

# Casos de éxito en Agricultura de Precisión: Aplicación variable de productos fitosanitarios en cultivos frutales y viña

Emilio Gil<sup>1</sup>, Javier García<sup>2</sup>, Jordi Llorens<sup>3</sup>, Alexandre Escolà<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Unidad de Mecanización Agraria, Departamento de Ingeniería Agroalimentaria y Biotecnología, Universitat Politècnica de Catalunya, Castelldefels, Barcelona.

<sup>2</sup>LAMAGRI - Universidad de Zaragoza, Huesca. Instituto Agroalimentario de Aragón—IA2 (CITA-UNIZAR).

<sup>3</sup>Grupo de Investigación en AgróTICa y Agricultura de Precisión, Departamento de Ciencia e Ingeniería Forestal y Agrícola, Universitat de Lleida/Centro CERCA Agrotecnio, Lleida.

*La aplicación variable es capaz de reducir el efecto de la variabilidad intraparcularia, ajustando el volumen de caldo y otros parámetros de trabajo a las características de la vegetación en cada momento*

08/10/2024 – [Interempresas.net](https://www.interempresas.net)

La caracterización de la vegetación es crucial para una aplicación dirigida de productos fitosanitarios siguiendo el concepto de aplicación variable (VRA). Las nuevas tecnologías de teledetección y los últimos avances en sensores embarcados ofrecen herramientas interesantes para una adecuada caracterización del objetivo a tratar. La combinación de cualquier tipo de sensor (embarcado o remoto), junto con sistemas o dispositivos que ayuden a la elaboración de mapas de prescripción permite una gestión mejorada de los tratamientos fitosanitarios en cultivos frutales y viñedo. Este hecho viene avalado por resultados obtenidos en diversos proyectos europeos de investigación a lo largo de los últimos años y en los que la Agricultura de Precisión ha sido el denominador común. Todos estos esfuerzos se alinean con el espíritu de las directivas europeas destinadas a lograr una agricultura más sostenible.



## Introducción

Los productos fitosanitarios siguen siendo la primera opción de los agricultores para proteger sus cultivos. Prueba de ello es que el uso mundial de estos productos casi se ha duplicado en los últimos 30 años (FAO, 2020), a pesar de los esfuerzos para su reducción implementados en Europa hace ya unos años. Su uso varía en función de la región y el cultivo. Un ejemplo claro lo tenemos en el viñedo en Europa, donde el uso medio de productos fitosanitarios se estima en unos 12-14 kg/ha. Los viñedos se encuentran entre los cultivos europeos que más productos emplean para su control fitosanitario, y muy especialmente para el control de las enfermedades fúngicas (Chen et al., 2022).

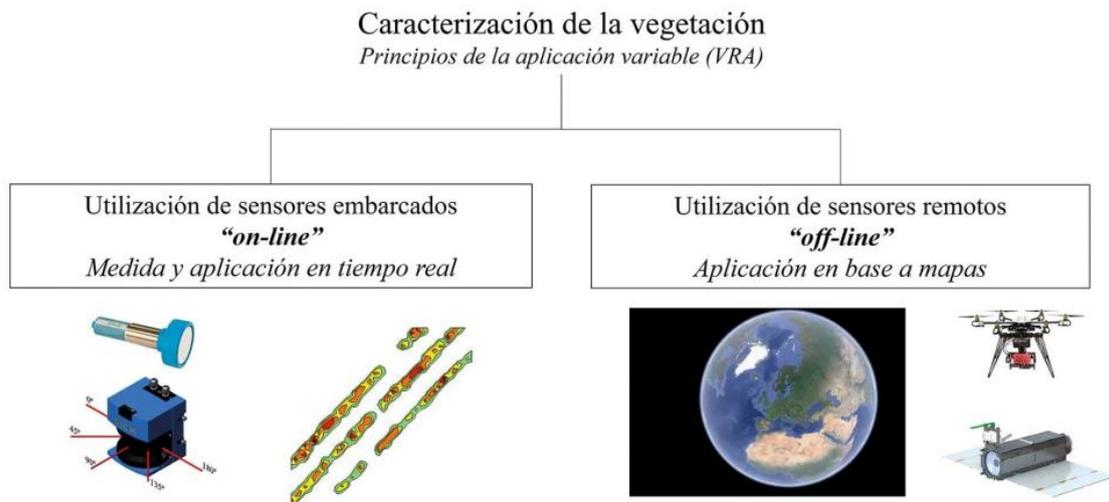
Sin embargo, las aplicaciones de productos fitosanitarios pueden tener un impacto significativo en la contaminación ambiental, la seguridad de los operadores y el balance económico de la explotación. Definitivamente, los tratamientos fitosanitarios tradicionales pueden realizarse de forma más eficiente para alcanzar sus objetivos, sin afectar al entorno. Reducir las pérdidas fuera del objetivo a tratar manteniendo al mismo tiempo el control de plagas y enfermedades en árboles frutales y viñedos es un desafío clave en la agricultura europea.

Independientemente de las últimas decisiones políticas europeas, el espíritu de la Estrategia 'De la granja a la mesa' del Pacto Verde Europeo (CE, 2019 y 2020) enfatiza la importancia de abordar estas cuestiones, lo que justifica los esfuerzos en investigación, teniendo en cuenta que los agricultores siempre se beneficiarán si pueden reducir las pérdidas de producto manteniendo el control biológico sobre plagas y enfermedades. Por consiguiente, es una oportunidad de mejora del sector que no se debe desaprovechar.

