

Mejora de la eficiencia de las máquinas de aplicación de herbicidas

Las técnicas de agricultura de precisión permiten localizar el herbicida allí donde realmente es necesario

Alba Fillat y Francesc Solanelles.

Generalitat de Catalunya. Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural. Centre de Mecanització Agrària.

Mejorando la eficiencia de las máquinas de aplicación, se consigue un mayor ajuste de la dosis de producto herbicida a las necesidades del cultivo y una reducción del riesgo de contaminación ambiental. Para ello se dispone actualmente de tecnologías innovadoras en las máquinas de aplicación, que van desde el desarrollo de las nuevas técnicas de agricultura de precisión hasta la incorporación de dispositivos de seguridad y protección ambiental contemplados en la normativa técnica.

Los objetivos de una correcta aplicación son reducir las cantidades de productos fitosanitarios utilizados para el control de las malas hierbas, minimizar los residuos de fitosanitarios en los productos agrícolas, disminuir al máximo los riesgos de contaminación del operario y del entorno y reducir el coste económico de las aplicaciones.

Al realizar una aplicación herbicida debemos tener en cuenta

que el éxito del tratamiento dependerá en gran medida de las peculiaridades de la máquina de aplicación, así como de su correcta regulación en base a las características de la mala hierba a controlar y las condiciones ambientales. La finalidad es conseguir la máxima eficiencia de las máquinas de aplicación manteniendo una adecuada eficacia biológica.

Con el fin de lograr estos objetivos, se avanza en dos aspectos. Por un lado, en el propio diseño de la máquina de aplicación y, por otro, en la forma de realizar las aplicaciones en base a las nuevas tecnologías ofrecidas por la agricultura de precisión.

Características de los equipos

Las aplicaciones herbicidas se realizan de forma mayoritaria con pulverizadores hidráulicos, con modelos suspendidos, arrastrados o autopropulsados (**foto 1**), dependiendo de su tamaño. En el pulverizador hay una serie de componentes que influyen decisivamente en la calidad de la aplicación. A continuación se describen las principales exigencias de los más destacados.

Depósito de producto y circuito del líquido de pulverización

El líquido de pulverización



Foto 1. Pulverizador autopropulsado para la aplicación en cultivos extensivos.

está contenido en un depósito de material plástico (usualmente de polietileno) para su distribución a presión gracias a la acción de una bomba y de todo un circuito de distribución de producto hasta llegar a la barra. El depósito debe disponer del indicador o indicadores de nivel adecuados y precisos para conocer en todo momento su contenido, tiene que permitir reducir al máximo el volumen residual de líquido al terminar el tratamiento y ha de estar equipado con un sistema de agitación que asegure la homogeneidad de la preparación fitosanitaria durante la aplicación (**foto 2**). También deben estar siempre presentes y con la capacidad adecuada el depósito para la limpieza de la máquina y el de agua limpia para el operario.

EL SISTEMA MÁS EXTENDIDO DE REGULACIÓN ELECTRÓNICA de las máquinas de aplicación es el de caudal proporcional a la velocidad de avance, que permite mantener dentro de ciertos límites una dosis constante de aplicación frente a posibles variaciones de la velocidad de trabajo.

La bomba tiene que proporcionar el caudal necesario tanto para la aplicación de producto como para la agitación del depósito. El circuito de distribución de producto debe disponer de una válvula de seguridad para evitar el riesgo de presiones elevadas que superen el máximo admisible de sus componentes. Para evitar la obturación de las boquillas, es preciso contar con los filtros adecuados tanto en la parte de aspiración como en la de presión del circuito.

El sistema de regulación de la

máquina ha de permitir la aplicación de producto a la dosis correcta. Para mejorar la eficiencia de la aplicación y hacer posible la utilización de técnicas de agricultura de precisión, la sofisticación del sistema de regulación juega un papel muy importante, tal como se verá más adelante. En cualquier caso, se aconseja la utilización de mandos eléctricos a distancia desde el lugar de conducción (**foto 3**).

