

AGRICULTURA DE PRECISIÓN Y PROTECCIÓN DE CULTIVOS

Precision crop protection

Santiago Planas de Martí, Dr. Ing. Agr

Investigador del Servicio de Sanidad Vegetal de la Generalidad de Cataluña y profesor del Grupo de Investigación en Agricultura de Precisión. Universidad de Lleida, Cataluña (España).
Contacto: santiplanas@gencat.cat, santiago.planas@udl.cat

Resumen

En este artículo se revisan la situación actual y las potencialidades de las técnicas de la agricultura de precisión en el ámbito de la protección fitosanitaria de los cultivos. Para ello, se hace referencia a las técnicas de teledetección, mapeado y manejo de la variabilidad. También se describen someramente algunos casos de éxito referidos a técnicas validadas permitiendo ajustar la dosis de producto fitosanitario. Finalmente, se presentan las posibilidades que ofrecen los drones en la protección sanitaria de los cultivos y, particularmente, en la pulverización precisa de productos fitosanitarios.

Palabras clave: precisión, sensores, detección, plagas, productos fitosanitarios, dosis, drones.

Abstract

This article reviews the current situation and the potential for precision agriculture techniques in the field of crop protection. It discusses remote sensing, mapping and variability management techniques. It also briefly describes some success cases regarding validated techniques for dose adjustment in crop protection products. Finally, it discusses the possibilities offered by drones in crop protection, particularly their use in precise pesticide spraying.

Key words: precision, sensors, detection, pests, pesticides, doses, drones.

Introducción

La agricultura de precisión, *precision farming*, constituye una nueva forma de gestión de los cultivos. Parte de la observación y medida de la variabilidad en parcela y prosigue con el procesado de la información y la toma de decisiones avanzadas que afectan las principales operaciones de cultivo. Sus resultados se concretan en el incremento de los rendimientos, la optimización del consumo de insumos (agua de riego, fertilizantes y fitosanitarios), la disminución de los costes operativos y, como consecuencia de todo ello, la mejora de los beneficios económicos de las empresas agrarias.

Además, la práctica de la agricultura de precisión suele reportar mejoras en la seguridad de los trabajadores agrícolas y de las personas ubicadas en las proximidades de las parcelas de cultivo (población diseminada y transeúntes) y también, una mayor prevención de los riesgos de contaminación ambiental.

La agricultura de precisión es un instrumento que, sin duda, nos ayudará a avanzar en el camino de la sostenibilidad de la agricultura y la mejora de la situación económica y social del entorno rural.

Bases de la agricultura de precisión

El desarrollo de la agricultura de precisión ha sido posible con la aparición de diferentes tipos sensores de visión, embarcados sobre vehículos terrestres o aeronaves y con capacidad de adquirir una gran cantidad de información sobre variables de distribución espacial. La información adquirida es convenientemente procesada, incluso en tiempo real, con el objeto de adecuar los parámetros de las operaciones de cultivo como la siembra, la fertilización, el riego, la aplicación de herbicidas, los tratamientos fungicidas e insecticidas y la cosecha.

Todo ello debe traducirse después en la dosificación variable de los diferentes insumos en función de las necesidades específicas de cada zona analizada y, consecuentemente, en un ahorro sustancial.

Sin embargo, no en todos los casos, los beneficios de la agricultura de precisión son los esperados. De una parte, su implementación supone una inversión importante en tecnología y personal especializado que no siempre es asumible, cuanto menos a corto plazo. Asimismo, en determinados escenarios, puede suceder que –en la práctica– el ahorro de insumos sea muy reducido o inexistente.

La economía de escala es determinante en muchos casos, haciendo rentable la agricultura de precisión solamente a partir de determinada dimensión. Lo que es aplicable en grandes fincas también puede ser técnicamente viable en fincas medianas o pequeñas, pero podría no ser económicamente justificable. Asimismo, los posibles beneficios sobre la seguridad de las personas y el medio ambiente no son siempre cuantificables y, cuanto menos, cuantificables.

Nos encontramos pues en la fase de implementación de la agricultura de precisión y de clarificación y justificación de las circunstancias que la hacen técnicamente viable, económicamente rentable y socialmente interesante.

