

DIFERENCIAS ENTRE LA APLICACIÓN VARIABLE BASADA EN MAPAS Y APLICACIÓN VARIABLE BASADA EN SENSORES

Últimos desarrollos en técnicas de aplicación de abonado variable

A mediados de la década de los 80, científicos en colaboración con empresas de maquinaria agrícola, comenzaron a demostrar la utilidad de lo que actualmente se conoce como técnica de aplicación variable de insumos (herbicida, abonado, semillas, etc.). Esta técnica se puede enmarcar en la filosofía de la agricultura de precisión y básicamente se puede definir como el ajuste de insumos en distintos lugares de una misma parcela en función de al-

guna variable del suelo o cultivo medida. En esos primeros años no se pudo demostrar la viabilidad económica de esta técnica debida sobre todo al coste de los equipos que por entonces tenían que ser usados para conseguir aplicación variable. Parece increíble y estamos seguros de que existen razones racionales, pero después de treinta años la industria empieza a poner los equipos de aplicación variable disponibles a nivel de agricultor.

Juan Agüera Vega¹ y Manuel Pérez Ruiz².

¹ Dpto. de Ingeniería Rural. Universidad de Córdoba.

² Dpto. de Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Fluidos. Área de Ingeniería Agroforestal. Universidad de Sevilla.

Hoy en día el agricultor cuenta con la aplicación variable basada en mapas y la aplicación variable basada en sensores, a un coste competitivo en muchos casos de las explotaciones agrícolas españolas. Ambas técnicas, la basada en mapas y la basada en sensores se diferencian de forma sustancial.

Mediante la técnica de aplicación variable basada en sensores, el equipo de tratamiento o abonado detecta sobre la marcha los datos necesarios (características del terreno, presencia de mala hierba, estado del cultivo, línea de cultivo, etc.), que son utilizados como indicadores para regular la distribución del insumo utilizado en la aplicación. En este punto se podría destacar el trabajo de aplicación localizada de agroquímicos que está realizando la Universidad de California junto con la empresa Yamaha Motor Corp. El helicóptero no tripulado RMAX, que monta un equipo de aplicación adaptado a su tamaño y una cámara para detectar la línea de cultivo, proporciona una cobertura completa en las líneas de viñas probadas. Además, las corrientes de aire provocadas por los rotores del helicóptero permiten que la aplicación sea óp-



Foto 1. Aplicación localizada de agroquímicos con helicóptero no tripulado.

tima en la parte más inferior de la copa del cultivo (foto 1).

En la aplicación variable basada en mapas, se modifica la cantidad de insumo en función de la información obtenida de las propiedades de la parcela en los mapas de variabilidad. Este tipo de aplicación presenta el inconveniente, de que nos prefija la dosis, y dado que transcu-

re un cierto tiempo entre el análisis del mapa y la aplicación, puede que las dosis prefijadas no correspondan exactamente con las que se necesitan en el momento de la aplicación, fundamentalmente en el caso de que el análisis se haya basado en propiedades que varían rápidamente, como el contenido de nitratos en el suelo, el contenido de humedad en el terreno,