Barra de distribución

Los pulverizadores hidráulicos más usados en nuestro país disponen de barras con una anchura de trabajo de 10 a 18 m, aunque también encontramos grandes equipos con barras de mayores dimensiones. Para garantizar su estabilidad y mínimas oscilaciones, ha de disponer de una estructura robusta y de mecanismos de suspensión. También es importante que sea auto-nivelante, para que pueda adaptarse a las pendientes del terreno. Los sistemas más utilizados son la suspensión pendular o de trapecio. La longitud de las secciones ha de ser igual o inferior a 4,5 m para evitar excesivas pérdidas de carga; en barras de más de 18 m los sectores pueden llegar a 6 m. Para evitar solapamientos en el tratamiento, se aconseja que lleve un marcador de pasadas, imprescindible en barras de más de 10 m. Como hay que asegurar la uniformidad de distribución del producto sobre el cultivo, el coeficiente de variación medido en laboratorio de la distribución horizontal de una barra ha de ser inferior al 7% para una altura y presión de trabajo especificadas. Para el resto de alturas y presiones, el coeficiente no debe superar el 9% (**foto 4**).

Boquillas

Precisamente para conseguir una adecuada uniformidad de distribución, las barras llevan instaladas boquillas de abanico. Éstas han de ser idénticas en toda la barra y la separación entre ellas constante. La identificación del modelo de boquilla de acuerdo con el código de color de la norma ISO 10625 facilita su



Foto 2 (arriba). Agitación hidráulica del depósito de un pulverizador.
Foto 3 (abajo). Sistema electrónico de regulación de un pulverizador.

reconocimiento. El uso de un portaboquillas múltiple simplifica su cambio y las conexiones de tipo bayoneta aseguran la correcta orientación de todas las boquillas respecto al eje de la barra. Además, deben estar en buen es-

tado de conservación. Se recomienda comprobar periódicamente su caudal y cambiarlas cuando la variación del caudal respecto al nominal indicado por el fabricante sea superior al 10% (**foto 5**).



Foto 4 (arriba). Determinación de la uniformidad de distribución de la pulverización en el laboratorio del Centre de Mecanització Agrària.

Foto 5 (abajo). Determinación del caudal de las boquillas de una barra. La calibración ha de llevarse a cabo con agua limpia.



Foto 6. Boquilla de abanico (a) y boquilla de inyección de aire (b).

► Innovaciones

Seguridad y protección ambiental en las aplicaciones

Una de las líneas de innovación más importantes en el diseño de pulverizadores hidráulicos es la adaptación a las normas europeas de seguridad (EN 907) y protección ambiental (EN 13761). Mientras el cumplimiento de la norma de seguridad está bastante extendido en la mayoría de los pulverizadores disponibles en el mercado, no es ésta la situación con la norma de protección ambiental. Todavía hay algunos puntos que se deben mejorar en el diseño de los equipos, como el sistema de agitación del depósito, para conseguir la dosis adecuada de producto durante la duración de todo el tratamiento, la incorporación generalizada de depósitos para la limpieza de la máquina después del tratamiento de capacidad adecuada o el diseño de barras de aplicación que consigan la uniformidad suficiente en la distribución del producto en las diferentes condiciones de trabajo.

La contaminación provocada por la deriva de los productos fitosanitarios fuera de la zona de aplicación es uno de los riesgos ambientales más importantes de la realización de los tratamientos fitosanitarios. El uso de boquillas de baja deriva en los pulverizado-

res hidráulicos es quizás la forma más práctica y eficaz de reducción de este riesgo. Este tipo de boquillas produce una pulverización con gotas más grandes para un mismo caudal de aplicación que las boquillas estándar. Las más usadas actualmente son las de inyección de aire (**foto 6**). Son fáciles de montar en la barra en sustitución de las boquillas tradicionales y su coste no es muy elevado. Uno de los inconvenientes es que al producir un tamaño de gota más grande, en algunos casos pueden tener problemas de eficacia biológica, aunque en la mayoría de estudios experimentales realizados hasta el momento el control ha sido similar. Otra técnica para reducir las pérdidas por deriva, cuando los tratamientos se realizan sobre cubierta vegetal, es la incorporación de asistencia de aire a las barras de pulverización (**foto 7**).

