SISTEMAS DE PRECISIÓN EN LA PROTECCIÓN DE CULTIVOS

Tratamientos fitosanitarios de precisión

Santiago Planas de Martí (Servicio de Sanidad Vegetal. Generalitat de Catalunya. Grupo de Investigación en Agricultura de Precisión - Agrotecnio - Universidad de Lleida).

Se revisa en este artículo la situación de los tratamientos fitosanitarios de precisión en su doble acepción. En primer lugar, entendidos como parte relevante de la denominada agricultura de precisión, tercera revolución tecnológica acontecida a continuación de la revolución verde y de la aplicación de la ingeniería genética a la agricultura. En segundo lugar, se describen los tratamientos de precisión entendidos como aplicación de productos fitosanitarios de forma precisa, utilizando las técnicas de pulverización más avanzadas disponibles.

Los tratamientos fitosanitarios de precisión (TFP) son la plasmación de los principios de la agricultura de precisión (AP) al control químico de las plagas, enfermedades y malas hierbas. Necesitan de la previa localización espacial de las alteraciones sanitarias, del análisis de la variabilidad y, finalmente, de la ejecución precisa del tratamiento: lugar y dosis ajustados y mínimos riesgos personales y ambientales.

Los TFP sintonizan plenamente con los criterios del uso sostenible de los productos fitosanitarios. Su empleo es aún incipiente, pero podemos intuir que en los próximos años vamos a ser testigos de su fuerte expansión. El detonante ha sido, sin duda, la irrupción en la agricultura de los sistemas de información geográfica (GIS) y de navegación global por satélite (GNSS), junto a los sensores para la detección próxima o remota y los sistemas de aplicación de dosis variable (VAR).

Son distintos los factores que a escala global están potenciando la precisión en los tratamientos fitosanitarios. En buena parte, los esfuerzos por contener el consumo global de productos fitosanitarios y los costes de producción. Por ello, desde principios de siglo, estos sistemas y dispositivos se vienen embarcando en tractores y máquinas agrícolas para la gestión de la variabilidad a escala micro y, más recientemente, en plataformas de navegación aérea, particularmente en drones o vehículos aéreos no tripulados – *unmanned aerial vehicles* (UAV).

También el interés por los TFP va aumentando en la medida que van surgiendo nuevas aplicaciones. Por ejemplo, en las últimas conferencias de la Sociedad Internacional de Agricultura de Precisión (www.ispa.org) (2012-16), bajo el epígrafe 'precision crop protection' (www.ispag.org/proceedings/?&action=topics), se han presentado interesantes aplicaciones como:

- Los sistemas de compensación de las variaciones de velocidad operativa en los tratamientos aéreos o en la desinfección de suelos.
- El ajuste de la dosis al contenido de materia orgánica y la textura del suelo en tratamientos herbicidas de preemergencia.
- El control fungicida a dosis proporcional a la masa vegetativa en cereales de invierno.
- La dosificación variable de herbicidas en el desecado de plantas de patata.

Imagen 1. Página de inicio del sistema DOSA3D, próximamente en servicio, para la optimización de las dosis en tratamientos de cultivos arbóreos (Proyecto AgVance-UdL).

