

OPERACIÓN EN EL CAMPO:

# Gestión en terrenos específicos utilizando tecnologías de velocidad variable

La última etapa del ciclo de Agricultura de Precisión (AP) consiste en implementar las decisiones tomadas en los campos o huertos. Desde el primer artículo de la sección 'Precision Ag Corner' (New Ag International 64, en nov-dic 2016), describimos las diferentes etapas, equipos, técnicas y metodologías para tomar decisiones de gestión más informadas. Siempre que se toman decisiones sobre estrategias de manejo no uniforme en el campo, se deben considerar soluciones de manejo específicas para cada terreno. En este número se revisarán las diferentes opciones disponibles para la puesta en práctica de la AP, ya sea con maquinaria convencional o con equipos de alta tecnología, conocidos como Tecnologías de Velocidad Variable (VRT, por su sigla en inglés). Además, también se describen nuevas tendencias para futuras prácticas agrícolas. New Ag International se ha asociado con el Grupo de Investigación en AgróTICA y Agricultura de Precisión (GRAP) de la Universitat de Lleida-Agrotecnio Center, en Cataluña, España. En cada número de la revista, Alexandre Escolà, Jaume Arnó y José A. Martínez-Casasnovas, junto con nuestro equipo, están elaborando un editorial cuya ambición es ayudar a los diferentes grupos de interés a salvar la brecha entre la datanómica y la agricultura comercial.

**AGRICULTURA DE PRECISIÓN BASADA EN MAPAS VS AGRICULTURA DE PRECISIÓN BASADA EN SENSORES EN TIEMPO REAL (TR)**

Antes de entrar en la última etapa del ciclo de la Agricultura de Precisión, que es la operación en el campo (Fig. 1), es necesario recordar las principales formas de implementarla. La AP basada en mapas utiliza planos para mostrar la variabilidad espacial de los parámetros observados o detectados (Etapa 1). Una vez que los diferentes mapas son creados usando procesos de interpolación (Etapa 2), tienen que ser combinados para terminar con un mapa de prescripción (Etapa 3) y ser implementado en el campo (Etapa 4). Un mapa de prescripción es un mapa del campo que muestra la tasa de aplicación o la intensidad de una operación de manejo específico del terreno (siembra, fertilización, riego, labranza, protección de cultivos, etc.). El tiempo necesario para completar todo el ciclo de la AP puede variar de unos días a algunas semanas, dependiendo de la adquisición y procesamiento de datos, permitiendo que otras fuentes de datos y datos auxiliares sean consideradas en el proceso de toma de decisiones.

En tiempo real (TR), la Agricultura de Precisión basada en sensores, un sensor o una combinación de ellos, se utiliza para tomar lecturas en forma continua (Etapa 1), extraer información (Etapa 2), tomar decisiones (Etapa 3) e implementarlas sobre una base de TR (Etapa 4). El tiempo

que se tarda en pasar por todo el ciclo es de sólo unos milisegundos! En tan poco tiempo, obviamente, no hay posibilidad de crear mapas o combinar diferentes fuentes de datos para tomar decisiones complejas.

Considere la aplicación de productos fitosanitarios en un huerto de manzanas. Por ejemplo, consideramos un sistema para monitorear el volumen de la canopia de una huerta. Ahí podría utilizarse un método de AP para crear mapas del volumen de la canopia (por ejemplo, utilizando un escáner láser terrestre móvil basado en tecnología LiDAR). A partir de los mapas de volumen de la canopia, las zonas de manejo pueden ser delineadas de acuerdo con las diferentes clases de volumen de dicha canopia. Posteriormente, se podría tomar una decisión sobre la cantidad de flujo a rociar en cada zona de manejo para garantizar la dosis correcta (es decir, la cantidad de ingrediente activo a aplicar). Un método de alta tecnología requeriría un pulverizador de velocidad variable que utilizara un receptor del sistema mundial de navegación por satélite (GNSS) para determinar su posición en el mapa, obtener de él la velocidad de flujo a la que se desea pulverizar y autoajustarse para obtener la velocidad de dosis deseada utilizando tecnologías de velocidad variable (VRT).