La práctica actual

La agricultura de precisión viene utilizándose desde hace dos décadas en regiones de agricultura avanzada en las que abundan parcelas de gran dimensión destinadas al monocultivo de cereales, maíz, forrajes o plantas industriales. En estos escenarios, el manejo de la variabilidad del cultivo en la parcela es inabordable, a no ser que se recurra a las tecnologías actuales de adquisición y manejo masivo de la información.

También, las grandes plantaciones de cultivos leñosos que se están extendiendo en Colombia, Perú, Brasil y Chile, entre otros países latinoamericanos, constituyen un ámbito para la implementación de la agricultura de precisión. Nos referimos expresamente a las zonas de cultivo extenso de piña tropical, aguacate, mango y café, entre otras especies productivas.

Todo ello es extensivo, en otras regiones del mundo, a la producción de frutas como manzana, pera, durazno, almendra y, por descontado, al viñedo. En estos escenarios, la agricultura de precisión se está viendo muy favorecida gracias a la intensificación y a la tendencia generalizada a la formación en seto o espaldera.

En todos estos cultivos, las técnicas de la agricultura de precisión pueden conducir a incrementar sensiblemente los rendimientos y la calidad del producto, lo cual suele revertir en un mejor posicionamiento de las empresas en el mercado.

Un ejemplo relevante lo constituye la fruticultura mediterránea donde suelen transcurrir largos períodos de escasez de agua que pueden desembocar en tensiones entre la demanda del regadío, la de otros sectores productivos y el abastecimiento de la población. En estas circunstancias, puede resultar muy beneficiosa la incorporación de las técnicas de precisión en la práctica del riego de grandes superficies, comportando importantes ahorros en el consumo de agua.

Igualmente, se está vislumbrando el enorme potencial que ofrece la agricultura de precisión aplicada al control de plagas, enfermedades y malas hierbas. Bajo la denominación de protección precisa de los cultivos (*precisión crop protection*) se incluyen, de momento,

la detección remota (síntomas y presencia de malas hierbas) y los tratamientos fitosanitarios de precisión.

Mapeado de cultivos

Hoy en día disponemos de mapas digitalizados que incorporan distintas capas de información sobre vigor del cultivo (Figura 1) y también sobre la localización de algunas especies invasoras (de Castro et al., 2017). Los mapas se confeccionan mediante el procesamiento de la información georeferenciada obtenida con los sensores embarcados en aeronaves y pueden ser transferidos a los usuarios finales, a las pocas horas de la obtención de las imágenes, a través de servicios de Internet. Dicha información suele acompañarse de recomendaciones específicas para la gestión optimizada de insumos en las parcelas mapeadas.

Por el momento, las imágenes se obtienen generalmente mediante cámaras embarcadas en drones o avionetas. No obstante, en un futuro próximo, se dispondrá también de imágenes de alta resolución captadas desde satélites a un costo accesible para los usuarios finales. Un servicio pionero en este ámbito lo constituye el reciente programa europeo Sentinel-2 (<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>).

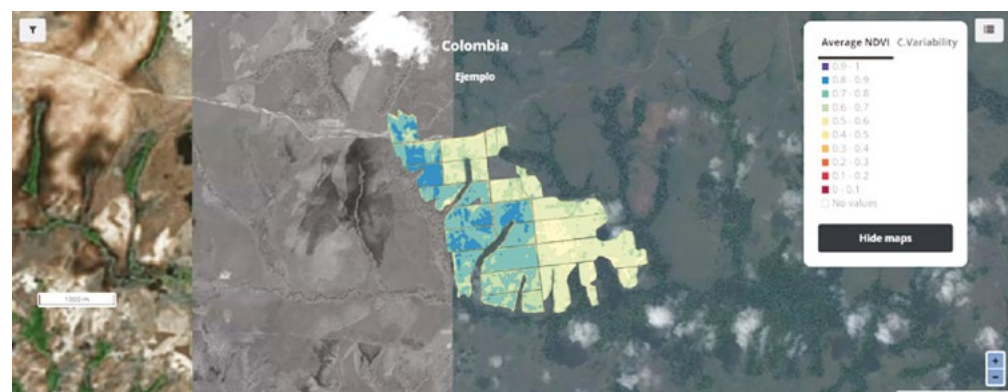


Figura 1. Mapa de vigor basado en el índice NDVI de una zona de cultivo de palma perteneciente al Departamento de Meta – Colombia (e-stratos <http://e-stratos.eu/>)

