

Nuevas tecnologías aplicadas a los tratamientos en frutales

Distintas posibilidades que permiten la incorporación de dispositivos electrónicos en los equipos y utilidades

La necesidad de mejorar la calidad de las producciones y de reducir el impacto ambiental de las operaciones de distribución de productos fitosanitarios, junto con la mejora de los equipos electrónicos embarcados está favoreciendo la implantación de nuevas tecnologías en los equipos de pulverización. Del mismo modo, la disminución de los costes de los elementos electrónicos, la reducción de su tamaño, el incremento de su robustez, las mejoras en la interpretación de las pantallas y en la facilidad de uso y, finalmente, la incorporación de interesantes funciones para la pulverización son los factores que han contribuido a que la incorporación de dichos elementos sea hoy una realidad.

Alexandre Escolà Agustí.

Profesor colaborador. Departamento de Ingeniería Agroforestal. Universitat de Lleida.

En el sector de la aplicación de fitosanitarios, los equipos que han incorporado más tecnología han sido los destinados a los tratamientos en cultivos bajos. El hecho de que el objetivo sea distribuir lo más uniformemente posible el producto en la superficie cubierta por el cultivo ha favorecido, sin duda, esta implantación. En cambio, en el campo de la aplicación en plantaciones frutícolas, donde el cultivo es tridimensional y mucho más irregular, la electrónica está irrumpiendo más lentamente.

Las funciones que pueden desempeñar los elementos electrónicos embarcados se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- Funciones de monitorización (**foto 1**): la electrónica se limita a captar la realidad del sistema mediante sensores instalados en la máquina (sensores de presión, sensores de caudal, sensores de nivel, sensores de velocidad, etc.) y a presentarla al operario a través de un monitor o pantalla (presión de pulverización, caudal instantáneo pulverizado, volumen total pulverizado, superficie tratada, volumen pulverizado por hectárea, etc.).

- Funciones de control (**foto 2**): se instalan actuadores en la máquina (electroválvulas, reguladores de presión,



FOTO 1

etc.) para poder modificar los parámetros de pulverización a distancia (presión de pulverización, sectores activos, etc.).

- Funciones de regulación: el sistema va equipado con elementos de monitorización y elementos de control e incorpora algoritmos que permiten una gestión automática de las actuaciones (regulación del caudal emitido en función de la velocidad de avance, de la presencia de vegetación, del volumen de vegetación, etc.).

Las posibilidades que actualmente permite la incorporación de dispositivos electrónicos en los equipos de tratamientos para arboricultura son varias atendiendo a los grupos anteriormente citados:

- Determinación de los parámetros de pulverización de manera previa al inicio del tratamiento en función de los datos introducidos por el operario.
- Información al operario de lo que acontece en su equipo durante la aplicación (monitorización del caudal y/o la presión, velocidad de avance, superficie tratada, nivel del depósito, etc.).
- Detección de problemas y generación de alarmas durante las aplicaciones (obstrucción de boquillas, roturas de conducciones, nivel de caldo en el depósito, velocidad excesiva, etc.).
- Información sobre el resultado del tratamiento (volumen pulverizado, superficie tratada, árboles tratados, presión de trabajo, etc.).
- Control puntual de los elementos actuadores del pulverizador (electroválvulas, regulador de presión, etc.).
- Control automático de la apertura/cierre de los sectores en función de la presencia/ausencia de vegetación.
- Control automático del caudal pulverizado en función del volumen de vegetación.



FOTO 2

FITOSANITARIOS dossier

- Posicionamiento del equipo mediante receptores tipo GPS y generación de mapas de registro para las aplicaciones realizadas.

► Evolución de los equipos de tratamientos para arboricultura

Detección de masa vegetal y pulverización selectiva

Los primeros diseños se realizaron a finales de los años setenta en equipos de aplicación para cultivos bajos y hortícolas. En estos primeros estadios de evolución se desarrollaron sensores de presión, sensores para la detección de vegetación, electroválvulas y elementos electrónicos de decisión. Después de investigaciones y ensayos, llegó el turno de la maquinaria de aplicación para cultivos arbóreos y arbustivos con sus características diferenciales.