Por otra parte, un método basado en sensores en TR, requeriría que el pulverizador estuviera equipado con un sistema de detección que proporciona mediciones continuas



Figura 1: Última etapa del ciclo de AP: operación en el campo.

del volumen de la canopia en TR, que posteriormente se traduciría en un caudal que se pulverizaría con el pulverizador de caudal variable autoajustable. En este caso no es necesario utilizar un receptor GNSS, ya que la operación se realiza en el mismo lugar y al mismo tiempo se monitoriza la canopia.

Todavía hay un tercer método: la fusión de los dos anteriores. Imagine que tiene un mapa de prescripción con diferentes zonas de manejo con tasas de aplicación específicas asignadas a cada una. Imagine que está pulverizando la dosis asignada a una zona y, de repente, se le olvida un árbol. El pulverizador de tasa variable mantendría la tasa de flujo asignada, resultando en un desperdicio de dinero y mayores riesgos de contaminación. La solución es equipar el pulverizador con un sistema de detección de canopia capaz de apagar el pulverizador cuando no hay ningún árbol delante de las boquillas. En esta situación, el mapa de prescripción proporciona un método macro mientras que el sistema de detección puede refinarlo en una especie de método micro.

Una de las ventajas de la AP basada en mapas es que se puede determinar a priori la cantidad exacta del insumo agrícola, ya que se puede derivar de mapas de prescripción. El aspecto negativo de la AP basada en mapas es que puede requerir conocimientos sobre GNSS, geoestadística y SIG. Por otro lado, la AP basada en sensores en TR no requiere el uso de mapas y receptores GNSS para construirlos o extraer información. Tampoco hay necesidad de utilizar SIG o geoestadísticas. Sin embargo, la cantidad de insumos a aplicar no se conoce de antemano y es probable que el agricultor tenga restos al final de la operación de los que tendrá que deshacerse.

**MILES DE POSIBILIDADES CON TECNOLOGÍAS DE VELOCIDAD VARIABLE**

Cualquiera sea el método, cuando la decisión es un Manejo de Suelo

Específico no uniforme, el equipo utilizado debe ser capaz de adaptar su rendimiento a la variabilidad en el campo. Cuando la variabilidad del campo está bien estructurada y se siguen patrones espaciales claros y sencillos, se puede utilizar maquinaria convencional, ajustando las tasas de producción manualmente de acuerdo con el mapa de prescripción. Sin embargo, cuando la variabilidad del campo es alta y no se encuentran patrones espaciales simples, es necesario utilizar equipos de alta tecnología de velocidad variable capaces de autoajustarse para satisfacer la velocidad deseada.

La VRT puede ser implementada en esparcidores de fertilizantes, pulverizadores, sembradoras o pivotes centrales. Dichos implementos deben estar equipados con controladores, actuadores y sensores. Los controladores son responsables del uso de los datos GNSS para extraer puntos de ajuste (tasas de salida) de los mapas de prescripción, en un método basado en mapas, o para adquirir y traducir las lecturas de los sensores en puntos de ajuste en un método basado en sensores en TR. Además, generan señales de control que se envían a los actuadores para ajustar el equipo a la velocidad de salida deseada establecida en el lugar consignado. Los actuadores suelen ser válvulas, motores, cilindros, transportadores, reguladores de presión, etc. Finalmente, los sensores montados son

responsables de monitorear el desempeño del implemento y su precisión en la entrega de la tasa de salida en lo que usualmente es un control de circuito cerrado.