Uso de sensores en el control de plagas

La detección de enfermedades mediante distintos tipos de sensores lumínicos o térmicos ha experimentado notables avances en los últimos años (Mahlein, 2016). Dichos sensores pueden ser instalados en aeronaves para la detección remota de alteraciones de los cultivos. La información adquirida, convenientemente georeferenciada, permite la confección de mapas de infección y, en ocasiones, la delimitación de focos a tratar, evitando tratamientos generales del cultivo

y propiciando la reducción de las necesidades de producto fitosanitario con el que tratar (*site-specific application, SSA*).

En este ámbito, recientemente se han llevado a cabo ensayos pioneros en España de evaluación de la calidad de los tratamientos mediante dron para el control en rodales afectados por pircularia (*Pyricularia oryzae*), una de las enfermedades fúngicas que ocasiona mayores pérdidas en la producción de arroz en España (Figura 2).



Figura 2. Detección mediante dron de rodales afectados por pirculariosis en arrozales. Las fotografías inferiores muestran la visión real. A la derecha, la modificada en gris donde se distingue claramente la zona de mayor afectación en la parcela de la izquierda (Planas, 2018).

Adicionalmente, el estudio asociado de la evolución de síntomas y los datos climáticos locales permite generar modelos dinámicos de las enfermedades y plagas. Nuevamente, la ubicación de la información en servicios de Internet abre la posibilidad al establecimiento de estrategias conjuntas de control preventivo y curativo en amplias zonas de monocultivo. De ello también existe experiencia en el mundo, constituyendo la base de los servicios oficiales de alerta fitosanitaria en cultivos herbáceos o leñosos.

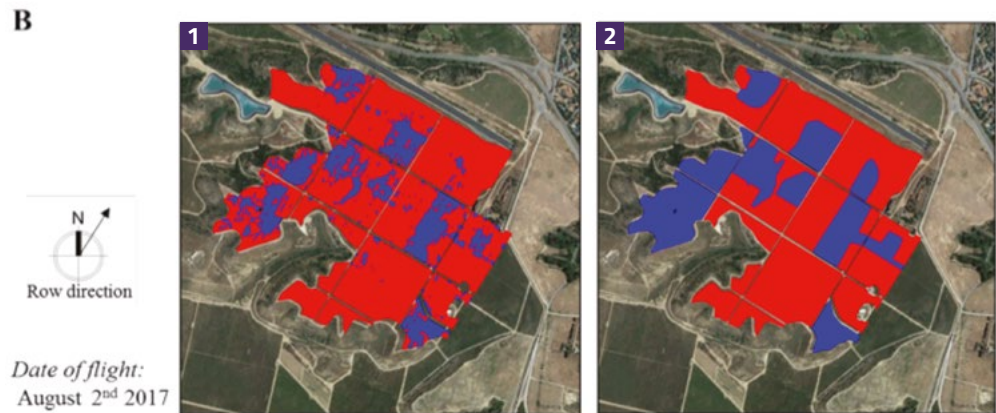
El segundo gran ámbito de empleo de los sensores en la sanidad de cultivos es el del ajuste de la dosis al

vigor de la vegetación a tratar (*variable application rate, VAR*). El objetivo no es otro que reducir sensiblemente las cantidades de producto consumidas.

Las recientes experiencias de control del ácaro amarillo del viñedo, *Eotetranychus carpini*, plaga muy frecuente en diferentes regiones vitícolas, ofrecen resultados muy prometedores. Los trabajos han consistido en la delimitación previa de las zonas a tratar según clases de vigor (alto y bajo) (Figura 3).

Cada clase de vigor es tratada a una dosis proporcional a la superficie foliar (índice de área foliar, *LAI*). Así, las

Figura 3. Mapa expresando dos clases de vigor a partir del índice PCD (1) y mapa adaptado a la aplicación de dosis zonal (2). Las zonas de alto vigor se expresan en azul y las de bajo vigor en rojo. La imagen corresponde a un viñedo de más de 60 ha de superficie ubicado en Raimat, España (Román y Planas, 2018).



zonas de bajo vigor reciben una dosis netamente inferior a las de alto vigor. En el caso estudiado, un 24 %. Sin embargo, tanto la disposición de producto fitosanitario sobre el objetivo como la eficacia del tratamiento se han mantenido al mismo nivel que el alcanzado en las zonas de alto vigor (Román y Planas, 2018).