El proceso de aplicación de fitosanitarios en cultivos como los frutales y la viña, los llamados cultivos leñosos o '3D', comporta una serie de factores o elementos que lo hacen ciertamente complejo (Grella et al., 2017). Esos factores se pueden dividir en dos grupos principales. El primero se refiere a la tecnología de pulverización, como el espectro de gotas (Campos et al., 2023), la dosis de aplicación (Gil y Escolà, 2009), la cantidad de aire utilizado (Salcedo et al., 2019) y las propiedades de la formulación de los propios productos (Salcedo et al., 2024). El segundo involucra la estructura de la vegetación, que afecta a la distribución del producto depositado. De hecho, las características de la vegetación determinan críticamente el volumen de caldo óptimo y la calidad de la pulverización.

Tradicionalmente, la masa vegetal a tratar se ha considerado homogénea, lo que lleva a una aplicación uniforme de producto. Pero existe una variabilidad, en términos de tamaño y densidad de biomasa, que puede justificar un ajuste de las dosis en cada zona de la plantación. Cuanto más grande sea la masa foliar, mayores serán las posibilidades de retención de gotas, aunque por otro lado las partículas pulverizadas tienen más dificultad para penetrar en la copa. Las técnicas actuales para la determinación de la dosis óptima, como la medida de la pared (LWA, del inglés *Leaf Wall Area*) o el volumen de la masa vegetal a tratar (TRV, del inglés *Tree Row Volume*) (Gil et al., 2020), se suelen utilizar para aplicaciones de dosis constante, sin incluir las variaciones geométricas dentro de las filas o los espacios entre las vides.

Los modos de pulverización variable (VRA, del inglés *Variable Rate Application*) pueden implementarse a partir de sensores embarcados para la lectura directa de la vegetación, o bien a partir de mapas de prescripción (Figura 1). Por un lado, se utilizan sensores como sensores láser o de ultrasonidos para detectar la presencia de vegetación y estimar los parámetros asociados a ella. Por otro lado, se pueden obtener imágenes a partir de sensores embarcados en plataformas remotas (teledetección), como cámaras montadas en drones o satélites (García-Ruiz et al., 2023a). Esta metodología ha demostrado ser confiable, precisa y rentable, permitiendo mapear grandes áreas con media o alta resolución espacial, que luego se utilizan para crear mapas.



*Figura 1. Dos modalidades de aplicación variable: utilización de sensores embarcados y aplicación en tiempo real (on-line) o aplicación en base a mapas de prescripción previos (off-line).*

Los pulverizadores basados en mapas de prescripción suelen utilizar, como primer paso del proceso de dosificación variable, imágenes del cultivo obtenidas con drones o con satélites. Estas imágenes se analizan para obtener índices como el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI) y filtrar los píxeles correspondientes al cultivo de interés. Posteriormente, se genera un nuevo mapa de vigor de la vegetación. También pueden obtenerse mapas a partir de sensores próximos como los basados LiDAR o los de ultrasonidos. Luego, con la ayuda de mediciones manuales y Sistemas de Apoyo a la Decisión, como Dosaviña® (Gil et al., 2019), se calcula la dosis o volumen de aplicación en cada zona. Esta información se utiliza para calcular un mapa de prescripción con la cantidad precisa de producto necesario en cada zona. Se carga en el ordenador del pulverizador, controlando las dosis de aplicación correctas durante el tratamiento (Gil et al., 2023). Numerosos estudios han demostrado la eficacia de estos sistemas de pulverización, minimizando las pérdidas de producto y conservando el nivel de eficacia equivalente a los sistemas de aplicación convencionales (García-Ruiz et al., 2023b).

Cabe destacar el potencial de los satélites para la implementación de la aplicación variable. Los satélites pueden cubrir áreas mucho más grandes en una sola pasada a un coste menor que los drones, lo que los hace muy eficientes para mapear áreas extensas, como grandes viñedos. También pueden proporcionar datos consistentes a lo largo del tiempo, lo que es valioso para monitorear cambios y tendencias a lo largo de la temporada de crecimiento. Sin embargo, actualmente los satélites disponibles ofrecen una resolución media en comparación con los drones o los sensores próximos. En este sentido, la Unidad de Maquinaria Agrícola de la Universidad Politécnica de Cataluña (UMA-UPC; Barcelona, España) ha centrado parte de su investigación en los últimos años en el uso de satélites para pulverizadores VRA en viticultura. Se ha demostrado que los satélites ofrecen una precisión razonable para crear mapas de prescripción a un coste mucho menor y con mayor simplicidad en comparación con los drones.

### **Fundamentos técnicos de la Agricultura de Precisión**

En el apartado anterior ha quedado claro que en los tratamientos fitosanitarios en cultivos leñosos es imprescindible garantizar la eficacia biológica de los productos, pero utilizando la mínima cantidad posible. Es decir, garantizar la eficacia con la máxima eficiencia posible. Y esto es, precisamente, lo que pretende la Agricultura de Precisión. Según la Sociedad Internacional

de Agricultura de Precisión (ISPA), "la Agricultura de Precisión es una estrategia de gestión que recoge, procesa y analiza datos temporales, espaciales e individuales de plantas y animales y los combina con otras informaciones para respaldar las decisiones de manejo de acuerdo con la variabilidad estimada, y así mejorar la eficiencia en el uso de recursos, la productividad, la calidad, la rentabilidad y la sostenibilidad de la producción agrícola". Así pues, la Agricultura de Precisión no es solo utilizar tecnología. Se trata de una estrategia global de explotación que consiste en recabar información sobre la plaga o enfermedad y sobre el cultivo para conocer su variabilidad y aplicar la cantidad justa de producto en cada punto de la plantación en el momento adecuado.