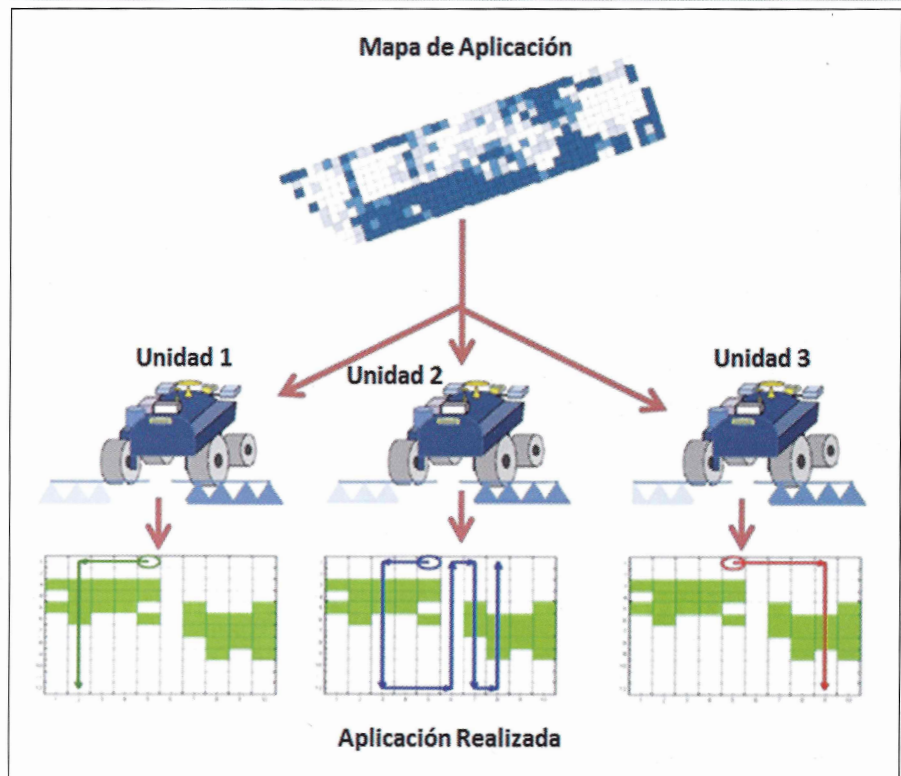
malas hierbas, etc. Como tecnología de aplicación variable basada en mapas podemos citar el proyecto Europeo RHEA (NMP-CP-IP245986-2), participado entre otros por centros de investigación (CSIC-IAS-ICA-CAR, IRSTEA), universidades (UPM-EII-EIA, UCM, UP, UF) y empresas (Soluciones Agrícolas de Precisión, AirRobot, FTW, CogVis, Cyberbotics, CNH, CM, Tropical y Bluebotics), y con el objetivo claro de conseguir una agricultura más eficiente tanto en cultivos extensivos como arbóreos. En primer lugar se crean los mapas de la variable deseada (mala hierba, nitrógeno, humedad, salinidad, etc.) y se generan los mapas de aplicación (dosis de abonado, dosis de herbicida, laboreo variable, etc.). Estos mapas de aplicación son transferidos a un tractor equipado con un controlador y éste a modo de "impresora" desarrolla el trabajo en la zona y con la cantidad de insumo indicado por el mapa (figura 1).

Actualmente existen muchos modelos de equipos no tripulados para la obtención de mapas de aplicación pero la mayoría de ellos presentan dificultades a la hora de obtener precisiones y necesitan medidas complementarias en campo. Los autores a través de sus respectivas Universidades y la empresa Soluciones Agrícolas de Precisión están desarrollando un vehículo aéreo no tripulado con definición de ruta, sin estos problemas mencionados anteriormente, y que permite obtener mapas de aplicación con precisiones centimétricas (RTK-GPS). Esto permitirá en los próximos meses tener un producto comercial que proporciona mapas de aplicación con bajo coste y en poco tiempo (foto 2).

Aplicación de abonado variable

Este tipo de aplicación permite a los agricultores ajustar la dosis de abonado por zonas en una misma parcela según los nutrientes que la planta extrae (producción media), o enriquecer el suelo cuando presente baja concentración de uno o varios nutrientes. Reuniendo toda la información posible y teniendo en cuenta los requisitos del cultivo, las preferencias y conocimientos del agricultor y cualquier otro dato interesante, se realizan los mapas de aplicación. Aunque debieran ajustarse con la mayor precisión posible a la realidad, veremos que existe una componente muy importante debido a la naturaleza mecánica de la

FIGURA 3. Imagen conceptual del proyecto RHEA. Mapas de aplicación siendo transferidas a unidades móviles totalmente autónomas que realizan la aplicación de forma eficiente.



máquina de aplicación, debiendo 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 a 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

Este sistema permite a los agricultores ajustar la dosis de abonado por zonas en una misma parcela según los nutrientes que la planta extrae, o enriquecer el suelo cuando presente baja concentración de uno o varios nutrientes

equipos de a bordo estén muy bien regulados.