El objetivo de la VRT es variar la tasa de rendimiento de la maquinaria agrícola. Con todo, la variación de las tasas de producción puede hacerse de diferentes maneras y para diferentes propósitos. En la Figura 2 se enumeran las diferentes posibilidades de la VRT. La variación de dosis más simple se llama aplicación selectiva y consiste en aplicaciones ON/OFF. En aplicaciones selectivas, siempre que un insumo agrícola deba aplicarse en un lugar específico de acuerdo con las prescripciones del MSE, se aplica en dosis completas. Por lo tanto, las tasas posibles son del 100% o 0%, nada entremedio. La aplicación selectiva también se conoce como aplicación de parches o puntos (por ejemplo, parches o pulverizaciones puntuales), ya que las entradas sólo se aplican en lugares específicos a velocidad máxima (ON) y no se aplican en el resto del campo (OFF). Las aplicaciones selectivas de parches pueden derivarse de métodos basados en mapas o en sensores a TR.

Ejemplos típicos de aplicaciones selectivas basadas en sensores a TR son WeedSeeker (Trimble Ag) y WEEDit, utilizados en el control de malezas específico del terreno. Los dos sistemas se basan en sensores ópticos que emiten y reciben luz roja

e infrarroja cercana (NIR), de modo que sus controladores pueden calcular el índice de diferencia de vegetación normalizado ( $NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}$ ) de forma continua. Su uso está destinado a suelos desnudos o campos de rastrojos, donde no se esperan plantas verdes y los valores de NDVI deben ser muy bajos (<0,3). Una vez establecido el umbral, las lecturas de NDVI por encima del umbral indican la presencia media de malezas y activan una válvula solenoide de reacción rápida que permite rociar una dosis completa de herbicida con una boquilla. Estas soluciones son una alternativa al método tradicional de pulverización sobre mantas y reducen drásticamente la cantidad de productos químicos pulverizados. Su rentabilidad depende del costo de los sistemas (que suele ser elevado), del costo del herbicida y del ahorro, que está relacionado con la presencia de malezas, su distribución espacial y la superficie cubierta. WeedSeeker necesita un sensor para cada boquilla y su fabricante afirma que las velocidades de conducción son de hasta 16 km/h o incluso de hasta 32 km/h y la reducción de costos de herbicidas, de hasta el 80%. Por otra parte, cada dispositivo WEEDit controla 5 boquillas diferentes y puede reducir los costos químicos hasta en un 90%, conduciendo a velocidades de hasta 25 km/h, según el fabricante. Ambos sistemas se pueden instalar posteriormente en los pulverizadores existentes. Una aplicación selectiva ON/OFF basada en mapas equivalentes requeriría la obtención de un mapa de distribución de malezas antes de la aplicación del herbicida. Dichos mapas pueden ser creados a partir de datos adquiridos por los UAV equipados con cámaras RGB o multispectrales, mediante observaciones georeferenciadas visuales y de exploración o por otros medios incluidos en la Etapa 1 del ciclo de la AP (adquisición de datos). Una vez creado el mapa (Etapa 2), se debe tomar una decisión sobre dónde aplicar y dónde no aplicar el

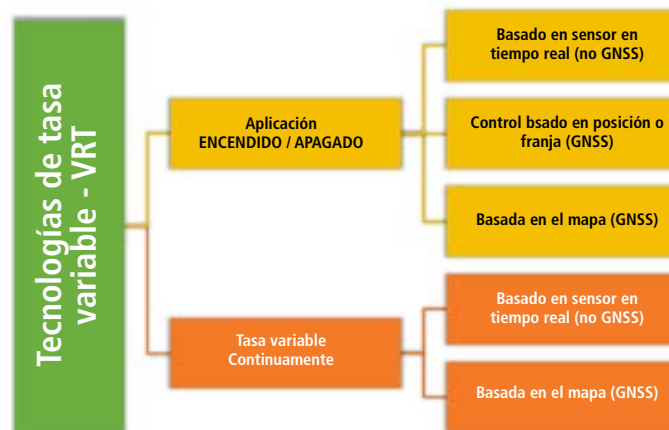


Figura 2: Posibilidades de tecnología de tasa variable.