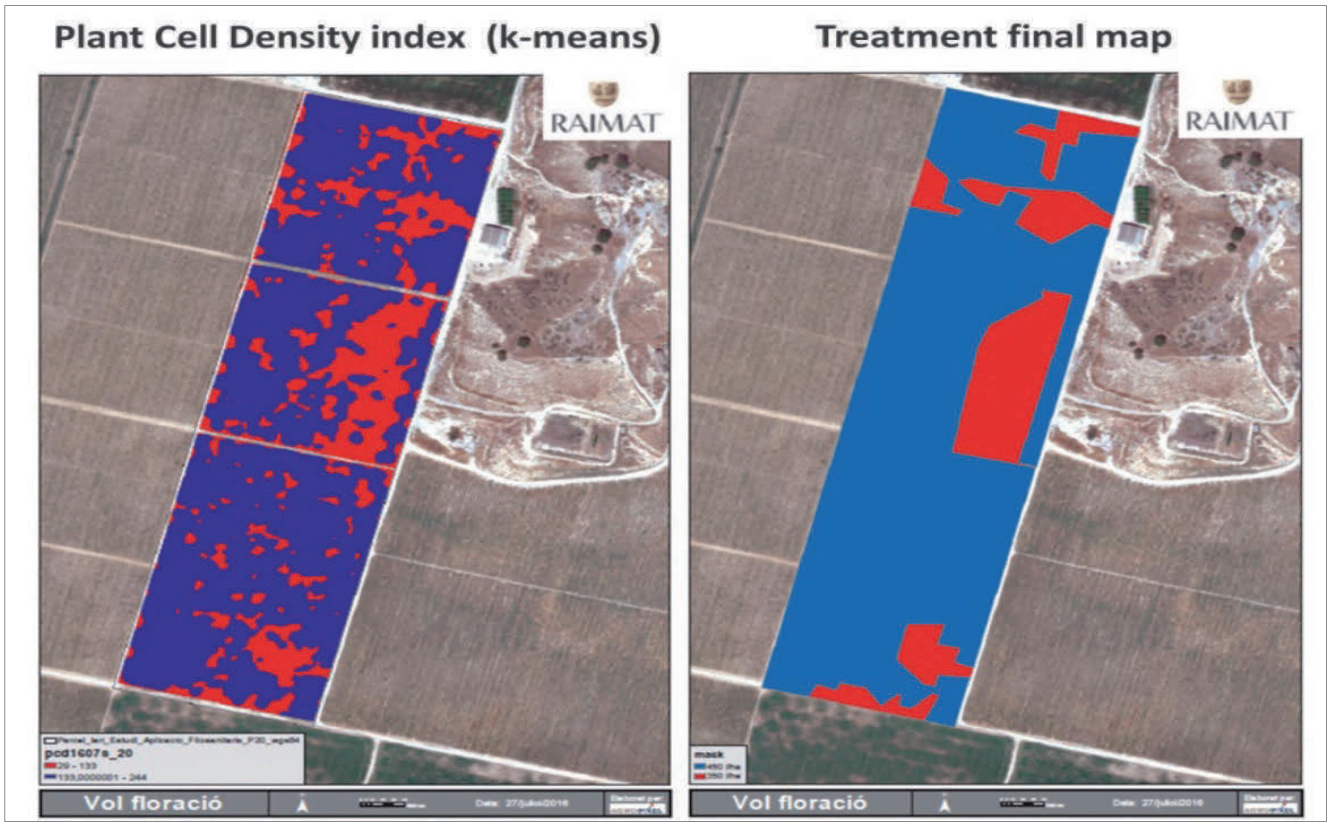

Imagen 2. Tratamiento zonal en viñedo. Mapa expresando las clases de vigor (rojo, menor/azul, mayor) según el índice PCD (izquierda) y zonificación final para el tratamiento a dosis ajustada a cada clase (derecha) (Agropixel SL).

Igualmente, en la 11 Conferencia Europea sobre Agricultura de Precisión, celebrada este verano en Edimburgo, se presentaron interesantes avances sobre TFP:

- Mejoras en la detección de flavescencia en viñedo a partir de imágenes multiespectrales;
- La aplicación variable de reguladores de crecimiento en cereales de invierno a partir del procesado de imágenes de satélite.
- Avances en el empleo de sensores de ultrasonidos para dimensionar el volumen y la densidad de copa en viñedos y frutales.

Sobre el manejo preciso de la sanidad de los cultivos, disponemos una obra colectiva de consulta muy recomendable si se desea conocer la situación actual y los desarrollos previsibles (Oerke y col, 2010). Podemos intuir que el ámbito de los TFP irá ampliándose hasta alcanzar todos los usos de los productos fitosanitarios, si bien, cuando no exista alternativa razonable, se continuará recurriendo a la lucha química, pero siempre de forma segura y precisa. Veamos a continuación algunos casos que apuntan en este sentido.

Detección remota

Hoy en día la teledetección nos permite localizar síntomas, pre-diagnosticar y delimitar las áreas afectadas por las plagas. Este es el caso, por ejemplo, de los mapas de afectación por la flavescencia dorada del viñedo, citada anteriormente, o por infecciones fúngicas en cereales, particularmente en trigos.