La tecnología necesaria para llevar a cabo la fertilización variable incluye un equipo electrónico en la cabina del vehículo agrícola y un software que permite la interpretación de los mapas de aplicación. Además, es fundamental un sistema global de navegación por satélite (su acrónimo en inglés: GNSS) que durante la operación nos proporcione la localización actual del equipo de aplicación, para realizar los cambios de dosis en el momento y en el lugar deseado. Por supuesto la abonadora utilizada para hacer una aplicación de este tipo debe reunir los equipos necesarios para actuar adecuadamente y realizar los cambios indicados por el equipo electrónico. Una vez realizada la aplicación es importante analizar los mapas de post-aplicación grabados en el equipo, con lo que podremos visualizar las diferencias entre lo planificado y lo realizado, y nos servirá para introducirlo en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el análisis económico de la campaña.



Equipo no tripulado para toma de imágenes espectrales con precisión centimétrica.

Campaña de Girasol 2012 (Córdoba)

Foto 2. Equipo no tripulado con posicionamiento centimétrico tomando imágenes de cultivo para la generación de mapas de aplicación.

Antena GNSS y receptor

Durante la aplicación variable de abonado, el uso del GPS es imprescindible tanto para conocer la posición actual del equipo, como para ajustar la aplicación en función de la zona de la parcela en la que se encuentre. El conocimiento de la posición GPS, incluso sin corregir la señal, permitiría de manera aceptable cálculos de los cambios de ritmo que el equipo necesita para llevar a cabo el manejo óptimo dentro de la parcela.

En los últimos años se ha popularizado entre los agricultores los sistemas de ayuda al guiado y guiado automático en tractores y ya se comercializan con bastante éxito en el sector. Este hecho facilita la incorporación de técnicas de abonado variable, porque parte de la inversión ya se encuentra realizada por parte de estos agricultores. Si la antena del receptor GPS no está montada directamente sobre el equipo de aplicación de abonado, el controlador utilizado en el tractor tiene que ser programado para tener en cuenta la distancia de separación entre la antena GPS y equipo de aplicación para asegurar que la dosis (kg/ha o l/ha) cambia en la posición correcta del equipo cuando éste se mueve por zonas que requieren diferentes dosis.

Ordenador/controlador

Éste es el equipo más importante en la aplicación variable de fertilizantes y en la mayo-

ría de las ocasiones es montado en la propia cabina del vehículo agrícola, para facilitar el manejo por parte del conductor. El controlador realiza varias funciones:

- 1) El software embebido en el controlador permite visualizar e interpretar el mapa de aplicación sobre un display.
 - 2) Registra la señal del GPS para conocer la posición en tiempo real del vehículo.
 - 3) Se comunica directamente con el dispositivo de control de flujo (líquido/sólido) para modificar las dosis.
 - 4) Registra la velocidad del vehículo.
 - 5) Realiza mapa post-aplicación (**foto 3**).
- Es importante que este tipo de equipos in-



Foto 3. Display con receptor GPS integrado junto al controlador de aplicación variable que permite una mejor eficiencia en el uso de fertilizante (Fuente: Trimble).

cluyan: la capacidad de controlar y modificar varios productos al mismo tiempo, que sean compatibles con otras marcas, tanto en el aspecto mecánico como en el formato de los datos digitales que maneja, facilidad de interacción, capacidad de grabar y guardar mapas de aplicación de fertilizante y, por supuesto, que sean fáciles de adaptar a cualquier modelo de abonadora, tanto para abonos sólidos como para líquidos.

Válvula reguladora de flujo para aplicaciones líquidas

La válvula reguladora de caudal es un dispositivo mecánico que, accionado por un sistema electrónico de control, permite o impide el paso de fluido en un circuito hidráulico. En los equipos de aplicación se pueden encontrar dos tipos de electroválvulas: motorizadas y de solenoide. En las primeras, un pequeño motor acciona el estrangulamiento del paso del líquido, lo que permite regular el caudal que pasa en infinitos niveles, pero con el inconveniente de tener un tiempo de respuesta relativamente lento (alrededor de un par de segundos). En las electroválvulas de solenoide, se aplica una tensión sobre una bobina, que atrae un vástago metálico solidario al sistema de apertura o cierre de la válvula hidráulica. En ausencia de tensión el vástago vuelve a su posición original por la acción de un muelle. Por su construcción, generalmente estas electroválvulas funcionan en modo "todo o nada", abriendo o cerrando completamente el circuito, aunque algunos fabricantes ofrecen sistemas de apertura proporcional a la tensión de alimentación de la bobina.

