la agricultura de precisión comienza con la monitorización del rendimiento de los cultivos. La monitorización del rendimiento es la mejor opción para conocer la productividad potencial de cada cultivo en cada parcela, proporciona gran cantidad de información y a un coste muy reducido. Se realiza durante la operación de cosecha por lo que se reduce mucho el coste y nos permite evaluar qué resultado han tenido las decisiones tomadas. El objetivo básico del monitor de rendimiento es indicar la cantidad de producto cosechado por cada unidad de superficie que instantáneamente encontramos a medida que vamos cosechando.

Esta información, que varía de unos puntos a otros de la parcela, se actualizará a intervalos de tiempo regulares, normalmente un segundo, dos o tres. Pero la indicación en una pantalla numérica del valor instantáneo de producción no resulta suficiente para un estudio pormenorizado en comparación con la distribución de otras propiedades. Es necesario que la información tomada quede registrada y pueda ser descargada después de la operación en un ordenador para su posterior análisis. De igual manera resulta básico asignar a cada dato del rendimiento instantáneo unas coordenadas (X,Y,Z) que permitan realizar el mapa de distribución espacial de la producción. Para el almacenamiento de la información generada, los monitores de rendimiento disponen de tarjetas de memoria extraíbles que pueden ser leídas por los ordenadores o dispositivos de mano, mientras que las coordenadas para la localización se obtienen mediante un receptor GNSS, mejorando la precisión si se emplea tecnología diferencial. Hoy en días algunos sistema más avanzados de monitorización del rendimiento utilizan sistemas de gestión remota o telemetría para el envío en tiempo real de los mapas de producción a un servidor, esto permite el procesamiento inmediato por parte de un técnico o de la empresa especializada. Los principios básicos de medida del rendimiento podemos clasificarlos en volumétricos y gravimétricos, según la medida se realice sobre el volumen o sobre la masa respectivamente, del producto cosechado.

Entre los medidores volumétricos los sistemas mas utilizados son dos: - Conteo del número de veces que un receptáculo de volumen conocido, una vez lleno, vuelca sobre la tolva de la cosechadora. - Métodos ópticos, donde el flujo de cosecha se hace pasar entre un fotoemisor y un fotosensor, midiéndose la proporción de tiempo en que la luz es bloqueada, lo que resulta un buen indicador del volumen de cosecha entrante.

Los métodos de medida del flujo gravimétrico se basan igualmente en dos principios básicos: - La fuerza que se genera cuando el flujo de producto impacta sobre una superficie, para lo cual se emplean células de carga que son dispositivos capaces de generar una señal eléctrica variable con dicha fuerza. - La atenuación que sufre una radiación de rayos gamma o rayos X cuando atraviesa el flujo de cosecha que se hace pasar entre la fuente y el detector de la radiación. Además del flujo de cosecha que entra en la máquina, es necesario medir la superficie por unidad de tiempo que cubre la cosechadora, resultado del producto de la velocidad a la que se desplaza por el ancho de trabajo. La velocidad de avance puede determinarse mediante un sensor que mide la velocidad de giro de algún eje de la transmisión o de la propia rueda, aunque también puede calcularla el propio receptor GNSS y suministrarla como un dato más al monitor. Por otra parte, el ancho de trabajo es una información que hay que suministrar al monitor en el momento de su configuración para trabajar sobre una determinada máquina.

Otra medida que necesitan realizar los monitores de rendimiento es la altura respecto al suelo a la que se encuentran el cabezal de corte. Este valor resulta fundamental para reconocer los momentos en que la cosechadora sale del borde de la parcela cuando termina una pasada y comienza otra, o las zonas improductivas dentro de la misma. Las medidas de flujo de cosecha y superficie cubierta durante estos momentos no son contabilizadas para no influenciar los valores de rendimiento global y superficie que se van acumulando. La información referente al rendimiento de cosecha en combinación con otro tipo de información sobre el suelo y el cultivo, reunida de la forma más eficiente posible, son un buen punto de partida.



Mapa de rendimiento (Trigo) en parcela en la provincia de Sevilla. Medidas normalizadas a % sobre la media.



Sensor óptico de mano para obtención del NDVI a nivel de parcela.