## Entrevista con Brian Magnusson, Vicepresidente de Tecnología e Innovación de Lindsay Corporation (EE.UU.)



**Lindsay Corporation (NYSE: LNN) es un fabricante líder a nivel mundial de equipos y tecnología de riego e infraestructura. Lindsay fabrica sistemas y tecnologías de riego agrícola que cubren 4,8 millones de hectáreas en más de 90 países, a través de su red mundial de más de 350 distribuidores. Lindsay también ofrece consultoría de riego, diseño, soluciones de filtración y bombeo, comunicación avanzada de máquina a máquina, tecnología de control remoto y monitoreo, y soluciones de redes inalámbricas.**

**- ¿Cuál es, en su opinión, el potencial del Riego de Precisión (RP) en el marco de la Agricultura de Precisión (AP)?**

- A medida que el mundo avanza hacia una población de 10.000 millones de habitantes para el año 2050, un aumento de aproximadamente el 30% desde hoy, Precisión Irrigation será un factor clave para ayudar a los productores de todo el mundo a alimentar esta creciente base de población. La disponibilidad de agua es lo que tiene mayor impacto en el rendimiento potencial de los cultivos, y asegurar que se aplique la cantidad correcta de agua en el mo-

mento adecuado es donde el riego de precisión entra en juego. El riego de precisión, como su nombre lo indica, es aplicar la cantidad óptima de agua en las etapas ideales de crecimiento en los lugares adecuados a lo largo de una temporada. Una cantidad insuficiente de agua o su aplicación en una etapa de crecimiento no ideal reducirá el potencial de rendimiento; sin embargo, la aplicación de demasiada agua puede tener el mismo impacto en la reducción del rendimiento y el desperdicio de recursos valiosos como el agua dulce, los nutrientes y la energía. Investigadores de todo el mundo han pasado más de 50 años estudiando el impacto de varias prácticas de gestión del riego y publicando informes que describen cómo los productores pueden aplicar mejores prácticas. Hasta hace poco, estas prácticas eran a menudo difíciles de entender, caras de aplicar y/o demasiado lentas a gran escala comercial. Con el lanzamiento relativamente reciente de herramientas de riego de precisión como FieldNET® Advisor™ por Lindsay Corporation, se están aprovechando las nuevas tecnologías para automatizar el uso de estas mejores prácticas probadas de gestión del riego, reduciendo drásticamente el costo y el tiempo necesarios, a la vez que se simplifica significativamente la aplicación de estos métodos.

**- RP se relaciona principalmente con la tecnología y la automatización. Sin embargo, la agronomía y la ciencia del suelo desempeñan un papel crucial en el riego. ¿Cómo se está considerando la variabilidad de los cultivos y del suelo? ¿Cuáles son los productos y servicios relacionados con el IP que su empresa está ofreciendo para ayudar en su implementación?**

- Las tres variables principales que más influyen en las decisiones de gestión del riego son: 1) características de uso del agua del cultivo específico y del híbrido que se está

cultivando, 2) características del suelo, como la capacidad de retención de agua, tasa de infiltración y cobertura de residuos, y 3) las condiciones ambientales locales en el campo a lo largo de la temporada de cultivo. FieldNET Advisor es la única solución en el mercado que combina datos específicos de campo sobre estas tres variables, y muchas otras variables secundarias, y los integra en una plataforma remota de monitoreo y control de riego. Esta plataforma proporciona a los agricultores la información necesaria para aplicar con confianza cantidades óptimas de agua en el momento ideal a lo largo de la temporada de cultivo, y tener la capacidad de controlar su equipo de riego y monitorear su rendimiento desde su teléfono móvil, tablet u ordenador.

Si se conocen las variables clave del suelo y, se sigue el crecimiento de los cultivos en cada punto del campo usando datos históricos y pronósticos meteorológicos específicos, FieldNET Advisor puede alertar a los agricultores por adelantado en los siguientes puntos: cuando el riego es necesario se genera una prescripción de riego de tasa variable (VRI) para el campo que se actualiza por lo menos una vez al día de modo de asegurar la cantidad óptima de agua en el momento y lugar correctos a lo largo de la temporada.