En 1986, Porras y otros desarrollan un pulverizador equipado con un sensor infrarrojo para la detección de la vegetación. Dicho sensor consistía en un par emisor-receptor que requería la intercepción del haz infrarrojo entre ambos para actuar. Este tipo de sistemas de detección presentaba graves inconvenientes estructurales en la situación del par emisor-receptor para la detección. Las pruebas realizadas en olivos, dispuestos en distintos marcos de plantación, permitieron ahorrar entre un 39% y un 62% de producto, aunque se registraron errores de funcionamiento en presencia de copas poco densas o no uniformes.

Una alternativa a dichos sistemas fue propuesta en 1987 por Giles y otros en Estados Unidos, quienes desarrollaron un sistema reflectivo a base de detectores ultrasónicos (**foto 3**) para detectar la presencia de árboles frutales. Este tipo de sensores de vegetación, mejorados con los avances tecnológicos correspondientes, son los que se siguen utilizando en la actualidad. En la versión más sencilla, una barra vertical que contenía varios sensores detectaba la presencia del follaje del árbol a diferentes alturas. A partir de los datos obtenidos, se podía estimar la altura del árbol y se accionaban arcos de boquillas independientes que correspondían a las distintas alturas detectadas. Operando de este modo, se redujo el volumen de líquido aplicado entre un 10 y un 17% y entre un 20 y un 27% en plantaciones de melocotón y manzana, respectivamente. Además, este sistema no supuso reducción alguna de la deposición del pesticida en el árbol.

Posteriormente, los mismos investigadores desarrollaron una variante más avanzada del anterior sistema, en la que, mediante un algoritmo más elaborado, los datos de los sensores servían para calcular el tamaño y el centroide del árbol para optimizar la localización óptima y la cantidad de producto a aplicar. Este control incrementó los ahorros obtenidos hasta un 28-34% y 36-52% en melocotoneros y manzanos, respectivamente. Como era de esperar, los ahorros estaban altamente relacionados con las condiciones de las plantaciones (Giles *et al.*, 1989). Así, los ahorros obtenidos disminuían a medida que la uniformidad en tamaño y forma aumentaba y a medida que la proporción de ausencias o de árboles replantados disminuía.

Ya en 1997, los italianos Balsari y Tamagnone diseñaron un prototipo para pulverizar en función de la presencia de vegetación discriminando el árbol en tres alturas. A tal efecto, el pulverizador se equipó con tres sensores por lado que controlaban una electroválvula On/Off cada uno. Además, la máquina incorporaba un radar para determinar la velocidad real de avance y evitar pulverizar a velocidades inadecuadas. Según los autores, se consigue

