# Aplicaciones operativas de los SARPs en Agricultura

**S. Montesinos**[1]

1 SM GEODIM, SL. Torre Albarrana. 50340 Maluenda (Zaragoza) www.geodim.es. smontesinos@geodim.es

**Resumen:** La Agricultura de precisión es un concepto agronómico que consiste en el manejo diferenciado de los cultivos a partir del conocimiento de la variabilidad existente en una explotación agrícola. Para caracterizar esta variabilidad se utilizan herramientas tecnológicas como los Sistemas de Navegación por Satélite, conocidos popularmente como GPS, sensores planta-clima-suelo e imágenes multiespectrales obtenidas a partir de satélites, vuelos aerotransportados o SARPs (Sistemas Aéreos Remotamente Pilotados).

El objetivo último de la agricultura de precisión es la obtención de mayores rendimientos económicos, medioambientales y sociales, aumentando la competitividad a través de una mayor eficacia de las prácticas agrícolas.

Las principales potencialidades de los SARPs en Agricultura son la precisión espacial con la que se toma el dato y la disponibilidad temporal de ese dato.

**Palabras clave:** Agricultura de precisión, Sensores multiespectrales, SARPs, Drones, UAVs

## 1. AGRICULTURA DE PRECISIÓN y SARPs

En el año 2013, se llevó a cabo el estudio "*El impacto económico de la integración del Sistema Aeroespacial No Tripulado en la economía de EE UU"* (AUVSI, 2013). Este estudio recoge que de los múltiples usos de los SARPs en el Sistema Aeroespacial de Estados Unidos (NAS, *National Airspace System*), los mercados civiles más prometedores son los de Agricultura de precisión y Seguridad Pública. Entre los dos, representan el 90% de los mercados potenciales conocidos para los SARPs.

Este mismo estudio destaca que cada año que se retrasa la integración de los SARPs en el NAS, los Estados Unidos pierden más de 10.000 millones de dólares en impacto económico. Lo que se traduce en una pérdida potencial de 27,6 millones de dólares al día.

En este capítulo vamos a conocer cuáles son las aplicaciones potenciales de los SARPs en Agricultura de precisión, así como las ventajas e inconvenientes de esta plataforma de trabajo y los retos a los que se enfrenta para convertirse en una aplicación operativa con el impacto económico que se le supone.

La Agricultura de precisión es un concepto agronómico que consiste en el manejo diferenciado de los cultivos a partir del conocimiento de la variabilidad existente en una explotación agrícola. Para caracterizar esta variabilidad se utilizan herramientas tecnológicas como los Sistemas de Posicionamiento Global, conocidos popularmente como GPS, sensores planta-clima-suelo e imágenes multiespectrales obtenidas a partir de satélites, aviones o SARPs (figura 1).

Los datos captados por todos estos sensores se almacenan digitalmente en forma de tablas y mapas, a partir de los cuales se genera la información que ayuda al agricultor en la toma de decisiones en campo (fertirrigación, podas o aclareos).

El objetivo último de la Agricultura de precisión es la obtención de mayores rendimientos económicos, medioambientales y sociales, aumentando la competitividad a través de una mayor eficacia en las prácticas agrícolas.

MONTESINOS, S. (2015) *Capítulo 8. Aplicaciones a la agricultura.* En *"Los Drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil."*.DG de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid.1*: 101-117*

**Figura 1**. Imagen multiespectral en infrarrojo de una explotación vitícola. La observación de la realidad en rangos del espectro más allá de la región del visible nos permite captar la variabilidad existente en la finca.

Los SARPs son vehículos aéreos no tripulados y remotamente pilotados, bien sean en forma de pequeños aviones de ala fija o de multicópteros.

En la literatura es fácil encontrar expresiones como: *"los UAV son capaces de detectar el estrés nutricional en los cultivos lo que facilita el uso óptimo de fertilizantes sólo en las zonas en las que es necesaria su aplicación y también son capaces de realizar una detección temprana de enfermedades y plagas"*. Sin embargo, los SARPs son solamente las plataformas sobre las que se instalan las cámaras y los sensores multiespectrales que nos permiten obtener datos de una explotación. No son el único tipo de plataforma, ya que estos sensores multiespectrales pueden estar instalados en satélites y en aviones; y tampoco son la única fuente de datos, porque también podemos obtener la información que necesitamos para la toma de decisiones, por ejemplo, a partir de sensores planta-clima-suelo que se instalan directamente en campo.