También es posible la aplicación variable de fitosanitarios a partir de la información procedente de sensores asociada con los modernos sistemas de navegación GNSS (*Global Navigation Satellite System*) y

con los actuales equipos de tratamientos de inyección directa (Pohl et al. 2017). En parcelas de cultivo de bajo porte (cereales, forrajes, hortícolas), mediante esta implementación, se adecúan las dosis con una resolución de 5 a 50 m². En un futuro no lejano, es previsible que se alcancen resoluciones inferiores a 1 m² y, de esta forma, se dosifique casi a nivel de planta (Been et al., 2014).

En la Figura 4 se esquematizan las diferentes etapas que intervienen en los tratamientos de precisión mencionados.

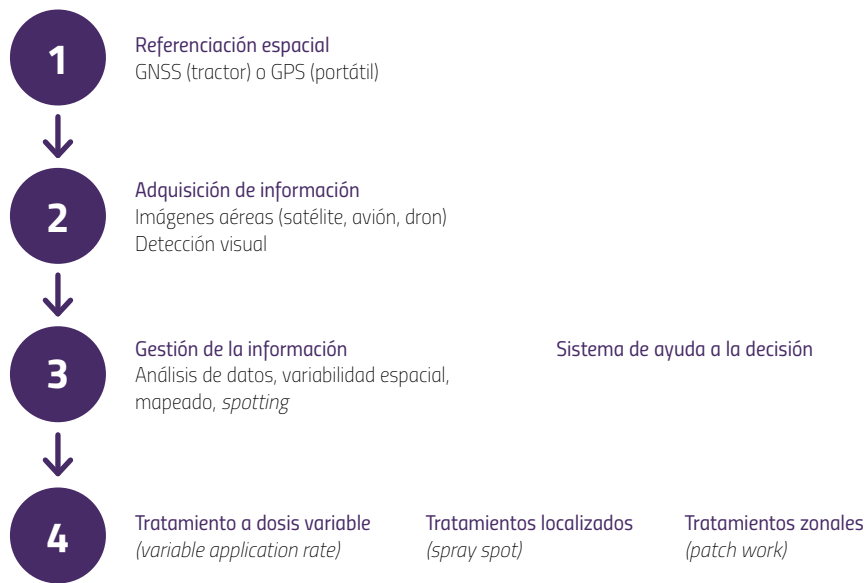


Figura 4. Cultivos.
Fuente: elaboración propia.

Tratamientos fitosanitarios de precisión. Casos de éxito

Spot spraying. En otras circunstancias, también se han mostrado altamente efectivos los sensores de infrarrojos o las cámaras de visión para el tratamiento

selectivo con herbicidas (Miller, 2003). Entre las distintas alternativas, actualmente disponibles para el ejercicio de dicha función selectiva, destacan los sistemas AmaSpot® de Amazonen o WeedSeeker® de Trimble Ag (Figura 5).

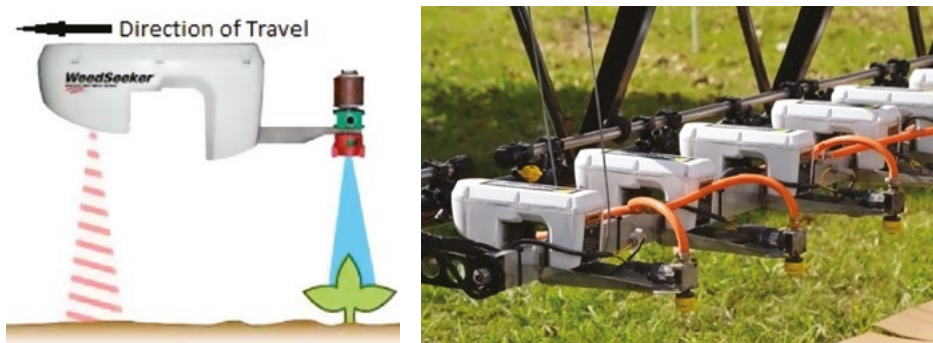


Figura 5. Esquema del sistema WeedSeeker® para la aplicación selectiva de herbicida a partir de la detección de malezas mediante sensor IR (Trimble Ag – Trimble Navigator Ltd).