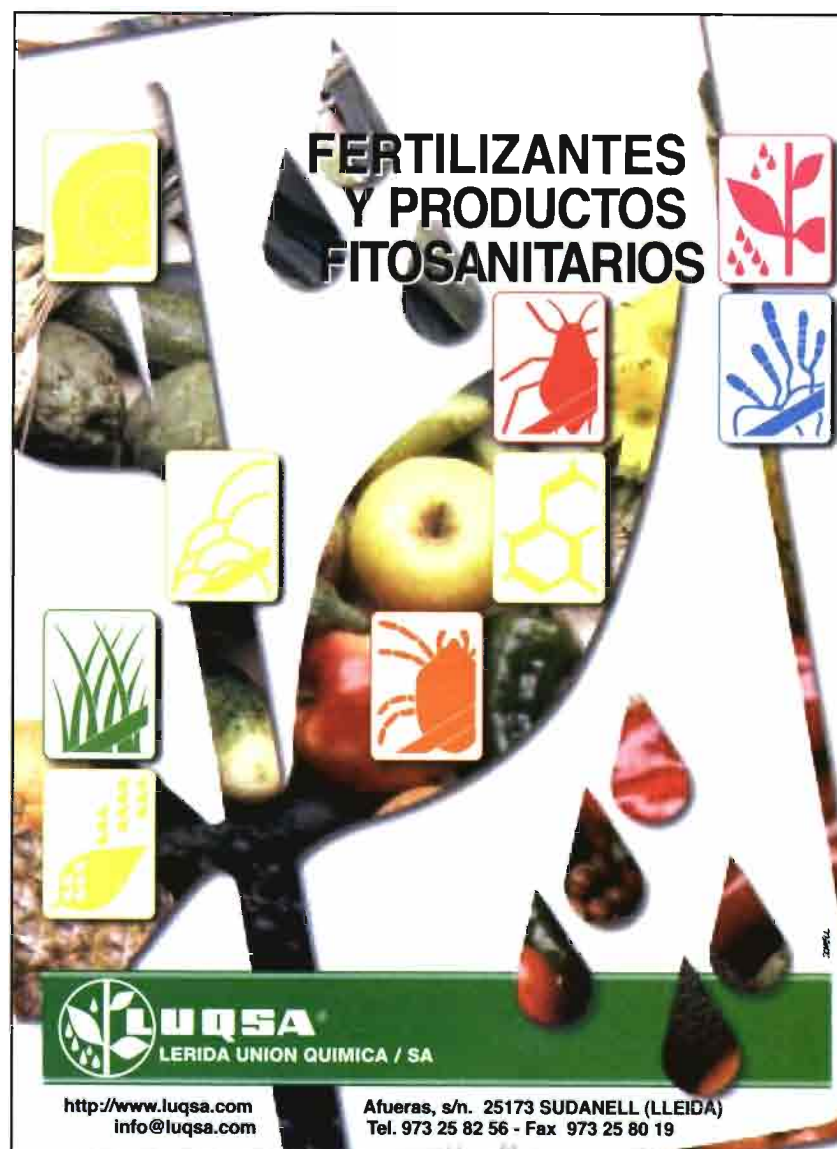
FOTO 3



ron ahorros del 25% respecto a tratamientos en plantaciones intensivas de frutales sin detener la pulverización al final de las filas y de entre un 3 y un 8% respecto a tratamientos tradicionales realizados de forma correcta. Los autores consideraron que el incremento de coste que representaba el embarque del sistema en la máquina podía recuperarse en tres o cinco años.

Pulverización en base a las características de la vegetación

Los sistemas convencionales de aplicación de productos fitosanitarios están normalmente diseñados poniendo gran énfasis



**FERTILIZANTES
Y PRODUCTOS
FITOSANITARIOS**

LUQSA
LERIDA UNION QUIMICA / SA

<http://www.luqsa.com>
info@luqsa.com

Afuera, s/n. 25173 SUDANELL (LLEIDA)
Tel. 973 25 82 56 - Fax 973 25 80 19

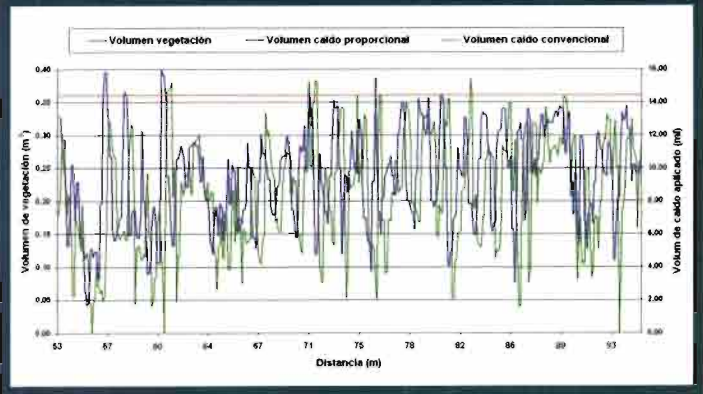
sis en la uniformidad de distribución (vertical y/u horizontal, según el caso) del producto a la salida del pulverizador. Sin embargo, la distribución real de la masa vegetal a tratar puede ser altamente desigual. Mediante el uso de sistemas de detección de la vegetación y el posterior control del caudal del pulverizador es posible localizar el producto en las zonas con presencia de masa vegetal y no aplicar allá donde ésta se halle ausente, como ya se ha descrito, pero también es posible ajustar la dosis a la "cantidad" de vegetación que se presenta al pulverizador. La mayoría de los autores de los sistemas descritos anteriormente ya apuntaban en las conclusiones de sus trabajos la necesidad de caracterizar la vegetación para ajustar más eficientemente el volumen pulverizado. Los sistemas de detección y control en tiempo real aplican una cantidad de producto adaptada a la plantación en el momento de realización del tratamiento. El desarrollo de tales sistemas requiere el uso de sensores, algoritmos y actuadores con unos tiempos de respuesta rápidos y una alta resolución espacial.