Por otro lado, para garantizar un correcto funcionamiento, es importante un mantenimiento adecuado del pulverizador durante toda su vida útil. Aparte de las tareas de revisión que debe realizar el propio usuario de la máquina, la inspección periódica de los equipos por centros oficiales u oficialmente reconocidos (**foto 8**), que ya es obligatoria en las normas de producción integrada, permite asegurar que las aplicaciones de fitosanitarios se realicen en las condiciones adecuadas de seguridad y respeto ambiental. Los criterios de inspección que se usan actualmente están basados en la norma europea EN 13790-1 y 2.

Aplicación de herbicidas a dosis constante

La aplicación tradicional con pulverizadores hidráulicos pretenden realizar una distribución uniforme del producto fitosanitario en la superficie tratada, de forma que todas las zonas de la parcela reciban la misma dosis. Para conseguir este objetivo, los equipos deben estar equipados con sistemas que permiten mantener constante esta dosis frente a posibles variaciones de las condiciones de aplicación.

La estabilidad de la barra in-



Foto 7 (arriba). Barra de aplicación con asistencia de aire.

Foto 8 (centro). Inspección de un pulverizador con la unidad móvil del Centre de Mecanització Agrària.

Foto 9 (abajo). Visualización de la uniformidad de distribución de una barra mediante un banco portátil.

fluye de forma decisiva en la uniformidad de distribución de la aplicación. Al aumentar la velocidad de trabajo, aumentan también los movimientos de la barra tanto en sentido vertical como horizontal, y por tanto no se consigue mantener una misma distancia de todas las boquillas al objetivo del tratamiento (**foto 9**). Así pues, en el diseño de las máquinas hay que pensar en la mejora de los sistemas actuales de suspensión, que permitan amortiguar estos movimientos indeseados. Una línea de innovación consiste en la incorporación de sistemas de suspen-

sión activos (Deprez *et al.*, 2002), con dispositivos electrónicos para mantener la distancia de las boquillas al objetivo en diferentes condiciones del terreno.

Por otra parte, es difícil mantener constante la velocidad de trabajo en condiciones normales de aplicación, debido a factores como las variaciones del contenido de humedad en el suelo o de la pendiente del terreno, que provocan un cambio de régimen del motor o el resbalamiento de las ruedas de tracción. Para compensar estas variaciones, los equipos deben disponer de sistemas de re-



Foto 10. Dispositivo electrónico para la detección de malas hierbas y para la aplicación de herbicidas en tiempo real y visualización sobre papel hidrosensible de una aplicación localizada de herbicida.

Foto 11 (abajo). Sistema de regulación de un pulverizador con funciones múltiples: ajuste de caudal de la pulverización, receptor GPS, autoguiado, confección de mapas de aplicación, etc.

gulación de tipo hidráulico, como los de caudal proporcional al régimen del motor, o electrónicos, como los de caudal proporcional a la velocidad de avance, más precisos que los anteriores. La regulación del caudal de forma proporcional a la velocidad de avance (figura 1) consiste en un sistema electrónico equipado con dispositivos para la medida de la velocidad y del caudal aplicado por la máquina en cada momento, con un sistema central de control basado en un microprocesador y con un sistema de actuación en forma de válvulas eléctricas motorizadas, que permite modificar la presión de trabajo de las boquillas (Rietz *et al.*, 1997).