Para conocer un poco más a fondo las amplias posibilidades de la teledetección de enfermedades, es recomendable la lectura del trabajo publicado por la doctora A.K. Mahlein (2016), investigadora de la Universidad de Bonn. En nuestro entorno más próximo, sin pecar de optimistas, cabe esperar que en un futuro no lejano la teledetección se convierta en un instrumento facilitador en la prospección de dos problemas sanitarios de envergadura como el fuego bacteriano, *Erwinia amylovora*, y la *Xylella fastidiosa.*

Tratamientos de precisión

Capítulo aparte merecen los sistemas de aplicación precisa de productos fitosanitarios cuyo objetivo no es otro que la aplicación a la justa medida de las necesidades de control. Su consecución requiere de cuatro fases consecutivas:

a) Detección y dimensionado del objetivo a tratar
b) Manejo y análisis de la información
c) Toma de decisiones
d) Actuación inteligente sobre el equipo de tratamientos

La etapa de detección requiere emplear sensores apropiados y gestionados por sistemas de control automatizado. Así, desde hace años, los sensores de infrarrojos o las cámaras de visión vienen siendo útiles en el tratamiento selectivo con herbicidas *-patch spraying-* (Miller, 2003). Entre las diferentes soluciones disponibles en el mercado destacan en el ejercicio de dicha función selectiva el sistema WeedSeeker®, de Trimble, y AmaSpot®, de Amazone.

Imagen 3. Cabezal compuesto por cuatro boquillas con apertura y cierre individualizado, controlado por GPS. Permite también seleccionar automáticamente la boquilla operativa para adaptar la pulverización a los cambios en las condiciones operativas *(AmaSelect*–Amazone*)*.

También, por su reducido coste, los sensores de ultrasonidos son muy útiles en funciones simples de detección (presencia) de cultivo, pero también en funciones más complejas como el dimensionado y la estimación de la densidad de la copa en formaciones arbóreas (Pallejà y col., 2017). Otros sensores más evolucionados, como el LIDAR, están capacitados para registrar información con un elevado nivel de detalle y precisión (Rosell y col., 2009, Sanz y col. 2013). Dicha información es utilizada a posteriori, entre otras funciones, para adaptar el equipo de tratamientos a la arquitectura de la plantación o para gestionar la heterogeneidad, aplicando dosis variables, ajustadas a cada sitio (Escolà y col., 2013).

En los últimos años, utilizando sensores LIDAR se han caracterizado de forma sistemática un número considerable de plantaciones frutales y viñedos. Ello ha conducido al establecimiento de un modelo de estimación de la superficie foliar de plantaciones (LAI) y al cálculo del volumen de caldo y la dosis optimizada en la pulverización en este tipo de cultivos (Planas y col. 2013).

Este modelo constituye la base del sistema Dosafrut (www.dosafrut.es) y de su versión más evolucionada, denominada DOSA3D (Imagen 1), que en breve estará a disposición de asesores y agricultores (Planas y Roman, 2016). Se trata de una verdadera herramienta para la toma de decisión *-decision support systems-* propia de la tercera fase anteriormente mencionada.

Comentario aparte merecen los sistemas de visión multiespectral embarcados en satélites o en los distintos tipos aeronaves, incluyendo los drones. Procesando las imágenes captadas es posible estimar el vigor (entendido como dimensión o desarrollo vegetativo) de las plantas a tratar. Se emplean para ello diferentes índices como el de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y el de densidad celular de la vegetación (PCD). En las parcelas a tratar, a partir de los valores individualizados de estos índices de vigor, se delimitan zonas de desarrollo homogéneo para la posterior gestión diferenciada de la dosis (Imagen 2).

En Raïmat (DO Costers del Segre), a lo largo de varias campañas sucesivas, se viene utilizando esta metodología con resultados exitosos. Cada año se practican dos vuelos para la toma de imágenes de los viñedos, uno en floración y otro al inicio del envero. Procesando las imágenes, se delimitan zonas según dos clases de vigor (alto y bajo) y se establecen las dosis a las que se trataran las diferentes zonas. Así, por ejemplo, en zonas de bajo vigor se han practicado tratamientos a dosis inferior en un 24% en relación a la dosis aplicada en las zonas de alto vigor (dosis proporcional al desarrollo vegetativo). En principio ello no pone en entredicho la eficacia del tratamiento ya que la deposición de producto fitosanitario sobre el objetivo tratado es equivalente para ambos casos (Roman y col., 2017).