En el caso de los tratamientos fitosanitarios en frutales y viña, la mayoría de los productos tienen por objetivo las hojas o la madera. Así, tiene sentido aplicar más cantidad de producto (lo que se conoce como dosis, con algunos matices), más caldo y utilizar más caudal de aire en plantaciones con mucha biomasa y menos en plantaciones menos vigorosas. Sin embargo, la Agricultura de Precisión va un paso más allá y propone analizar la vegetación de una misma parcela para ver si existen diferencias que justifiquen técnica y económicamente la utilización de dosis distintas dentro de la misma parcela. Ese es el cambio de paradigma. Hasta ahora, a cada parcela le correspondía una única dosis de fertilizante, de riego y de producto fitosanitario. La Agricultura de Precisión plantea ajustar las dosis a la variabilidad de las parcelas para que, al final, cada hoja o cada individuo reciba la cantidad de producto que necesita. Ni más, ni menos.

De acuerdo con la definición oficial de la ISPA, para hacer una protección de cultivos de precisión es imprescindible recopilar datos sobre la plaga o enfermedad y sobre la vegetación. Los datos son números y, por sí solos, no tienen significado. Debemos medir la vegetación de la parcela y convertir los datos tomados en información. Para ello, la Agricultura de Precisión pone en nuestras manos diferentes tecnologías digitales que van a facilitar la medida de las dimensiones de los árboles (altura, anchura, volumen, porosidad, sección transversal, ocupación del espacio, etc.) y va a asociar los valores obtenidos a unas coordenadas concretas. Esos datos se pueden conseguir a partir de sensores remotos (imágenes satelitales, imágenes obtenidas con drones) o a partir de sensores próximos (sensores basados en ultrasonidos o en LiDAR, del inglés *Light Detection and Ranging* o detección de objetos y medida de distancias a partir de la luz).

Sin embargo, el resultado de esas medidas son archivos de datos con coordenadas para su localización en la parcela. Y esos datos deben filtrarse, ordenarse, organizarse y procesarse para que tengan sentido para el agricultor/a. La manera más práctica de visualizar esos datos convertidos en información es utilizando mapas digitales. Pero un simple mapa de colores no es suficiente para el agricultor/a. Es necesario dar un paso más. Ese mapa debe organizarse por zonas que tengan características similares de la vegetación y a cada zona debe asignársele una dosis de producto o de caldo o un caudal y velocidad de aire específicos. Y esta transformación no es trivial. Se pasa de datos, a información y de información a prescripciones, lo que realmente hay que hacer en el campo. Finalmente, deberemos convertir un mapa de prescripción en una aplicación real en la parcela que el equipo pueda realizar y conseguir que el tratamiento sea realmente eficaz, eficiente y, por ende, más sostenible.

Para facilitar la conversión de los mapas de características de la vegetación en mapas de prescripción (qué cantidad aplicar y dónde, dentro de la parcela), varios grupos de investigación han desarrollado sistemas de apoyo a la toma de decisiones. Estos sistemas tienen que ser alimentados con datos sobre las características de la plaga, del producto, del equipo de aplicación y de la vegetación y realizan una propuesta de dosis, cantidad de caldo a aplicar e, incluso, de caudal de aire a utilizar (Figura 2).

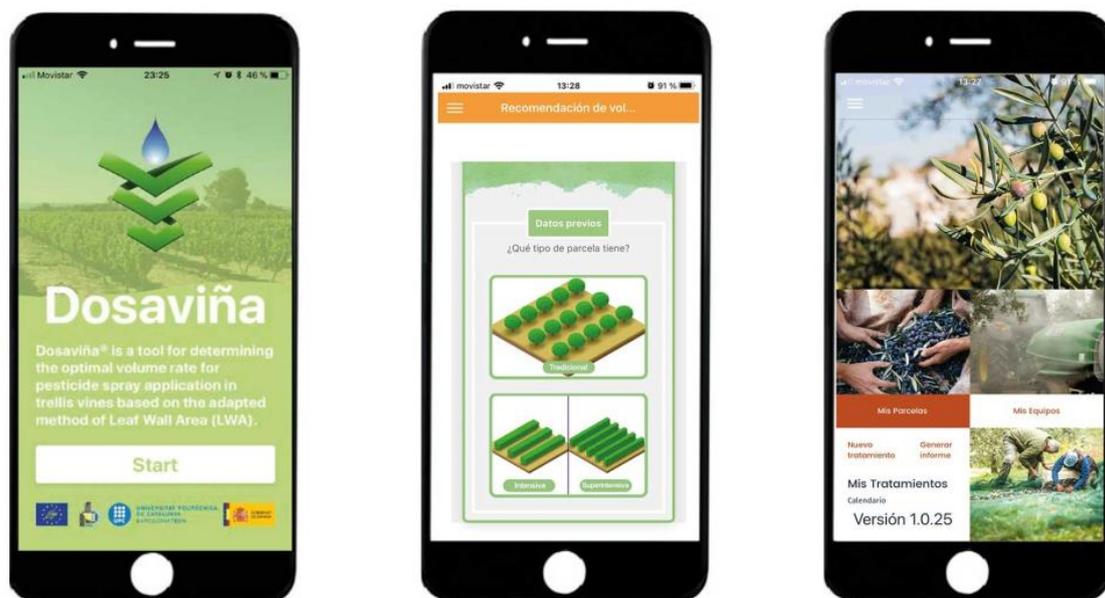


Figura 2. Ejemplos de aplicaciones desarrolladas por diferentes grupos de investigación nacionales para la determinación del volumen y la dosis óptima de aplicación en diferentes cultivos.