**- ¿Cuáles son las barreras para la implementación de RP?**

- Las barreras para la implementación de RP han caído significativamente en los últimos años a medida que más agricultores añaden tecnología a sus operaciones para aumentar la eficiencia. Sin embargo, a medida que el equipo se hace más avanzado, los datos generados por el equipo proliferan, lo que puede suponer un reto para los agricultores a la hora de acceder a él y utilizarlo. Una barrera para aprovechar el poder que tienen estos datos son los formatos de datos dispares y la falta de continuidad entre las plataformas de los equipos.

Para resolver este desafío de datos para los agricultores que utilizan el riego, la plataforma de monitoreo y control remoto de riego FieldNET de Lindsay integra múltiples marcas de pivote eléctrico y otros componentes de riego como medidores de flujo, estaciones de bombeo y filtros, y se conecta con otras plataformas agrícolas como el Centro de Operaciones John Deere y, en 2019, FarmCommand de Farmers Edge.

Existen soluciones rentables para actualizar incluso los pivotes centrales más anticuados, por lo que tanto si tiene un pivote Zimmatic nuevo como un pivote de 30 años de antigüedad de un fabricante que hace tiempo ha dejado de funcionar, aprovechar esta tecnología es tan sencillo como llamar a su representante local de Lindsay o Zimmatic.

**- Desde su punto de vista, ¿cuáles son los principales desafíos en RP y AP en los próximos años? ¿Cómo está posicionada Lindsay para tratarlos? ¿Dónde ve el crecimiento más importante del mercado para sus productos y servicios?**

- Como hemos visto una y otra vez en el mercado agrícola durante el último siglo, cuando surgen nuevas tecnologías que demuestran una mejora significativa de la rentabilidad, ahorro de tiempo y simplificación de la operación de un productor, la adopción tiende a ser rápida. FieldNET Advisor fue lanzado en Norteamérica en mayo de 2017, ha estado en pruebas beta continuas a nivel mundial para cultivos adicionales en los últimos dos años, y se espera que sea lanzado en muchos más países a finales de 2018. Esta solución ofrece las mismas ventajas clave y se ha adoptado rápidamente. La clave para difundir estas tecnologías radica en educar a los agricultores sobre los hechos y la ciencia que hay detrás de la solución, y los testimonios de los productores que ya han visto estos beneficios en acción.



herbicida bajo modalidad ON/OFF en forma de mapa de prescripción (Etapa 3). La operación en el campo requiere que el pulverizador esté equipado con un receptor GNSS y un controlador capaz de extraer información sobre si se debe pulverizar o no según su ubicación en el campo. Otras posibilidades basadas en mapas podrían ser al revés: es decir, en lugar de pulverizar en los lugares previstos, impedir la pulverización en lugares no deseados. Además, lo mismo se aplicaría a otras operaciones de gestión como fertilización, siembra, riego, etc. El tamaño mínimo de la zona de gestión está relacionado con la anchura de trabajo mínima controlada. Por ejemplo, un pulverizador selectivo con secciones no independientes sólo sería capaz de encender y apagar todo el varillaje de pulverización. Por lo tanto, la anchura mínima de las zonas de gestión en el mapa de prescripción será la anchura de trabajo del pulverizador. Sin embargo, si un rociador es capaz de controlar sus diferentes secciones, el ancho mínimo de la zona sería la longitud de una sección. Además, si el spray es capaz de encender y apagar las boquillas individuales, entonces el ancho mínimo de la zona sería de unos 50 cm. En el caso de una sembradora, la figura 3 muestra un ejemplo de lo que se puede conseguir con una sembradora individual de precisión ON/OFF basada en mapas con control individual de las unidades de siembra (Fig. 4).