En 1999, Martín y col. crearon un modelo de pulverizador capaz de realizar aplicaciones con una cierta proporcionalidad a la vegetación detectada. El funcionamiento del equipo continúa basándose en electroválvulas On/Off que actúan a partir de las señales de los sensores de ultrasonidos. La diferencia radica en la posibilidad de emitir tres caudales distintos: caudal máximo, caudal medio y caudal nulo. El pulverizador responde a la presencia/ausencia de vegetación y, además, discrimina un umbral de vegetación a partir del cual se pasa del caudal medio al máximo y viceversa. Con este sistema, el grupo de investigadores liderado por Moltó (2001) registró ahorros del 37% de producto con respecto a un tratamiento convencional.



FIGURA 1.

Registro de un ensayo de pulverización proporcional a la vegetación con el prototipo diseñado por el Centre de Mecanització Agrària y la Universidad de Lleida que incorpora sensores de ultrasonidos.



La proporcionalidad continua se empezó a conseguir con Rosell y otros en 1996 en una colaboración entre la Universitat de Lleida y el Centre de Mecanització Agrària de la Generalitat de Catalunya. En sus trabajos propusieron un sistema para variar el caudal pulverizado en función del volumen de vegetación. Para conseguir dicha proporcionalidad, se trabajó con electroválvulas proporcionales de solenoide para modificar de manera rápida el flujo emitido por las boquillas. Solanelles, así como también Escolà y otros en 2002, expusieron sus trabajos realizados con pulverización proporcional, continuación de los trabajos de Rosell. Dichos autores construyeron un prototipo capaz de modificar el caudal aplicado desde cero hasta un valor máximo en función de los datos aportados por los sensores de ultrasonidos modificados por una unidad electrónica de control. Los ahorros obtenidos en plantaciones de manzanos, perales y olivos intensivos oscilan entre el 20 y el 65% respecto a un tratamiento convencional. En la **figura 1** se observa el resultado de una aplicación proporcional a partir de la caracterización de la vegetación con sensores de ultrasonidos. Se observa que la curva de volumen de caudal aplicado de forma proporcional a lo largo de la fila sigue la tendencia de la curva de volumen de vegetación aunque con una ligera antelación. La curva roja representa el caudal aplicado de forma convencional. Este tipo de equipos todavía no se encuentran en el mercado.

► Aplicaciones futuras

Caracterización de la vegetación

En la actualidad, los esfuerzos de los investigadores se dirigen hacia una mejor caracterización de la vegetación a partir de otros sensores como pueden ser los basados en radiación láser o en sistemas de visión artificial, estudiando si éstos permiten obtener medidas de la masa vegetal con mayor resolución. La radiación láser ha sido aplicada a la detección y caracterización de especies vegetales mediante los sensores LIDAR (*Light Detection And Ranging*—en castellano, detección lumínica y alcance). Así, Walklate y otros, en 2002 aplicaron esta técnica para la caracterización estructural de plantaciones de manzanos y posterior relación con recomendaciones de dosis de productos fitosanitarios. Tumbo y otros (2002) realizaron un estudio comparativo

Crescal[®]

HIERRO

Si te gusta el verde, te gustará Crescal[®]