útil para diferenciar zonas de manejo dentro de la parcela que tienen características similares y de las que se espera un comportamiento homogéneo. Reuniendo toda esta información y teniendo en cuenta los requisitos del cultivo, las preferencias y experiencia del agricultor y cualquier otro dato de interés, se realizan los mapas de prescripción. Estos serán utilizados bien en los abonados de fondo o posteriormente en cobertura. Aunque debieran ajustarse con la mayor precisión posible a la realidad, veremos que existe una componente muy importante debida a la naturaleza mecánica de la máquina de aplicación, debemos tener en cuenta sus limitaciones: ancho de trabajo, dosis mínimas, máximas y tiempo de ajuste de las válvulas. Otra posible fuente de errores son los vinculados con las características del material aplicado, por ejemplo su densidad y fluidez que pueden cambiar a lo largo de la jornada, por todo ello, es muy importante que los equipos de a bordo estén muy bien regulados. Una vez realizada la aplicación es fundamental recoger los mapas de aplicación grabados en el equipo con los que, además de visualizar las diferencias entre lo planificado y lo realizado, podremos realizar el análisis económico de la campaña haciendo uso de las aplicaciones AgSIG.

AYUDA AL GUIADO. UNIFORMIDAD DE LAS OPERACIONES MECANIZADAS

En este apartado se consideran aquellas tecnologías encuadradas en la AP, cuyo objetivo es garantizar que una determinada operación se realiza de manera uniforme y homogénea en toda la superficie de la parcela. Una de las



Monitor con barra de luces para ayuda al guiado.

máquina respecto a la línea de trabajo. Los sistemas de guiado automático, además de indicar el error relativo, actúan automáticamente sobre la dirección del vehículo sin necesidad de intervención por parte del operario. Existen modelos que intervienen sobre el volante y otros, más precisos y robustos, que intervienen sobre el sistema hidráulico de la dirección. Una alternativa al guiado automático que usan algunas máquinas consiste en intercalar un bastidor entre el tractor y la máquina cuya posición se desea controlar. Este bastidor permite el movimiento lateral de la máquina acoplada respecto al tractor. El sistema de control corrige las desviaciones laterales del vehículo mediante desviaciones en sentido contrario de la máquina sobre el bastidor, de manera que se mantenga su posición relativa respecto al suelo.

Otros equipos que pueden encuadrarse en este apartado son los denominados "control de tramos". Se utilizan sobre todo en barras pulverizadoras para evitar los solapes no deseados que se presentan cuando por cualquier razón el tractor debe salir de su línea teórica de trabajo (existencia de postes, árboles etc.) o al realizar curvas en los pases periféricos de las parcelas. Estos equipos detectan las zonas ya trabajadas y cortan la pulverización en los tramos en los que se produciría el solape. También permiten el uso de mapas de prescripción para evitar la aplicación de agroquímicos en zonas sensibles de las parcelas o reforzar la dosis donde sea necesario.

CONSIDERACIONES FINALES

Como puede deducirse de lo expuesto, el objetivo final de la AP es optimizar el rendimiento de las explotaciones agrarias mediante un preciso conocimiento del medio en el que se desarrollan los cultivos y la ejecución precisa de las decisiones adoptadas. Esta optimización tiene una repercusión muy favorable en los aspectos medioambientales vinculados con la producción agraria, por la racionalización del uso de productos fitosanitarios que conlleva. Las TIC han puesto a disposición del sector agrario todo un conjunto de nuevas herramientas que permiten dicha optimización, entre las que se encuentra la teledetección.

Es verdad que en España la adopción masiva de la AP no ha sido tan elevada como se esperaba hace unos 20 años cuando los primeros pioneros empezaron a utilizar los monitores de rendimiento. En otros países, en cambio, esto no ha sido así. El análisis del porqué iría más allá de las pretensiones de este capítulo, pero lo que es verdad es que a nivel internacional no dejan de aparecer nuevos productos y nuevas empresas relacionadas con el sector como ha podido apreciarse en la recientemente celebrada feria de tecnología agraria Agritechnica, en Hanover (Alemania). Los sistemas de ayuda al guiado, guiado automático y control de tramos son los que más aceptación tienen en España. La aplicación variable, en cambio, salvo excepciones, apenas tiene repercusión por el momento.