Como ya se ha dicho, la VRT permite que la velocidad de salida del equipo sea ajustable de forma automática y continua. Sin embargo, no todas las soluciones de VRT deben considerarse estrictamente como AP. Algunos pulverizadores, esparcidos de abono y sembradoras son capaces de apagarse automáticamente para evitar sobredosis cuando se superponen a una zona ya tratada, de forma ON/OFF. Esta tecnología se conoce como control de hileras o secciones. Para ello, dichos implementos utilizan receptores y controladores GNSS para registrar las áreas del

campo que se están tratando. Antes de aplicar cualquier entrada en un lugar determinado, los controladores se aseguran de que la zona no haya sido tratada todavía. Si es

función de las variaciones de la velocidad de avance, con el fin de obtener una dosis uniforme en el campo. Aunque las tasas de producción pueden variar continua-

de onda específica para que el controlador calcule diferentes índices de vegetación directamente correlacionados con su estado fertilizante o vigor. Luego, el controlador del esparcidor traduce el valor del índice a la dosis de fertilización correspondiente según un modelo preprogramado o a una calibración in situ. Esto último se hace generalmente pidiendo al agricultor que fertilice convencionalmente una franja de campo con la dosis óptima. Antes de aplicar el fertilizante en todo el campo, el esparcidor VRT escanea la franja y asigna a las lecturas del sensor el estado óptimo del cultivo y, por lo tanto, la dosis mínima de nitrógeno. Cualquier área en el campo con lecturas de vigor más bajas recibe una dosis de fertilizante proporcionalmente más alta. Ejemplos de sensores y sistemas comerciales para fertilización con N basados en sensores TR son: N-sensor y N-sensor ALS (Yara y Agricon), Crop Circle (Holland Scientific), GreenSeeker (Trimble), OptRx (AgLeader) y CropSpec (Topcon). Todos, excepto los primeros, son sensores activos que emiten su propia luz. Esto los hace capaces de trabajar también de noche.

Cuando se trata de dispositivos AP basados en mapas, los implementos equipados con VRT funcionarían de forma similar a los que se utilizan para aplicaciones ON/OFF selectivas. La diferencia es que los mapas de prescripción diseñados podrían prescribir prácticamente cualquier tasa de aplicación. Sin embargo, las zonas de gestión no deben ser demasiado pequeñas. En primer lugar, su anchura debe dise-

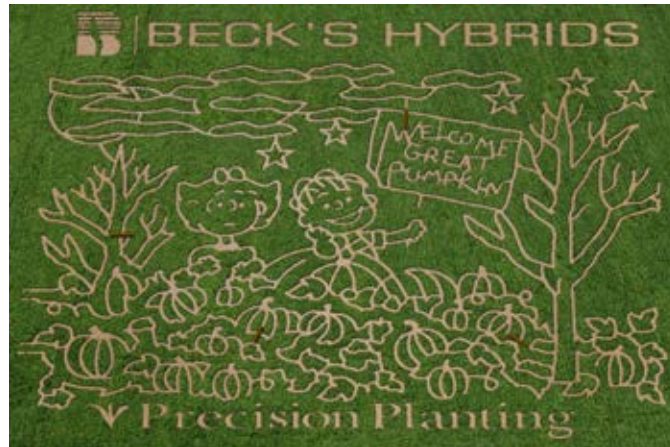


Figura 3: Ejemplo de lo que se puede hacer con una sembradora de semillas ON / OFF basada en mapas ([www.raderfamilyfarms.com/activities/corn-mazes](http://www.raderfamilyfarms.com/activities/corn-mazes)).

así, los controladores envían una señal de control a los actuadores para evitar rociar, fertilizar o incluso sembrar la misma área dos veces. Si bien es cierto que se trata de un funcionamiento preciso de los equipos, estas tecnologías no son con exactitud AP, aunque realmente contribuyen a que la agricultura sea más eficiente y sostenible. Lo mismo se aplica a la guía basada en GNSS y a ISOBUS. Uno de los ejemplos más representativos de estas tecnologías es la sembradora individual de maíz con control individual ON/OFF de los elementos de siembra (Fig. 4).