Aplicación variable de herbicidas en agricultura de precisión

La distribución de malas hierbas en el cultivo es muy poco uniforme, por lo que parece lógico intentar aplicar el herbicida sólo allí donde verdaderamente se necesita. Se puede realizar una detección de las malas hierbas y control de la aplicación en tiempo real o bien realizar primero un mapa de la distribución de las malas hierbas y posteriormente una aplicación del producto de forma selectiva. Cualquiera de las dos técnicas forma parte de lo que se conoce como agricultura de precisión. En caso de conseguir un control adecuado de las malas hierbas, las ventajas derivadas de la reducción de la dosis de producto fitosanitario son evidentes, tanto desde el punto de vista económico como ambiental.



Para la detección de las malas hierbas, se usan principalmente técnicas de análisis de imagen o de análisis espectral. Las técnicas de análisis de imagen se basan en la identificación de las malas hierbas por medio de criterios de forma, tamaño o color. Hasta el momento se han usado poco a nivel

comercial, ya que requieren cámaras y equipos informáticos potentes y excesivamente caros para su uso en la agricultura.

Las técnicas de análisis espectral son las más usadas y se basan en las diferencias en el espectro de luz reflejada entre las malas hierbas y el suelo (foto 10), o incluso entre las malas hierbas y el cultivo. Para la distinción entre diferentes especies vegetales, es especialmente sensible la relación de la intensidad de la luz reflejada en diferentes zonas del espectro, lo que se conoce como "índice espectral de vegetación".

En cualquier caso, si lo que se pretende es la realización de mapas de malas hierbas, es necesario disponer también de un sistema de posicionamiento global (GPS) que permita registrar en la

parcela la localización de los rodales (Downey *et al.*, 2004). A veces la identificación de las zonas de mayor población de malas hierbas se puede incluso realizar de forma visual, como es el caso de la avena loca en los cereales (Fernández-Quintanilla *et al.*, 2006).

Para la aplicación selectiva de herbicidas, el pulverizador ha de disponer de un sistema de control electrónico que permita trabajar con mapas o con sensores de detección (foto 11). Asimismo, los sistemas de actuación han de ser rápidos para poderse adaptar a las variaciones que se registren en la parcela a la velocidad normal de trabajo, lo cual descarta el uso de válvulas eléctricas motorizadas. En su lugar, se debe contar con electroválvulas de solenoide proporcionales que puedan variar de forma rápida la presión de trabajo o, mejor todavía, con sistemas que permitan variar el caudal de aplicación sin modificar las características de la pulverización, como son los sistemas basados en el control pulsante de las boquillas (Solanelles *et al.*, 2002).

Bibliografía

Deprez, K., Anthonis, J., Ramon H. y Van Brussel H. (2002). Development of a Slow Active Suspension for Stabilizing the Roll of Spray Booms. Part 1: Hybrid Modelling Biosystems Engineering 81 2, 185-191 y Part 2: Controller Design Biosystems Engineering 81 3, 273-279.

Downey, D., Giles, D. K. y Slaughter, D. C. (2004). Weeds accurately mapped using DGPS and ground-based vision identification. California Agriculture. University of California. <http://californiaagriculture.ucop.edu/4040ND/pdfs/weedMap.pdf>.

Fernández-Quintanilla, C., Ruíz, D., Barroso, J., Escribano, C. y Ribeiro, A. (2006). El manejo de la avena loca mediante técnicas de agricultura de precisión. Vida Rural 233, 36-38.

Rietz, S., Pályi, B., Ganzelmeier, H. y László, A. (1997). Performance of Electronic Controls for Field Sprayers. Journal of Agricultural Engineering Research, 68 4, 399-407.

Solanelles, F., Zanuy, C., Arnó, J., Gràcia, F. y Martínez, E. (2002). Assessment of intermittent control of liquid flow for spray applications using fan nozzles and mist sprinklers. 10th IUPAC International Congress on the Chemistry of Crop Protection. 2002.

Figura 1.

ESQUEMA DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DE REGULACIÓN DE CAUDAL PROPORCIONAL AL AVANCE.