Hoy en día, la mayoría de las aplicaciones operativas que utilizan los agricultores se basan en la integración de distintos tipos de sensores que caracterizan tanto la variabilidad espacial, como la variabilidad temporal de las fincas.

Por tanto, los SARPs son vehículos que transportan sensores. Su potencialidad en agricultura para captar información viene dada por la precisión espacial con la que se puede tomar el dato y por la disponibilidad temporal de ese dato.

Debido a las características de las cámaras utilizadas y a la altura de vuelo, la resolución espacial de los datos obtenidos por un SARP es centimétrica. Además, un SARP puede volar en condiciones meteorológicas adversas y suele hacerlo por debajo de las nubes, por lo que la capacidad temporal de adquisición de datos puede aumentar considerablemente frente a satélites y aviones.

## 2. APLICACIONES POTENCIALES DE LOS SARPs EN AGRICULTURA

La principal potencialidad del uso de los SARPs en agricultura, es la de facilitar a los agricultores la capacidad de observar su explotación desde el aire, obteniendo así, una perspectiva de su cosecha que les permita detectar las incidencias en cada campaña agrícola. Estas incidencias van desde problemas de fertirrigación hasta infestaciones de plagas y hongos que no se ven a ras de suelo.

Esta observación desde el aire no tiene porqué ser solamente en el rango del espectro visible que es lo que ve el ojo humano, sino que puede hacerse en las regiones del infrarrojo reflejado y del infrarrojo térmico, mediante cámaras multiespectrales, donde la respuesta de los cultivos es más acusada (figura 2) y permite una mejor caracterización de lo que está ocurriendo en la explotación.

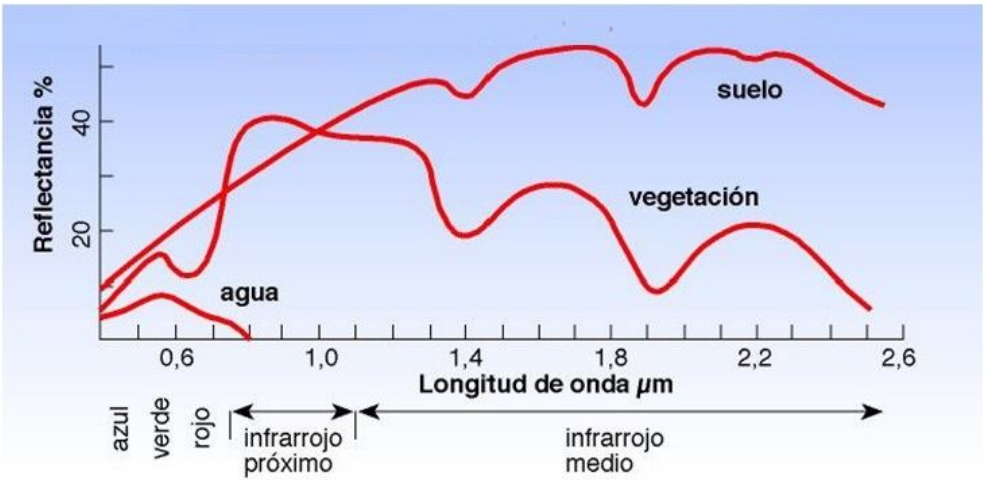


**Figura 2**. Curvas de reflectancia espectral de las principales coberturas de la superficie terrestre. En la curva de reflectancia espectral de la vegetación se puede ver como la reflectancia es mayor en los rangos del infrarrojo próximo que en la región del visible que es la que ve el ojo humano.

Además, disponer de un SARP nos permite volar los campos cada semana, cada día o incluso cada hora, permitiendo obtener una serie temporal, que facilita el seguimiento de la evolución de la cosecha y de las prácticas agrícolas que se realizan.

Potencialmente, los SARPS son un servicio de información sobre el estado hídrico de los cultivos, su grado de desarrollo vegetativo y su estado sanitario, que se puede obtener en tiempo real, para poder realizar riegos, fertilizaciones o tratamientos sanitarios, en las zonas de las fincas agrícolas donde se detecten dichas necesidades y en el momento que se considere más adecuado.