En este contexto, la reciente puesta en servicio por parte de la Agencia Espacial Europea (ESA) del sistema satelital sentinel-2 (https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2) propiciará el surgimiento de nuevos servicios avanzados para la protección de los cultivos. Sentinel-2 está integrado por dos satélites que comparten órbita pero en posición debidamente desfasada para disponer de imágenes de la misma zona, cada dos o tres días en nuestras latitudes, con una resolución de hasta 10 m en las bandas visible e infrarroja cercana. Haciendo gala a su nombre de pila, Sentinel-2 llega para ejercer de verdadero vigía de los cultivos.

Tratamientos a dosis variable y sistemas de inyección directa

La aplicación de fitosanitarios a dosis adaptada a la variabilidad espacial es hoy una realidad tangible gracias a la actuación conjunta de sensores, sistemas de navegación GNSS y modernos equipos de tratamientos de inyección directa. En parcelas de cultivo de bajo porte (cereales, forrajes, hortícolas), mediante este tipo de implementación se adecúan las dosis con una resolución de 5 a 50 m^2. En un futuro no lejano, es previsible que se alcancen resoluciones inferiores a 1 m^2 y, de esta forma, que se dosifique casi a nivel de planta (Been y col., 2014).

Los sistemas de inyección directa requieren de la instalación de depósitos separados para el agua y el producto fitosanitario y de doble línea de distribución hasta las boquillas. En tiempo real, justo antes de las boquillas, se procede a la mezcla a la concentración idónea a la dosis. Con ello, se consigue reducir el consumo total de producto fitosanitario y también evitar los residuos contaminantes en el equipo de tratamientos. Utilizando esta tecnología, en Alemania, recientemente se han alcanzado resultados muy prometedores en tratamientos herbicidas sobre trigo de invierno (Pohl y col., 2017).

Control individual de boquillas

Otro instrumento de los TFP lo constituyen los sistemas de control individualizado para cada tipo de boquilla. La barra viene a disponer de múltiples secciones adyacentes de 50 cm de longitud, permitiendo la gestión del tratamiento en bandas de dicha anchura. Adicionalmente, si la barra está equipada con cabezales multiboquilla, en todo momento y de forma automática, se puede seleccionar el tipo de boquilla más adecuado. Asociando estos sistemas a la señal GPS puede ajustarse el caudal pulverizado a las variaciones de la masa vegetativa.

También se hacen factibles otras interesantes prestaciones como la adecuación de la boquilla al tipo de producto aplicado (boquilla de abanico / boquilla cónica), al riesgo de deriva existente en cada momento o a funciones especiales como el tratamiento de lindes y de bandas de seguridad (boquilla de reducción de deriva). Los sistemas AmaSelect® y AmaSwitch® de Amazone son pioneros en esta línea innovadora (Imagen 3).

Adicionalmente, los sistemas de boquillas pulsantes a frecuencia variable permiten variar el caudal pulverizado, adaptándolo a la variabilidad vegetativa, sin que por ello se vea alterada la dimensión de las gotas y, viceversa, adaptar la dimensión de las gotas al nivel de riesgo de deriva, sin que se vea alterado el volumen unitario de caldo aplicado (L/ha). Este sería el caso, por ejemplo, de los dispositivos Dynajet® y e-ChemSaver® fabricados por TeeJet.

Drones – *Unmanned Aerial Vehicles (UAV)*

No podemos cerrar el capítulo de los TFP sin hablar de las plataformas aéreas no pilotadas (drones) que desde hace años vienen operando sobre cultivos de bajo porte, fundamentalmente arroz, en países como Japón, China y Corea del Sur en los que, precisamente, se localizan las principales industrias de dicho subsector aeronáutico.

Los drones aventajan en escenarios donde los tratamientos son difícilmente abordables con medios terrestres o aéreos convencionales. Pueden tratar pequeños espacios y aproximarse al objetivo para localizar el producto fitosanitario al objeto de maximizar la eficacia (Imagen 4). Son útiles para tratar pequeñas parcelas, rodales *(spot spraying)* e individuos aislados (por ejemplo, en el control del picudo en palmeras o de bolsas de procesionaria en pinos). También pueden tener interés en la creación de cordones sanitarios. Mediante sistemas de autoguiado, los drones se adaptan al vuelo programado y al tratamiento inteligente (posición y dosis controladas).