Otro dispositivo muy importante en el sistema de control de abonos líquidos es el medidor de caudal o de presión. Normalmente se utiliza uno u otro y raramente ambos simultáneamente. Permiten que el sistema de control conozca el valor real del flujo aplicado y modifique la válvula reguladora hasta que el caudal (o la presión) lleguen al valor adecuado para conseguir la dosis prescrita para el lugar en que se encuentra la máquina en cada momento.

Motor hidráulico o eléctrico para aplicaciones sólidas

Estos motores permiten controlar el flujo de salida del fertilizante para realizar la dosificación necesaria en campo. Este motor utiliza el dato de velocidad del equipo de aplicación para determinar en tiempo real la velocidad a la



Foto 4 (izda.). Válvula de control de flujo y motor hidráulico de velocidad variable. Foto 5 (dcha.). Actuador eléctrico en abonadora variable para sólidos.

que debe girar el motor para aplicar la dosis programada (foto 4).

La adaptación a otros tipos de abonadoras requiere que la maniobra de apertura-cierre de la trampilla que alimenta los discos centrifugos se accione mediante algún tipo de actuador (foto 5), ya sea hidráulico o eléctrico, controlado desde el monitor del sistema, de manera que la dosis se ajuste a la especificada en el mapa de prescripción, independientemente de la velocidad a la que se desplace la máquina.

A diferencia de los abonos líquidos, no existen dispositivos para medir el flujo de la masa de abono sólido que se está aplicando por lo que el sistema de control en este caso no dispone de realimentación para conocer el dato de la cantidad realmente aplicada y poder corregirlo en caso de que no se ajuste. En su lugar se está generalizando la utilización de sistemas electrónicos de pesado a bordo. Mediante sensores de fuerza que soportan la tolva, el sistema de control tiene información de la masa de abono disponible y, por diferencia con medidas anteriores, de la cantidad realmente arrojada al suelo. Aunque no es un método tan preciso como los caudalímetros usados en abonos líquidos, se consiguen resultados muy aceptables.

Estas unidades deben ser calibradas para las mezclas de fertilizante específicos porque el nitrógeno, fósforo y potasio tienen diferentes densidades y velocidades de flujo.

Basándonos en datos recogidos en los últimos años y recientes trabajos de investigación comenzados por los autores, no se ve ninguna razón por la que este tipo de aplicación no continúe con la buena tasa de crecimiento que ha tenido en los últimos años. Algunos de los factores por los que debe seguir creciendo son:

- 1) Aumento del coste en los insumos utilizados en el sector agrícola.
- 2) Una mayor conciencia y apreciación de las ventajas agronómicas, ecológicas y econó-

En general las técnicas de aplicación variable son muy aceptadas por los agricultores, pero es verdad que existe una incertidumbre en torno a la ventaja relativa en determinados cultivos y situaciones estacionales siendo esto un obstáculo. Con la superación de estas limitaciones se conseguirá el éxito de estas técnicas

micas de la técnica de aplicación variable.

3) Mayor disponibilidad y asequibilidad de los equipos necesarios.

4) Muchos agricultores conocen y valoran esta tecnología aunque aún no la hayan adoptado.

En general las técnicas de aplicación variable son muy aceptadas por los agricultores, pero es verdad que existe una incertidumbre en torno a la ventaja relativa en determinados cultivos y situaciones estacionales siendo esto un obstáculo. La superación de estas limitaciones se conseguirá con ensayos en la propia explotación y con el apoyo de los técnicos que ayuden con su conocimiento a diagnosticar la variabilidad con precisión. Esto debería reducir la incertidumbre y dar una respuesta en la dirección apropiada.

Renuncia de responsabilidad

La mención de productos comerciales, servicios, marcas, fabricantes, organizaciones, o estudios de investigación en esta publicación no implica la aprobación por parte de los autores, o de las Universidades a las que pertenecen. El no mencionar otros productos, servicios, marcas, fabricantes, organizaciones, o estudios de investigación similares no implica la discriminación hacia estos. ●