Control individual de boquillas. Otro instrumento de los tratamientos de precisión lo constituyen los sistemas de control individual de boquillas instaladas en equipos de barra (botalón) para el tratamiento de cultivos de bajo porte (cereales, forrajes, hortalizas, etc.).

Cada boquilla se encuentra conectada a una válvula pulsante de frecuencia variable que permite adaptar el caudal de forma precisa e instantánea, según necesidades. Además, si la barra está equipada con

cabezales multiboquilla, en todo momento y de forma automática, se selecciona la boquilla operativa según el producto aplicado (boquilla de abanico/cónica) o el riesgo de deriva (boquilla de reducción de deriva).

Esta función es muy interesante en el tratamiento de zonas limítrofes en parcelas próximas a elementos vulnerables como aguas superficiales o vías de comunicación. Los sistemas AmaSelect® y AmaSwitch® son pioneros en esta línea innovadora (Figura 6).



Figura 6. Cabezal compuesto por cuatro boquillas con apertura y cierre individualizado, controlado por GPS. Permite seleccionar automáticamente la boquilla operativa para adaptar la pulverización a los requerimientos específicos del momento y el lugar (AmaSelect- Amazonen -Werke H. Dreyer GmbH & Co).

Las boquillas pulsantes también adaptan el caudal pulverizado (L/min) a las diferencias de vigor del cultivo sin que, por ello, se altere la dimensión de las gotas de la pulverización. Contrariamente, también es posible adaptar la dimensión de las gotas sin modificar la dosis aplicada (L o kg/ha). Dicha función es muy interesante en la mitigación de riesgos de contaminación por deriva. Los dispositivos e-ChemSaver® y DynaJet® fabricados por TeeJet son ejemplos destacados de este tipo de dispositivos (Figura 7).

Figura 7. Sistema DynaJet® de pulverización pulsante regulada mediante variador de frecuencia para adaptar automáticamente el caudal a las necesidades del tratamiento (Spraying Systems Co.)



Láser LIDAR. En los últimos años, utilizando sensores LIDAR se han caracterizado de forma sistemática un número considerable de plantaciones frutales y viñedos (Sanz et al., 2018). Sobre estos trabajos se ha construido un modelo de estimación de la superficie foliar de plantaciones (*LAI*) que permite calcular el volumen de caldo y la dosis optimizada. Se trata del sistema DOSA3D que se encuentra a disposición de asesores y agricultores en la dirección www.dosa3d.es/es (Figura 8).

DOSA3D es una potente herramienta para la toma de decisión (DSS) sobre la dosis de producto fitosanitario a aplicar, calculada a partir de las dimensiones del cultivo, el estadio vegetativo y la eficiencia del equipo de tratamientos. Es utilizable en tratamientos fitosanitarios de plantaciones intensivas de frutales, viñedo, cítricos y olivar (Planas y Román, 2016).



Figura 8. Página inicial del sistema DOSA3D www.dosa3d.es/es para el ajuste de la dosis en tratamientos fitosanitarios de cultivos arbóreos.

Tratamientos mediante dron

Desde hace un tiempo, están tomando protagonismo los trabajos de aplicación de fitosanitarios mediante pulverizadores embarcados en drones (*unmanned aerial vehicles, UAV*) (Figura 9). En la mayoría de los casos, las aplicaciones están destinadas al control de plagas y enfermedades en el cultivo del arroz, en parcelas de pequeña dimensión, de difícil acceso o circulación para la maquinaria agrícola.

Se trata de las zonas en las que tradicionalmente se aplican los fitosanitarios mediante equipos portados por personas. En estos escenarios, el dron es mucho más ventajoso por su seguridad (alejamiento del operador),

capacidad operativa (superficie tratada por unidad de tiempo) y ergonomía (confort).

En este contexto, el dron se ha abierto paso en diferentes países asiáticos como Japón, China y Corea del Sur, en los que se encuentra implantado un pujante entramado industrial de fabricación de dichos equipos. Las primeras operaciones con dron datan de inicios de la década del noventa, muy probablemente llevadas a cabo en Japón. Hoy, los tratamientos con dron alcanzan una superficie muy destacable. Por ejemplo, en Corea del Sur, según informan las autoridades, más de un tercio de la superficie de arroz es tratada actualmente con drones.