Sin embargo, los drones adolecen de importantes limitaciones pendientes de resolver. La carga máxima *(payload)* y la autonomía de vuelo están muy limitadas y no solucionan convenientemente la penetración de la pulverización al interior de los cultivos arbóreos. Asimismo, no están exentos de los riesgos personales y ambientales comunes a los distintos medios de aplicación de fitosanitarios, a los que cabe añadir los propios de la navegación aérea.

Según la instrucción reciente recibida de la DG SANTE (octubre 2017), a todos los efectos, los tratamientos con drones deben considerarse como tratamientos aéreos y, consecuentemente, deben someterse a las prescripciones de la Directiva 2009/128/CE y el RD 1311/2012. Por otra parte, con independencia de su función, el uso de los drones está limitado por la reglamentación vigente sobre aviación civil, circunstancia que conlleva ciertas restricciones de empleo.

Imagen 4. Tratamiento experimental en viñedo con dron volando a una distancia muy próxima al objetivo (Planas, junio 17).

Sin embargo, su potencial técnico hace prever que en los próximos años los drones irán tomando mayor protagonismo, incluso en Europa. Es por ello que los reguladores ya han tomado cartas en el asunto. Sirva como ejemplo la reciente decisión del Comité Técnico de Normalización de Maquinaria Agrícola (ISO TC23) de redactar la norma internacional que establecerá los requisitos de seguridad que deberán cumplir los drones y sus equipos embarcados para su empleo en la ejecución de tratamientos fitosanitarios.

Agradecimientos: Parte de la información vertida en este artículo procede de los proyectos AgVance (AGL2013-48297-C2-2-R) y EUCLID (www.euclidipm.org) (H2020 GA N-633999).

BIBLIOGRAFÍA

Been T, Evert FV, Kempenaar C (2014) Use of vegetation indices in variable rate application of potato haulm killing herbicides. Proc. 12th Int. Conf. Prec. Agric. Sacramento (CA).

Escolà A, Rosell-Polo JR, Planas S, Gil E, Pomar J, Camp F, Llorens J, Solanelles F (2013) Variable rate sprayer. Part 1 – Orchard prototype: Design, implementation and validation. Computers and Electronics in Agriculture 95:122–135.

Mahlein AK (2016) Plant disease detection by imaging sensors- Parallel and specific demand for precision agriculture and plant phenotyping. Plant diseasese. (Feb)241-251.

Miller PC (2003) Patch spraying: future role of electronics in limiting pesticide use. Pest Manag. Sci. 59(5):566-74.

Oerke EC, Gerhards R, Menz G, Sikora RA (eds.) (2010) Precision crop protection - the challenge and use of heterogeneity. Springer. 449 pp.

Pallejà Cabre T, Llorens J, Landers AJ (2017) Measuring crop canopy – the development of a dynamic system for precision fruit crop spraying. Proc. 11th Eur. Conf. Prec. Agric. Edimburg (UK), pp. 250-254.

Planas S, Camp F, Escolà A, Solanelles F, Sanz R, Rosell-Polo JR (2013) Advances in pesticide dose adjustment in tree crops. Proc. 9th Eur. Conf. Prec. Agric. Lleida (ES) pp. 533-540.

Planas S, Román C (2016) Hacia un nuevo sistema de expresión de la dosis en tratamientos de cultivos 3D (frutales y viñedo). Phytoma España 253:54-58.

Pohl J, Rautmann D, Nordmeyer H, von Hörsten D (2017) Site-specific application of plant protection products in Precision Farming by direct injection. Proc. 11th Eur. Conf. Prec. Agric. Edimburg (UK), pp. 255-258.

Román C, Planas S, Esteve J (2017) Adjusting spray volume rates to the canopy vigour from aerial images in a vineyard. Proc. Suprofruit'2017. Hasselt (BE).

Rosell JR, Llorens J, Sanz R, Arnó J, Ribes-Dasi M, Masip J (2009). Obtaining the three-dimensional of tree orchards from remote 2D terrestrial LIDAR scanning. Agricultural and Forest Meteorology 149, 1505–1515.

Sanz R, Rosell JR, Llorens J, Gil E, Planas S (2013). Relationship between tree row LIDAR-volume and leaf area density for fruit orchards and vineyards obtained with a LIDAR 3D Dynamic Measurement System. Agricultural and Forest Meteorology 171/172, 153-162.