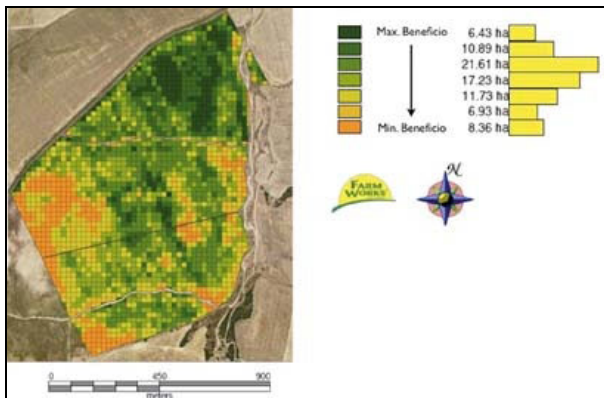
La solución habría que buscarla en la colaboración de todos los implicados en el sector, debido al carácter tan multidisciplinar que tiene esta tecnología. Al usuario final de la AP hay que ofrecerle un producto único y acabado. De nada le sirve al gestor de una explotación agraria un mapa de productividad eléctrica o el obtenido con sensores remotos si no tiene la seguridad de que va a disponer de un correcto asesoramiento en su interpretación conjunta y de la maquinaria que le permita la distribución variable, que es lo que en definitiva justifica toda la información previa obtenida.

Mapa de vigor del cultivo

Muchos técnicos han utilizado los indicadores visuales como herramienta para evaluar la carencia de nutrientes o estrés hídrico en la planta. Actualmente, gracias a determinados sensores, es posible determinar estados de estrés previamente a que se manifiesten visualmente al ojo humano, de modo que se pueda actuar anticipadamente. Estos sensores ópticos pueden estar montados en satélites (imágenes satelitales), aviones/helicópteros, en el propio tractor o portarlo a mano un técnico agrícola. Una combinación de la información espectral obtenida por estos sensores nos permite calcular un índice vegetativo para el cultivo, uno de los más utilizados es el NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). Este índice se encuentra relacionado con la cantidad de Nitrógeno del cultivo, por lo que proporciona una información de gran utilidad a nivel de parcela para conocer el estado del cultivo y establecer la aplicación variable apropiada, además de un bajo coste superficial.

Mapa de conductividad eléctrica (CE)

El uso de un sensor de inducción electromagnética somero puede ayudar a caracterizar eficazmente propiedades del suelo como humedad, materia orgánica, salinidad, densidad aparente, conductividad eléctrica etc. Esta información es muy



Mapa de beneficio económico de trigo al final de campaña.

causas que originan falta de uniformidad en operaciones mecanizadas que implican distribución de productos sobre el suelo, es la variación de la velocidad de trabajo de la máquina mientras se mantiene constante el caudal de salida del producto distribuido. Este fenómeno origina que las zonas en donde se reduce la velocidad reciban una dosis mayor que las zonas recorridas a mayor velocidad. Antes de la aparición de los receptores GNSS para agricultura ya aparecieron máquinas (abonadoras y pulverizadores principalmente) con capacidad para modificar el caudal de salida de producto en función de la velocidad de rotación de una rueda que gira a medida que avanza la máquina. Aunque se conseguían buenos resultados, el resbalamiento y el diferente hundimiento de la rueda en el suelo le hacían perder precisión. Los receptores GNSS, además de proporcionar las coordenadas para la localización de la máquina, también proporcionan la velocidad real a la que se mueve. Este dato es utilizado por los dispositivos controladores que regulan el caudal de salida de producto para adaptarlo al valor adecuado de modo que la dosis aplicada al suelo se mantenga constante, logrando una precisión mayor que los sistemas basados en la rueda.

Otra de las fuentes de error por falta de uniformidad está causada por los solapes y huecos que se generan cuando la distancia entre pasadas contiguas no es la correcta. Los sistemas marcadores basados en discos o rejas trazadoras o espuma, utilizados por algunas máquinas sembradoras, han dado paso a los sistemas de ayuda al guiado y guiado automático controlados por receptores GNSS. Constan básicamente de un monitor que es programado con la distancia entre líneas que se desea mantener, y la línea original de partida. Con estos datos el procesador genera todas las líneas paralelas restantes y compara la situación instantánea del vehículo con la línea más cercana. Como resultado de dicha comparación, el equipo puede actuar de dos formas, dependiendo del sistema utilizado.

En los sistemas de ayuda al guiado, el error resultante de la posición actual de la máquina respecto a la línea en que teóricamente debería encontrarse, es representado sobre una barra horizontal de luces de forma que el conductor pueda corregir para llevarlo a la posición correcta, en cuyo caso lucirá la luz verde situada en el centro de la barra. En otros modelos se utilizan pantallas de distinto tamaño y tipo donde se representa la posición relativa de la

Otros artículos relacionados con: [teledetección](#), [agricultura](#), [TIC](#)