Una vez obtenida la prescripción en forma de mapa necesitamos un equipo de aplicación capaz de interpretarlo y ejecutarlo. Por suerte, actualmente existen en el mercado varias soluciones comerciales capaces de ello a un coste razonable. Y no solo en los equipos de gama alta si no que varias de estas soluciones consisten en kits que se pueden montar en equipos de aplicación convencionales, siempre que su estado y su calidad sean suficientemente buenos, especialmente todos los elementos de control de la pulverización. Hay, incluso, equipos capaces de medir la vegetación, procesar los datos y decidir la dosis de aplicación sobre la marcha, es decir, sin necesidad de utilizar mapas. Esto facilita los tratamientos, pero resta al agricultor/a la capacidad de supervisar las dosis e incluir otros parámetros en el análisis.

Los trabajos de investigación y desarrollo actuales se centran en desarrollar sensores y técnicas que permitan medir y analizar la variabilidad de las parcelas y ajustar las dosis a esa variabilidad. Por ejemplo, en el proyecto del Plan Estatal de I+D+i PAgPROTECT (PID2021-126648OB-I00), se han instalado trampas de *Carpocapsa* en una plantación de manzanos con una elevada resolución espacial para poder conocer la distribución espacial y temporal de la plaga. Conociendo estos datos y la fisiología de la plaga, se puede decidir cuál es el momento óptimo para realizar un tratamiento y si es necesaria la aplicación en toda la parcela o solamente en las zonas donde se detecta la plaga. Si, además, le añadimos la variabilidad en las dimensiones de los árboles, la dosis finalmente aplicada va a ser la más adecuada para cada zona de la parcela.

### Ajuste de la presión o modificación de pulsos: la evolución tecnológica

Los equipos más comunes para la aplicación de productos fitosanitarios en viñedos y frutales son los pulverizadores hidroneumáticos. Para conseguir variar la dosis de producto aplicado (L/ha) el equipo debe disponer de tecnología capaz de variar el caudal de producto (L/min) en función del mapa prescriptivo o de sensores a bordo, ya que la anchura de trabajo de estos equipos es constante en función de su configuración.

Actualmente las principales tecnologías para modificar el caudal (L/min) se basan en la variación de la presión del trabajo del circuito hidráulico dentro de los márgenes garantizados por la boquilla utilizada y, últimamente, en la utilización de boquillas que permiten mantener la

presión del circuito variando la dosis en base a la modificación del tiempo de trabajo de la boquilla. Estas son las conocidas como boquillas de modulación de ancho de pulso, más conocidas por su acrónimo en inglés boquillas PWM (*Pulse Width Modulation*). En realidad, no se trata de boquillas como tal, sino de válvulas pulsantes constituidas por un solenoide de control que actúa sobre un émbolo de apertura y cierre, a las que se les acopla una boquilla de pulverización compatible.

Hay multitud de sistemas comerciales en el mercado con diferentes frecuencias de trabajo: PinPoint II de Capstan AG, AIM Command de Case IH, ExactApply de John Deere, Dynajet de Teejet, Hawkeye de Raven, RightSpot de Ag Leader, StrictSprayPlus de Agrifac, LeapBox de Bbleap, etc.

La tecnología PWM fue desarrollada por el Dr. Ken Giles (University of California-Davis) para Capstan Ag Systems siendo Capstan Synchro el primer sistema comercializado que fue licenciado para Case IH como AIM Command en 1998. Las boquillas PWM consiguen variar la dosis aplicada modificando el tiempo de apertura (ancho de pulso) sin variar la presión del sistema. De este modo, la presión del circuito se mantiene constante y también el tamaño de gota.

Los principales parámetros que caracterizan una boquilla PWM son (Figura 3):

- Frecuencia ( $f = 1/T$ ). Número de ciclos por segundo (Hz): 10 – 50 Hz habitualmente.
- Tiempo de apertura ( $t_a$ ) = ancho de pulso. Tiempo de apertura en un ciclo (s).
- Tiempo de cierre ( $t_c$ ). Tiempo en el que la válvula permanece cerrada en un ciclo (s).
- Periodo ( $T = t_a + t_c$ ) =  $1/f$ .
- Porcentaje de apertura en un ciclo,  $P$  (%) = Duty Cycle, DC (%) =  $(t_a/T) * 100$ .