Agricultural Products

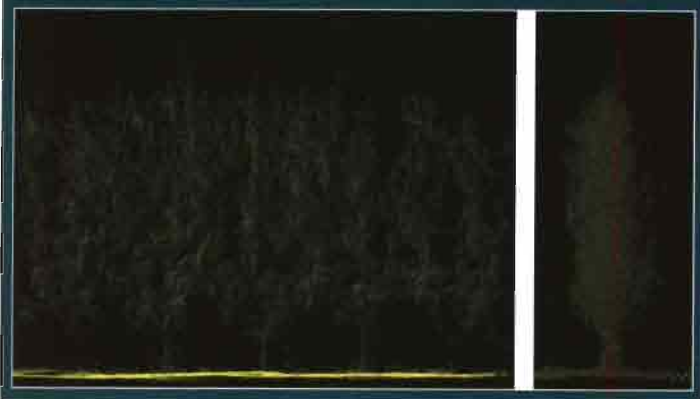
Quelato de Hierro EDDHA 6%
Mínimo 5% orto-orto

 **BASF**

The Chemical Company

FIGURA 2.

Información obtenida mediante el sensor LIDAR en una plantación de perales de la variedad Blanquilla. A la izquierda, vista frontal de una porción de una fila. A la derecha, vista desde el inicio de la fila.



de las prestaciones de los sensores de ultrasonidos y los sensores LIDAR para la medida de las características geométricas de plantaciones de cítricos, comparándolos con métodos manuales de medida. El estudio concluye que ambos sistemas de detección conducen a resultados que concuerdan con las medidas realizadas manualmente, si bien el sistema basado en láser permite una mejor estimación del volumen del árbol que el método basado en ultrasonidos, a causa de su mayor resolución.

La Universitat de Lleida ha realizado ensayos de caracterización de plantaciones frutícolas mediante un sensor LIDAR (Sanz y otros, 2005) y, conjuntamente con el Centre de Mecanització Agrària de la Generalitat de Catalunya, está ultimando la implementación de este sensor en un prototipo de pulverización proporcional (foto 4). Como se observa en la figura 2, los resultados obtenidos con el sensor LIDAR permiten determinar directamente la estructura de la vegetación, su volumen, la superficie foliar y otros datos, y se está trabajando para estimar más parámetros como son la densidad foliar, la "frondosidad" y otros muchos. La posibilidad de instalar este dispositivo en el tractor y registrar datos mientras se realicen las distintas operaciones que requiere la plantación permitiría estudiar la evolución de la vegetación para ajustar mejor las dosis de fitosanitarios. Asimismo, incorporando sensores de posicionamiento global (receptores GPS), sería posible relacionar las lecturas del sensor con las coordenadas donde se han tomado para generar mapas digitales de distribución espacial de variables como el volumen de vegetación y la densidad de vegetación, entre otras, tal como hicieron Schumann y otros en 2005 en Estados Unidos.

Agricultura de precisión

En cuanto a lo conocido como agricultura de precisión, hay que destacar que, tal como se ha descrito, desde los años ochenta ya se está realizando este tipo de agricultura en la aplicación de fitosanitarios con las primeras incorporaciones de sensores en pulverizadores. Concretamente, se trata de agricultura de precisión basada en sensores que trabajan a tiempo real. Actualmente se está investigando intensamente en este campo y debe seguirse estudiando el diseño de nuevas aplicaciones para el ajuste de la dosis en tiempo real.

En la modalidad de agricultura de precisión basada en mapas

digitales de información, todavía queda mucho por hacer en fruticultura. Esta modalidad se basa en la generación de mapas de distribución espacial de variables referentes al cultivo y a la parcela, la interpretación de toda la información generada y, finalmente, la creación de mapas de actuación diferenciada para cada zona que se distinga dentro de la misma parcela. A modo de ejemplo, se podrían hacer mapas de rendimiento, de características del suelo, de relieve de la parcela, de la distribución de plagas, del volumen y frondosidad de la vegetación, etc. para llegar a generar un mapa final de actuación que recomiende una dosis de fitosanitario para cada punto de la parcela. Todavía estamos lejos de integrar todas estas tecnologías en la práctica de la fruticultura. Hace falta mejorar la técnica pero, sobre todo, avanzar en los conocimientos agronómicos que permitan relacionar las causas y los efectos de las distintas variables mapeadas.