A diferencia de lo que ocurre en Estados Unidos, donde existen reacciones en contra de los SARPs ya que pueden invadir el derecho a la privacidad amparado en la Cuarta Enmienda de su Constitución, en Europa en la actualidad, existe una aceptación generalizada de su uso.

Aunque las aplicaciones de los SARPs en agricultura son incipientes, los investigadores ya llevan varios años trabajando en potenciales aplicaciones. En España, destacan los trabajos que están llevando a cabo desde el Instituto de Agricultura Sostenible del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IAS/CSIC).

López-Granados (2013) describe cómo se han usado Vehículos Aéreos No Tripulados en la evolución de la producción agraria. Se trata de varios trabajos sobre tres de los principales

problemas que pueden afectar al rendimiento de los cultivos en diferentes escenarios agrícolas*: i) la detección de áreas infestadas por malas hierbas en cultivos herbáceos; ii) la detección de zonas que necesitan mayor o menor riego en frutales y iii) la detección de zonas infectadas por hongos en olivar.*

Todos estos trabajos persiguen la cartografía de dichas variables para una posterior gestión localizada de fitosanitarios y riego.

En la literatura podemos encontrar muchas aplicaciones potenciales de los SARPs en Agricultura. Sin querer que esto sea una recopilación exhaustiva, ni entrar en detalle en cada una de ellas, a continuación se relacionan las más generalizadas:

- **Manejo eficiente del agua.** El estrés hídrico en los cultivos provoca el cierre de los estomas, reduciendo la transpiración y aumentando la temperatura de las hojas. Este aumento de temperatura se puede monitorizar mediante sensores térmicos (figura 3). Estos sensores permiten estimar las necesidades hídricas de cada planta por lo que se puede llegar a aplicar la cantidad más adecuada de agua, con el consiguiente ahorro energético, especialmente si se trata de explotaciones con aguas subterráneas.

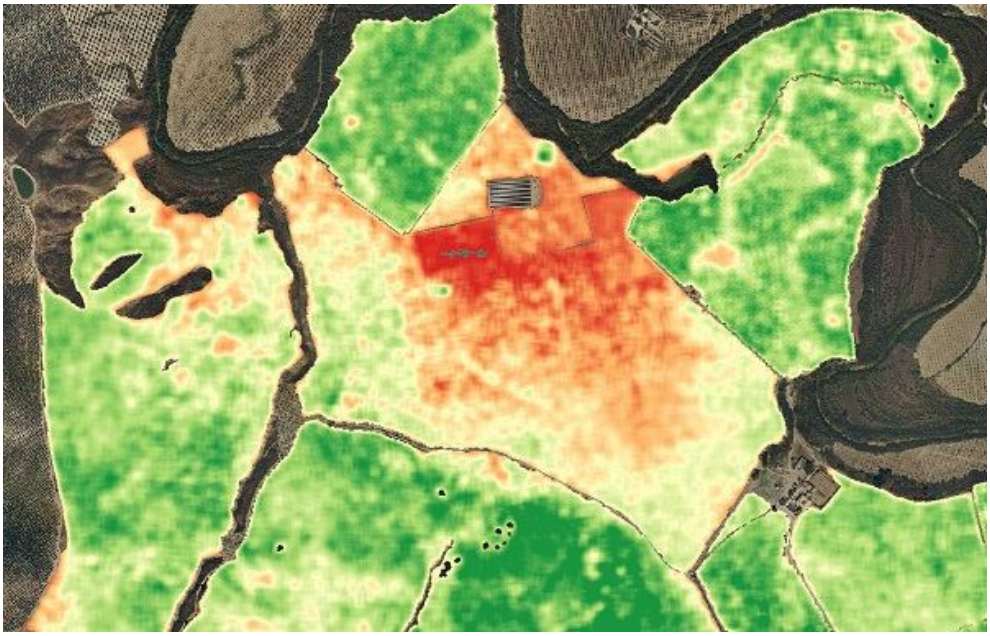

**Figura 3**. Cartografía del estrés hídrico en una explotación de olivo superintensivo en Jaén.

  Bellvert *et al*. (2012 y 2013) han cartografiado el estado hídrico de un viñedo utilizando imágenes térmicas obtenidas desde un SARP.