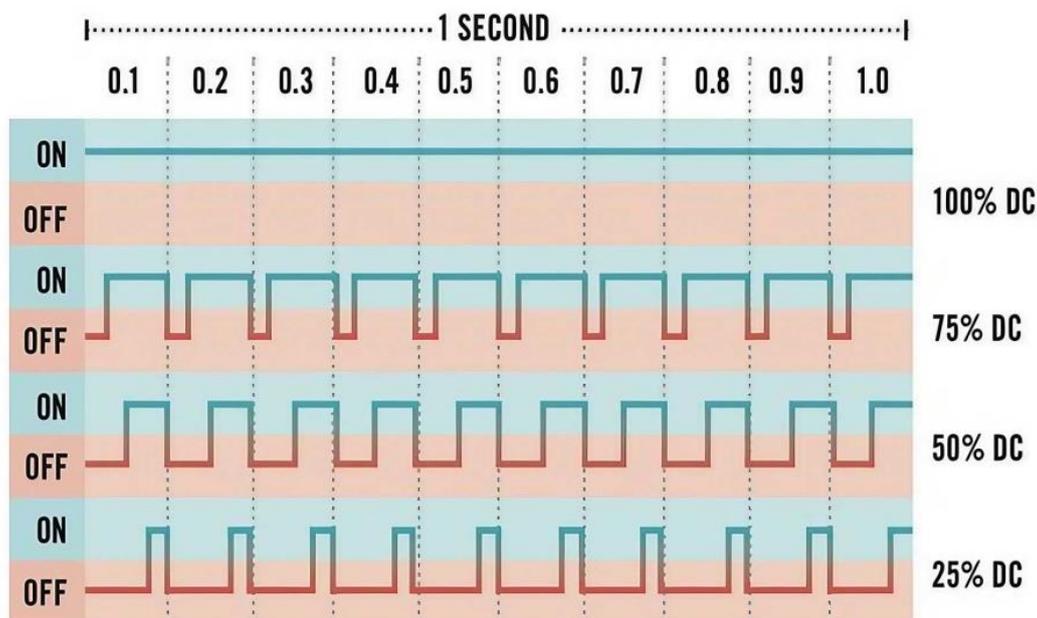


Figura 3. Diferentes porcentajes de apertura (DC, del inglés duty cycle) de boquilla PWM de frecuencia 10 Hz. Fuente: Virk and Meena, 2022.

Las principales aplicaciones de este tipo de boquillas se basan en el control muy preciso de la dosis de aplicación y se sintetizan a continuación:

- Control individual de boquillas (corte de tramos). Cada boquilla puede actuar como una válvula de cierre/apertura.

- Dosificación variable (Agricultura de Precisión) variando el porcentaje de apertura (Duty Cycle) de forma geo específica utilizando mapas de prescripción o sensores a bordo.
- Compensación de caudal en giro pulverizadores hidráulicos de barra) en contornos incrementando el porcentaje de apertura (duty cycle) en las boquillas exteriores.

No obstante, como cualquier tecnología, las boquillas PWM tienen sus limitaciones y es necesario conocer los criterios y recomendaciones para su uso basados en la experiencia desarrollada durante los últimos años por los diferentes fabricantes y grupos de investigación. Así, se pueden establecer algunas recomendaciones de uso de las boquillas PWM (Butts et al., 2019; Campbell, 2023):

- Selección de boquillas en base a criterios del fabricante.
- No usar boquillas de inyección de aire a no ser que estén probadas por el fabricante.
- No trabajar con valores de 'duty cycle' < 20% - 30% ya que no se mantiene constante el tamaño de gota y la distribución.
- Recomendable utilizar 'duty cycles' > 50%.
- Recomendable no operar a presiones muy bajas por la pérdida de carga en válvulas de solenoide.
- Frecuencias elevadas garantizan mayor uniformidad de aplicación.

#### ¿Drones o satélites? Experiencias prácticas en España

Entre 2018 y 2019, el grupo de investigación de la UMA-UPC (Campos et al. 2021) realizó una caracterización manual de las copas de las vides con la información obtenida mediante plataformas de teledetección (drones y satélites) en varios viñedos comerciales en espaldera de la región vinícola del Penedès. Para ello, se midieron 1400 cepas tanto de forma manual como remota. Para estudiar una muestra representativa de las copas, se siguió un diseño de muestreo aleatorio uniforme sistemático (SUR). Cada cepa seleccionada fue etiquetada y se delimitó la proyección al suelo, como expone la Figura 4.

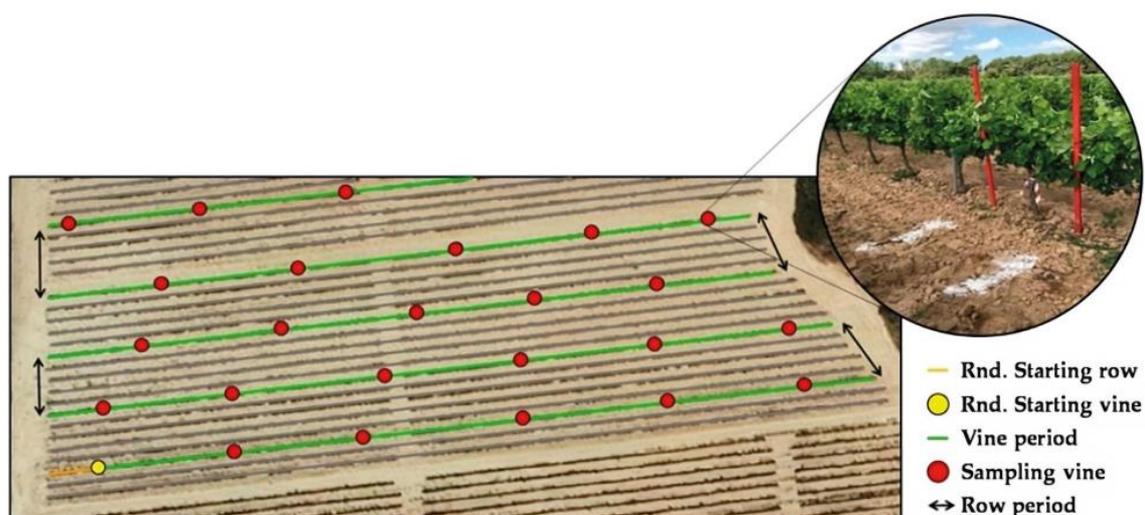
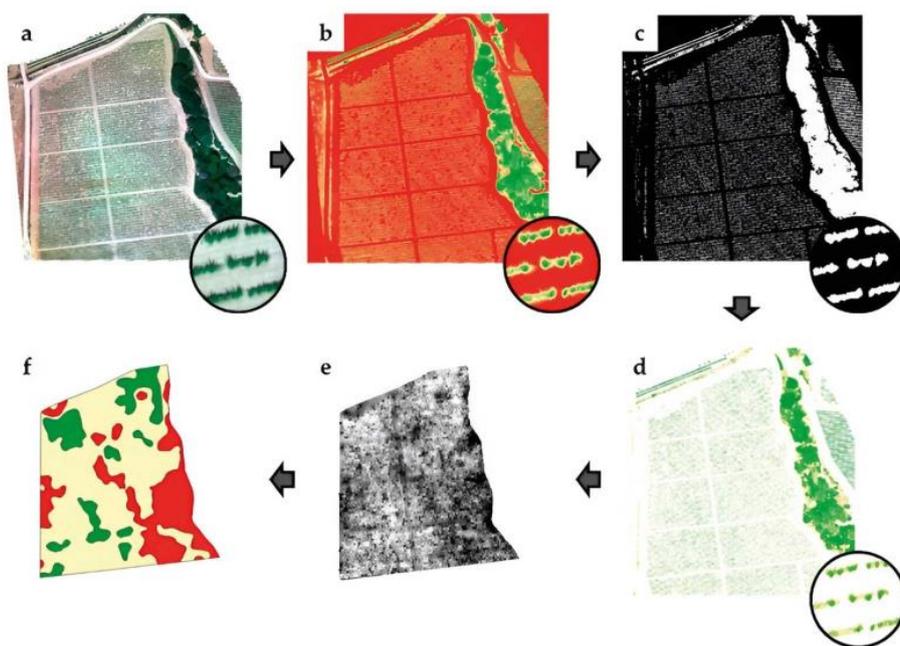