Además de las soluciones selectivas ON/OFF, algunos pulverizadores, esparcidos de fertilizantes y sembradoras son capaces de variar continuamente su rendimiento en

mente de 0 a 100%, el propósito no es adaptar las tasas a la variabilidad del campo, sino lograr una aplicación general constante en todo el terreno. Existen otros dispositivos basados en mapas o en sensores TR que varían las velocidades de salida de forma continua para adaptarse a la variabilidad del campo. En este caso, las tasas de salida pueden tomar literalmente cualquier valor entre 0% y 100%, aunque ciertas soluciones comerciales sólo son capaces de ajustar algunas salidas discretas como 0%, 25%, 50%, 75% y 100%. Ejemplos típicos de sensores TR con tasa de variación continua son los esparcidos de fertilizantes de nitrógeno equipados con sensores ópticos.

Los sensores miden la reflectancia del cultivo a una longitud



Figura 4: Plantas de maíz sembradas sin control de franja (izquierda) y con control de franja para unidades de semillas individuales (derecha).

ñarse de acuerdo con la anchura mínima controlada por el equipo. En segundo lugar, la longitud de las zonas de gestión no debe ser inferior a la longitud necesaria para que el equipo cambie la tasa de aplicación. El cambio de velocidad de salida requiere ajustes mecánicos y su implementación requiere un cierto tiempo, dependiendo de la tecnología utilizada. Como el tiempo necesario para cambiar la velocidad de salida implica una distancia en el campo, la longitud de las zonas de manejo no debe ser menor que esa distancia para que sea efectiva. Las tasas continuamente variables de un método basado en mapas podrían utilizarse para aplicación de productos fitosanitarios, fertilización, riego y otras operaciones de gestión.

Cuando se utilizan métodos basados en sensores TR o en mapas, es aconsejable registrar lo que realmente se hace en los campos

en la forma denominada "mapa tal como se aplica". Para ello, se necesitan sensores para supervisar el rendimiento del implemento, receptores GNSS para obtener las coordenadas y controladores para reunir todo y registrar los datos. Los mapas aplicados son muy útiles para entender lo que sucede en los campos durante la temporada, especialmente cuando los problemas persisten. Además, son muy interesantes para la trazabilidad. Obviamente, cuanto más similar sea el mapa aplicado al mapa de prescripción, mejor.

## AGRICULTURA DE PRECISIÓN DURA VS BLANDA

Después de ocho artículos de la sección 'Precision Ag Corner' que describen las diferentes etapas del ciclo de AP, podemos afirmar que puede haber dos planteamientos generales para implementar AP: AP dura y AP blanda. La AP dura implica

equipos de alta tecnología, grandes áreas, procesos automatizados, software con licencia y pocos operadores involucrados. En cambio, la AP blanda utiliza equipos y sensores convencionales o de bajo costo en campos más pequeños, más mano de obra y software de código abierto. La AP dura es interesante cuando la mano de obra es cara o no está disponible. Sin embargo, cuando los presupuestos para la compra de sensores de alta tecnología son escasos pero la mano de obra está disponible y asequible, la exploración con teléfonos móviles es una alternativa factible, incluso en campos pequeños. Sin embargo, este método usualmente requiere más educación en AP ya que el agricultor o los asesores tendrán que realizar experimentos en el campo para obtener soluciones específicas para su situación y tendrán que usar varias fuentes de datos y programas para resolver sus problemas. La AP dura tiende a ser "conectar y usar", y utiliza paquetes de software que proporcionan prescripciones con sólo pulsar un botón. Eso está bien si todo funciona, pero si no, puede ser muy peligroso.