Figura 9. Tratamiento experimental con dron aplicando fungicida en los arrozales de Pals, Cataluña, España (Planas, 2018).

Entre las ventajas del dron cabe destacar su facilidad para operar en terrenos en pendiente pronunciada y de posicionarse en altura como, por ejemplo, sobre la copa del arbolado. También sobresale su capacidad para volar a muy baja altura, permitiendo aproximar la pulverización al objetivo.

Igualmente, la posibilidad de combinar operaciones de detección, georreferenciación y aplicación, junto con el autoguiado, hacen del dron un instrumento de gran interés en la realización de tratamientos zonales (*patch spraying*), tratamientos localizados (*site spraying*) y en el establecimiento de cordones sanitarios preventivos de la entrada de inóculo (tratamientos perimetrales).

No obstante, el dron tiene también sus limitaciones. Entre ellas destaca su reducida autonomía de vuelo debido a las limitaciones de la capacidad de carga (*pay*

load) y del período de servicio de las baterías. También, los riesgos de accidente por caída o impacto contra obstáculos y el mayor potencial de deriva en relación a los tratamientos terrestres suelen comportar restricciones de uso.

Por ello, es obvio que el empleo de drones en la realización de tratamientos debe acompañarse de medidas de mitigación de riesgos. En esta dirección, la Organización Internacional de Normalización (ISO) está trabajando en la elaboración de la norma sobre requisitos ambientales que próximamente deberá aplicarse en los tratamientos con dron.

Simultáneamente, distintos países están comenzando a adaptar la legislación sobre tratamientos fitosanitarios aéreos para dar cabida y cobertura legal al trabajo de los drones.

Conclusión

El desarrollo de la agricultura de precisión abre las puertas a la implementación de técnicas avanzadas de teledetección de plagas, enfermedades y malezas y, en segundo término, al desarrollo de tratamientos fitosanitarios de precisión. Las ventajas de estas técnicas están siendo evidenciadas en diferentes entornos productivos incluyendo tanto los cultivos de bajo porte, como los cultivos leñosos en los que el empleo de productos fitosanitarios sigue siendo necesario.

Los efectos beneficiosos de la agricultura de precisión aplicada a la sanidad de los cultivos incluyen el manejo

más oportuno de las plagas, la disminución de costos y los riesgos de operaciones de control químico y, en conjunto, la práctica de una agricultura más afín a criterios de sostenibilidad.

En los próximos años es esperable la potenciación, el perfeccionamiento y la extensión de dichas técnicas, no únicamente sobre la agricultura a gran escala, sino también en las zonas agrícolas más accidentadas y de dimensión reducida.

Sin duda alguna, de todo ello y en diferentes partes del mundo, la agricultura se verá muy beneficiada. ●

ARTÍCULOS REFERENCIADOS

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).

de Castro A, Peña JM, Torres-Sánchez J, Jiménez-Brenes FM, Recasens J, Valencia F, López-Granados F (2017) Cartografía de *Cynodon dactylon* en viñedo mediante imágenes UAV y tecnología OBIA para uso sostenible y localizado de herbicidas. Proc. XVI Cong. Soc. Esp. Malherbología. Pamplona-Iruña, pp. 395-400.

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

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

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*. Advances in Animal Biosciences: Proc. 11th Eur. Conf. Prec. Agric. Edimburg (UK), pp. 255-258.

Román C, Planas S. 2018 *Adjusted dose treatments through PCD vigour maps in vineyards*. Aspects of Applied Biology 137, International Advances in Pesticide Application, pp. 385-392.

Sanz, R, Llorens, J, Escolà, A, Arnó, J, Planas, S, Román, C, Rosell-Polo, JR (2018) *LIDAR and non-LIDAR-based canopy parameters to estimate the leaf area in fruit trees and vineyard*. Agricultural and Forest Meteorology 260/261, 229-239. DOI:10.1016/j.agrformet.2018.06.017

BIBLIOGRAFÍA

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

Planas S (2013) Aplicación sostenible de productos fitosanitarios. 317 pp. Ed. Eumedia S.A.

Sylvester G (Ed.) (2018) *E-Agriculture in action. Drones for agriculture*. FAO. 112 pp.