Reflexión final

Finalmente, a modo de reflexión, en la agricultura actual no se puede prescindir del uso de los productos fitosanitarios pero sí podemos conseguir minimizar sus efectos nocivos con la formación de los agricultores y con la introducción de las nuevas tecnologías descritas en este artículo. Lamentablemente, debe tenerse en cuenta que la generación actual de agricultores (y también algunos fabricantes) todavía no ha entrado de lleno en las posibilidades que ofrece el mundo de las aplicaciones electrónicas y, algunas veces, es reticente a hacerlo. Por otro lado, también es cierto que las nuevas generaciones de agricultores están cada vez más familiarizadas en el empleo de dispositivos electrónicos domésticos, por lo que tendrán más facilidad en utilizarlos en un ámbito agrario profesional. ■

Referencias documentales

- Balsari P, Tamagnone M. 1997. An automatic spray control for airblast sprayers: First results. *Precision Agriculture* 1997-2. Pp: 619-626.
- Escolà A, Solanelles F, Planas S, Rosell JR. 2002. Electronic control system for proportional spray application to the canopy volume in tree crops. *Eurageng Conference*. Budapest. Paper No. 02-AE-010.
- Giles DK, Delwiche MJ, Dodd RB. 1987. Control of orchard spraying based on electronic sensing of target characteristics. *Transactions of ASAE*. Vol. 30. Pp: 1624-1630,1636.
- Giles DK, Delwiche MJ, Dodd RB. 1988. Electronic measurement of tree canopy volume. *Transactions of ASAE*. Vol. 31. Pp: 264-272.
- Giles DK, Delwiche MJ, Dodd RB. 1989. Sprayer control by sensing orchard crop characteristics: orchard architecture and spray liquid savings. *Journal of Agricultural Engineering Research*. Vol. 43. Pp: 271-289.
- Moltó M, Martín B, Gutiérrez A. 2001. Pesticide loss reduction by automatic adaptation of spraying on globular trees. *Journal of Agricultural Engineering Research*. Vol. 78(1). Pp: 35-41.
- Porras A, Gomez J, Arnal JM, Tobes B, Lorite S. 1986. Mejoras producidas por la electrónica en las máquinas de pulverización. 2º *Symposium Nacional de Agroquímicos*. Sevilla. Pp: 378-388.
- Rosell JR, Nogués A, Planas S. 1996. An experimental selective orchard spraying system based on the electronic control of applied flow rate. *Eurageng Conference*. Madrid. Paper. No. 96A-120.
- Sanz R, Llorens J, Ribes-Dasi M, Masip J, Arnó J, Vallés JM, Escolà A, Masana P, Camp F, Palacín J, Solanelles F, Gil E, Planas S, Val L, Rosell JR. 2005. First results of a non-destructive LIDAR system for the characterization of tree crops as a support for the optimization of pesticide treatments. *VIII Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing*. Actas del congreso. Barcelona.
- Schumann AW, Zaman QU. 2005. Software development for real-time ultrasonic mapping of tree canopy size. *Computers and Electronics in Agriculture*. Vol. 47. Pp: 25-40.
- Solanelles F, Planas S, Escolà A, Rosell JR. 2002. Spray application efficiency of an electronic control system for proportional application to the canopy volume. *Aspects of Applied Biology*. Vol. 66. Pp: 139-146.
- Tumbo SD, Salyani M, Whitney JD, Wheaton TA, Miller WM. 2002. Investigation of laser and ultrasonic ranging sensors for measurements of citrus canopy volume. *Applied Engineering in Agriculture*. Vol. 18(3). Pp: 367-372.
- Walklate PJ, Cross JV, Richardson GM, Murray RA, Baker DE. 2002. Comparison of different spray volume deposition models using LIDAR measurements of apple orchards. *Biosystems Engineering*. Vol. 82(3). Pp: 253-267.