Figura 4. Ejemplo del diseño de muestreo seguido, incluyendo el área delimitada en el suelo (Campos et al., 2021).

Las caracterizaciones manuales se realizaron en tres etapas de crecimiento: BBCH 59, 75 y 81, respectivamente, según Meier (1997). Cada caracterización manual implicó la medición de la altura y el ancho de la copa de la vid. Por otro lado, se utilizaron dos sensores remotos. Uno fue un dron hexacóptero equipado con una cámara multispectral para capturar imágenes de los viñedos. Las imágenes obtenidas fueron procesadas para producir mapas de ortofoto, calibrados con placas de reflectancia y georreferenciados utilizando puntos de control terrestre y un sistema de navegación satelital cinemático en tiempo real (RTK). Los vuelos se realizaron durante tres etapas de crecimiento. Adicionalmente, se utilizaron imágenes satelitales para caracterizar la copa del viñedo, lo que permitió un mapeo eficiente de grandes áreas con alta resolución espacial a un costo menor que los drones. Finalmente, todos estos datos se compararon entre sí.

Se utilizó un análisis de imágenes basado en la metodología propuesta por Campos et al. (2019). Un esquema del proceso se resume en la Figura 5. Para las imágenes de drones, se identificaron las plantas seleccionadas. Dado que la resolución de la cámara era de 6,5 cm por píxel y los límites generales del dosel eran reconocibles gracias a una marcación previa en el suelo (Figura 1), se determinó el número de píxeles correspondientes a cada dosel específico. Se calculó el NDVI de cada píxel y, finalmente, se asignó un NDVI medio a cada dosel. Un proceso similar se aplicó para los datos satelitales. Por otro lado, el procedimiento para los satélites fue más sencillo. La resolución de la imagen fue de 3x3 metros, por lo que el NDVI de este punto de muestreo se estimó directamente. En ambas situaciones, fue posible obtener el mapa de vigor vegetativo.



*Figura 5. Metodología propuesta por Campos et al. (2019): (a) imagen multispectral ajustada radiométricamente, (b) imagen NDVI, (c) filtro binario de píxeles específicos del viñedo, (d) píxeles NDVI solo del viñedo, (e) mapa interpolado NDVI, (f) mapa de vigor agrupado por colores de nivel.*

#### **Proyectos PIVOS y ADOPTA: aplicación variable en viñedo y olivar**

El proyecto ADOPTA (PDC2022-133395) es una Prueba de Concepto, financiada por el Ministerio de Ciencia de España, que nace a raíz de otro proyecto denominado PIVOS (PID2019-104289RB), en el que se desarrolló un pulverizador VRA basado en mapas para cultivos de viñedo (Gil et al., 2023). En este caso, el pulverizador incluía un ordenador (Figura 6) que interpretaba los mapas de prescripción generados a partir de imágenes de drones y enviaba las instrucciones correspondientes a válvulas PWM que regulaban el caudal final de las

boquillas. Además, esta unidad de control estaba en contacto constante con un sensor de geoposicionamiento para interpretar su ubicación dentro de la parcela en el momento del tratamiento y realizar el ajuste correspondiente de la tasa de aplicación. Además, para las tareas de campo, el ordenador dispone de una interfaz táctil, ofreciendo la posibilidad de realizar ajustes con el equipo en posiciones estáticas o dinámicas. Para las tareas de campo, el ordenador permite ajustar el ancho de hilera y preseleccionar la parcela a tratar. También muestra la presión de trabajo, el caudal y las coordenadas de la máquina durante el tratamiento.