## ¿CUÁL ES EL FUTURO? TENDENCIAS EN AP

El paso de una gestión uniforme a zonas de gestión específicas es un gran avance. Sin embargo, ¿podríamos seguir avanzando hasta la gestión de los individuos? Esto parece bastante razonable en la Ganadería de Precisión o incluso en la Fructificación de Precisión, pero ¿qué pasa con los cultivos herbáceos o de campo? Y entonces, ¿cuál es el futuro de la agricultura? Desde nuestro punto de vista, el futuro de la agricultura es la Agricultura de Precisión (AP) junto con los datos y el análisis de los Grandes Datos (Big Data) y la interconectividad, lo que se denomina Agricultura Digital o Agricultura 4.0. En cuanto a las operaciones de gestión, la tendencia de los últimos años es el aumento de la anchura de trabajo en la maquinaria agrícola. Esto se traduce en mayores capacidades de

trabajo (ha/h), menores costos unitarios (\$/ha) y menos mano de obra o trabajadores. Eso puede resultar en granjas con campos grandes y regulares. Sin embargo, esto significa mayores inversiones, poca flexibilidad en la programación de las tareas y una confiabilidad limitada en caso de operaciones de mantenimiento y reparación. Además, los implementos grandes son pesados y requieren tractores potentes y de mucho peso que pueden causar problemas de compactación en ciertas áreas.

Otro aspecto clave es que se espera que los equipos caros trabajen en áreas más grandes y, por lo tanto, viajen a velocidades de trabajo más altas. Esto dificulta la gestión "precisa" y obliga a reducir los tiempos de respuesta tanto en el procesamiento informático para la toma de decisiones como en la acción. Una alternativa es el uso de robots. Aunque esto pueda sonar futurista, algunas soluciones para el desmalezado (Naio) y el mantenimiento de las cubiertas de césped (Vitover) ya son comerciales. Los robots no requieren operarios y pueden funcionar las 24 horas del día y los 7 días de la semana. Esto significa que podrían tardar más tiempo en tomar decisiones (por ejemplo, decidir si una planta es un cultivo o una maleza) y demorarse en realizar operaciones de manejo. Los robots pequeños son ligeros y podrían hacer uso de la energía solar. Si uno de ellos falla, otros lo pueden reemplazar. En el lado negativo, los robots pequeños no pueden asumir trabajos de tracción pesados y se necesitaría una red de talleres para reaccionar rápidamente a las operaciones de reparación y mantenimiento durante los momentos críticos de la temporada. Las inversiones pueden ser elevadas y las unidades pueden ser objeto de robos. Esta solución parece estar aún muy lejos de ser implementada a corto plazo. Sin embargo, algunos grandes fabricantes de maquinaria agrícola ya la ofrecen en su cartera (Proyecto Xaver - AGCO). Veamos qué ocurrirá en los próximos años. ■

## Glosario de términos

- **Mapa de prescripciones:** Mapa del campo que muestra la tasa de aplicación o la intensidad de una operación de manejo específica del terreno (es decir, fertilización, riego, labranza, protección de cultivos, etc.). Es la información base para implementar la Agricultura de Precisión (AP) basada en mapas.
- **Tecnologías de Velocidad Variable (VRT):** Tecnologías montadas en esparcidores de fertilizantes, pulverizadores, sembradoras, pivotes centrales y otra maquinaria agrícola capaces de autoajustarse para variar su rendimiento. VRT aprovecha los controladores, actuadores y sensores para extraer los puntos de ajuste (tasas de salida) de los mapas de prescripción o para adquirir y traducir las lecturas de los sensores en puntos de ajuste. Además, generan señales de control que se envían a los actuadores para ajustar el equipo a la velocidad de salida deseada.
- **Mapa tal como se aplica:** Mapa del campo que muestra lo que realmente se hizo durante la operación en el campo. Por ejemplo, los productos fitosanitarios realmente pulverizados, la cantidad real de fertilizante esparcido o la dosis real de siembra
- **AP (Agricultura de Precisión) dura:** Método para la implementación de AP relacionada con el uso de equipos de alta tecnología, procesos automatizados, software con licencia y pocos operadores en grandes áreas. La AP dura tiende a ser "conectar y usar", y utiliza paquetes de software que proporcionan prescripciones con sólo pulsar un botón.
- **AP (Agricultura de Precisión) suave:** Método para la implementación de AP relacionada con el uso de equipos convencionales o de bajo costo y sensores en campos más pequeños, más mano de obra y software de código abierto. Este método generalmente requiere más educación en AP.