*Figura 6. Imagen general del pulverizador multifila inteligente para viñedos durante una aplicación (izquierda) y detalle del ordenador para interpretación de mapas y control de pulverización (derecha).*

Las aplicaciones preliminares de fungicidas en campo en el Penedès en 2022 y 2023 en viñedos en espaldera mostraron que el prototipo ofrecía la misma eficacia biológica que el tratamiento convencional. Además, el consumo de agua y de productos fitosanitarios fue menor en comparación con las aplicaciones convencionales en la zona, con una reducción media de aproximadamente el 19%. Los resultados previos en ensayos de deriva, en colaboración con el INRAE en Montpellier (Francia), muestran una reducción media de las pérdidas en comparación con la aplicación convencional de aproximadamente el 40%.

La relación entre el proyecto PIVOS y ADOPTA se basa en el objetivo de este último proyecto de implementar esta tecnología entre los agricultores involucrados, lo que implica que los potenciales usuarios puedan reducir la cantidad de producto fitosanitario mediante la implementación de estos pulverizadores VRA. Para facilitar esta tarea, desde 2024 se ha introducido la opción de trabajar con mapas a partir de imágenes de satélite. Los agricultores locales han acordado gestionar este prototipo durante dos campañas completas (2023 y 2024), utilizando imágenes proporcionadas por drones en la primera campaña e imágenes obtenidas por satélite en la segunda (esquema del proyecto mostrado en la Figura 7). Los resultados iniciales han demostrado que el prototipo es perfectamente capaz de trabajar con estos mapas de vigor como si fueran de un dron, encontrando muchas similitudes entre los mapas de vigor obtenidos a través de drones y satélites.

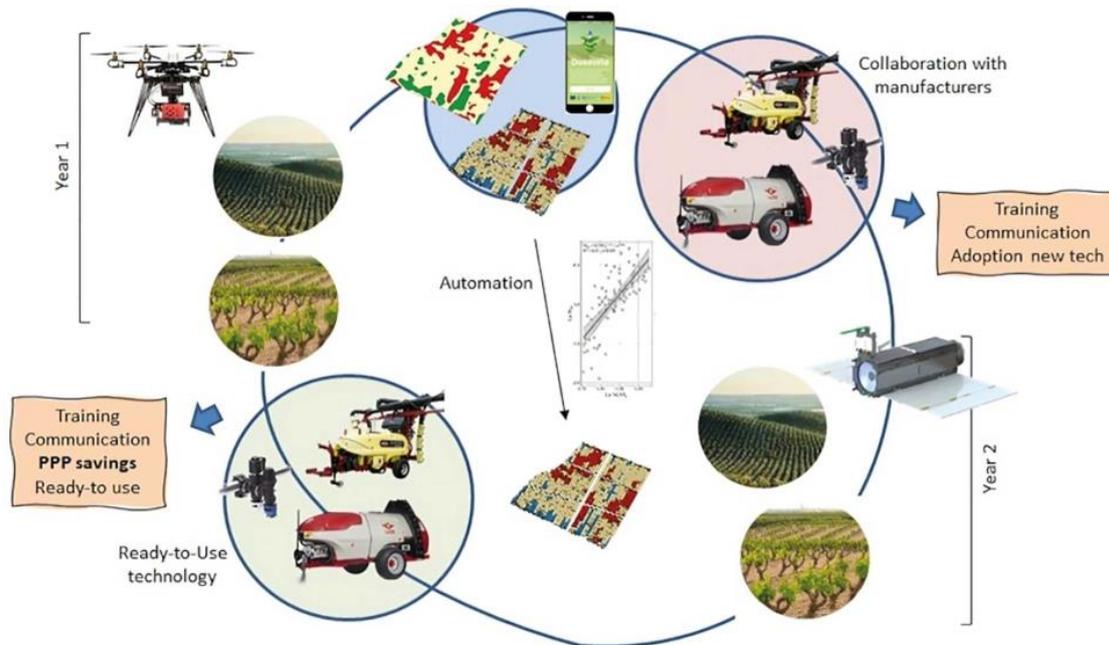


Figura 7. Esquema del proyecto ADOPTA. Se obtendrán resultados de campo de aplicaciones con mapas de prescripción con datos satelitales y se compararán con drones.

Para ambos sensores remotos, el procedimiento es siempre el mismo: primero, el dron o satélite adquiere imágenes aéreas de la parcela objetivo. A continuación, se analizan para calcular el NDVI, filtrando los píxeles correspondientes a viñedos para eliminar distorsiones. Posteriormente, se interpola la imagen y se descartan los píxeles aislados para formar un nuevo mapa de vigor de la vegetación. Paralelamente, se realizan mediciones manuales de diámetro y altura de copa para estimar la densidad foliar y determinar el volumen de aplicación correspondiente para cada zona de vigor mediante la herramienta Dosaviña®, generando el mapa de prescripción final. La información se transfiere al ordenador del pulverizador para ajustar la tasa de aplicación dentro de las diferentes zonas de vigor de la parcela, controlando las boquillas mediante válvulas PWM.

### Satélites para aplicación variable

Los trabajos llevados a cabo en el proyecto COPPERREPLACE (<http://coppereplace.com>) han demostrado que el control de enfermedades en viñedo es posible incluso reduciendo la dosis de pesticida utilizada cuando la cantidad de pesticida se adapta a las características de la copa. Durante la temporada 2022, se utilizaron mapas de vigor basados en satélite para determinar las zonas de manejo en las que se realizaron muestreos manuales de vides para determinar las características de la copa y la dosis de aplicación posterior utilizando Dosaviña®. Se logró una reducción del 30% del cobre utilizado en toda la campaña y la evaluación de la eficacia biológica no mostró diferencias con las parcelas tratadas con métodos convencionales.

Un avance en esta metodología de trabajo se logró durante la participación del grupo de investigación UMA-UPC como socio en el proyecto europeo NOVATERRA. Entre otros objetivos, el proyecto se centró en el diseño y desarrollo de un algoritmo de generación de mapas de prescripción utilizando imágenes de satélite en viñedos que pudiera afrontar el reto de la generación automática de mapas de prescripción. Para ello, se diseñó, implementó y validó en campo un dispositivo sensor que posibilitara la adquisición masiva de datos en el viñedo mediante sensores de ultrasonidos. El dispositivo sensor se montó en el tractor y adquirió datos georreferenciados de altura y anchura de la copa cada segundo (Figura 8). Estos datos se combinaron con información del NDVI y se obtuvieron modelos para la estimación automática de las características de la copa basados en datos de teledetección por satélite. Estos modelos

se probaron en viñedos comerciales en España y Portugal para evaluar el rendimiento de los mapas de prescripción en el campo (García-Ruiz et al., 2023c).

Durante la temporada 2023, se llevó a cabo una campaña completa de aplicaciones en España utilizando los mapas de prescripción de tasa variable generados utilizando los modelos desarrollados en NOVATERRA. Los resultados mostraron un ahorro de pesticidas del 33 y el 44% en cada una de las dos parcelas utilizadas en el ensayo en comparación con las aplicaciones convencionales realizadas por el agricultor. Lo más importante es que no se encontraron diferencias en el control biológico del hongo con VRA y los métodos convencionales de aplicación de pesticidas. De manera similar, en Portugal, después de una campaña completa de tratamientos con VRA en viticultura de montaña, se lograron reducciones del 20-30% en comparación con los métodos de aplicación convencionales, sin diferencias significativas en el control de plagas y enfermedades.



*Figura 8. Dispositivo desarrollado provisto de sensores ultrasónicos para mediciones de dosel en campo (derecha); resultados obtenidos después de mediciones en campo comparados con imágenes satelitales para determinar la relación óptima (izquierda).*

## **Conclusiones**

Como se ha hecho constar anteriormente, las características de la vegetación son un aspecto fundamental a tener en cuenta para determinar el volumen de aplicación y la dosis de productos fitosanitarios. El alto grado de variabilidad dentro de las propias parcelas en cultivos 3D aumenta la dificultad de obtener soluciones generales para obtener este volumen óptimo de aplicación. En este sentido, la aplicación variable es capaz de reducir el efecto de la variabilidad intraparcilaria, ajustando el volumen de caldo y otros parámetros de trabajo a las características de la vegetación en cada momento. La tecnología de aplicación variable basada en mapas de prescripción presenta la necesidad de realizar previamente a la aplicación un estudio del cultivo, ya sea mediante datos recopilados manualmente en campo o mediante sensores, ya sean remotos (teledetección) o próximos.

No obstante, existe todavía un desfase entre el avance tecnológico y las disponibilidades de tecnología actuales, y el grado de adopción de las mismas por parte de la mayoría de usuarios. Y aquí la formación sí que juega un papel fundamental. Garantizar un alto nivel educativo de todas las partes interesadas en la agricultura parece un objetivo importante directamente relacionado con la mayoría de las acciones organizadas en los últimos años en Europa.

Especialmente relacionado con el tema del cuidado de los cultivos y con el uso de productos fitosanitarios, se ha demostrado ampliamente que un nivel educativo adecuado ayudará en el cumplimiento de los requisitos obligatorios (Directiva SUD), pero también ayudará en la consecución de importantes retos como los establecidos en la Estrategia de la Granja a la Mesa (PE, 2019). Las actividades de formación, ya sea en formato presencial y on-line, se han demostrado como una excelente herramienta para garantizar un continente seguro y verde. Los cursos, ya sean on line o presenciales, y la colaboración Universidad-empresa, ofrecen un medio cómodo y efectivo de adquirir conocimientos.

Proyectos como PIVOS, ADOPTA o PAgPROTECT, todos ellos financiados por el Ministerio de Ciencia y Tecnología español, y todos con participación de diferentes grupos de investigación españoles, son una buena muestra de las ventajas y los beneficios derivados de una estrecha colaboración entre distintos Grupos de Investigación en los que cada uno aporta la experiencia y el conocimiento de un tema específico. El resultado esperado derivará en la puesta en servicio, para técnicos y agricultores, de herramientas que mejoren la importante tarea de la protección de sus cultivos y les ayuden en el cumplimiento de la reglamentación europea en materia de utilización de productos fitosanitarios.

Este trabajo se encuentra alineado con los objetivos de intercambio de conocimiento, experiencias y recursos de valor recogidos en la Asociación Nacional de Agricultura de Precisión (ANAP), una organización independiente y sin ánimo de lucro que busca promover la AP y facilitar la transformación digital agrícola en España. Por tanto, animamos a todos los actores interesados en AP (administración, agricultores, investigadores, asesores, etc.) a que compartan con ANAP sus conocimientos, experiencias o intereses para buscar soluciones conjuntas en línea con las directrices de sostenibilidad definidas por la Unión Europea.

### **Agradecimientos**

*Esta investigación ha sido parcialmente financiada por el proyecto NOVATERRA, que recibe financiación del acuerdo de subvención Horizonte 2020 de la Comisión Europea número 101000554. Esta investigación también ha sido parcialmente financiada por los proyectos de investigación ADOPTA (Ministerio de Ciencia e Innovación PDC2022-133395-C41) y PAgPROTECT (PID2021-126648OB-I00).*