- **Tratamientos localizados de herbicidas.** Para realizar tratamientos localizados de herbicidas sólo en las zonas infestadas y poder adaptar la dosis y el tipo de herbicida, es necesario detectar y cartografiar con precisión las malas hierbas.

  En la mayor parte de los cultivos, los tratamientos se realizan en fases tempranas, cuando las malas hierbas y el cultivo están en un estado fenológico de plántula. En este estado de crecimiento tienen una respuesta espectral y una apariencia muy similares, por lo que para que el tratamiento sea localizado es necesaria su discriminación atendiendo a la composición y densidad de las malas hierbas.

**Figura 4**. SARP equipado con sensor multiespectral volando una parcela de maíz infestada de rodales de malas hierbas en época temprana (López-Granados, 2013)

- **Uso óptimo de fertilizantes.** La detección del stress nutricional en los cultivos, a partir de sensores multiespectrales que estiman el desarrollo vegetativo, permite la aplicación de fertilizantes sólo en las zonas en las que es necesario.

- **Detección temprana de enfermedades y plagas en cultivos.** La capacidad de tomar imágenes multiespectrales en cualquier momento, nos permite detectar los cambios que se están produciendo en los cultivos. La combinación de estos datos con predicciones climáticas de detalle ayudarán a la detección de enfermedades, especialmente por hongos.

  Calderón *et al*. (2013) detectaron los cambios fisiológicos que la enfermedad de la *Verticilosis* causa en el olivar con el fin de cartografiar los daños ocasionados en estados tempranos. Con esta información se pueden programar medidas de control que tienen efecto cuando los primeros olivos están afectados y la enfermedad está aún localizada en focos y no afecta al conjunto de la parcela.

  A otro nivel, el CSIC también ha desarrollado drones biomiméticos para ahuyentar plagas aviares en cualquier tipo de cultivos agrícolas.

- **Supervisión de áreas fumigadas.** La vista de pájaro que nos permiten tener los SARPs constituye una herramienta operativa para el seguimiento de las actuaciones que realizamos sobre nuestras fincas.

- **Indicadores de calidad en cultivos.** Las imágenes multiespectrales obtenidas desde un SARP en combinación con parámetros medidos en campo permiten, en el marco de un Sistema de Información Geográfica, obtener indicadores de calidad o producción de los cultivos.

- **Generación de inventarios de cultivos**. La observación aérea ha sido desde siempre una herramienta potente para la generación de inventarios de cultivos. Aunque para grandes superficies los SARPs no ofrecen las prestaciones de aviones y satélites de muy alta resolución, sin embargo, son una herramienta operativa en lugares de muy difícil acceso, en países con dificultades de infraestructura para operar aviones o en zonas con mucha cobertura nubosa.

- **Control de subvenciones agrarias**. En la actualidad la mayoría de controles de ayudas a la agricultura se realizan mediante imágenes de vuelos aerotransportados o imágenes de satélite. Sin embargo, los SARPs pueden ser una herramienta de apoyo al control en campo, aportando una visión aérea de la totalidad de la explotación que facilita el seguimiento de los cultivos y de su estado de desarrollo vegetativo.

- **Conteo de plantas**. Las plantas crecen con la luz del sol, por ello el agricultor se asegura de que los cultivos se siembren de manera que les permita obtener el máximo de luz solar. Las plantas que crecen más tarde que otras, pueden causar todo tipo de daños en el crecimiento de las plantas que las rodean. En este proceso de organización del cultivo es esencial el recuento de soporte (Amago, 2014).

  La forma tradicional de hacerlo es contar manualmente un área del campo y luego extrapolar los datos obtenidos a la totalidad de la finca. Los Vehículos Aéreos no tripulados proporcionan una nueva alternativa al método tradicional de recuento de soporte. En lugar de contar manualmente sólo una parte de la finca, permiten obtener información de todo el campo en el mismo tiempo que se habría utilizado para hacer el recuento de un área limitada.

  La información obtenida en los recuentos de soporte es la base para determinar los próximos pasos que puede realizar el agricultor para la mejora de su cultivo. Además, las experiencias obtenidas permiten establecer estrategias futuras de marco de plantación.

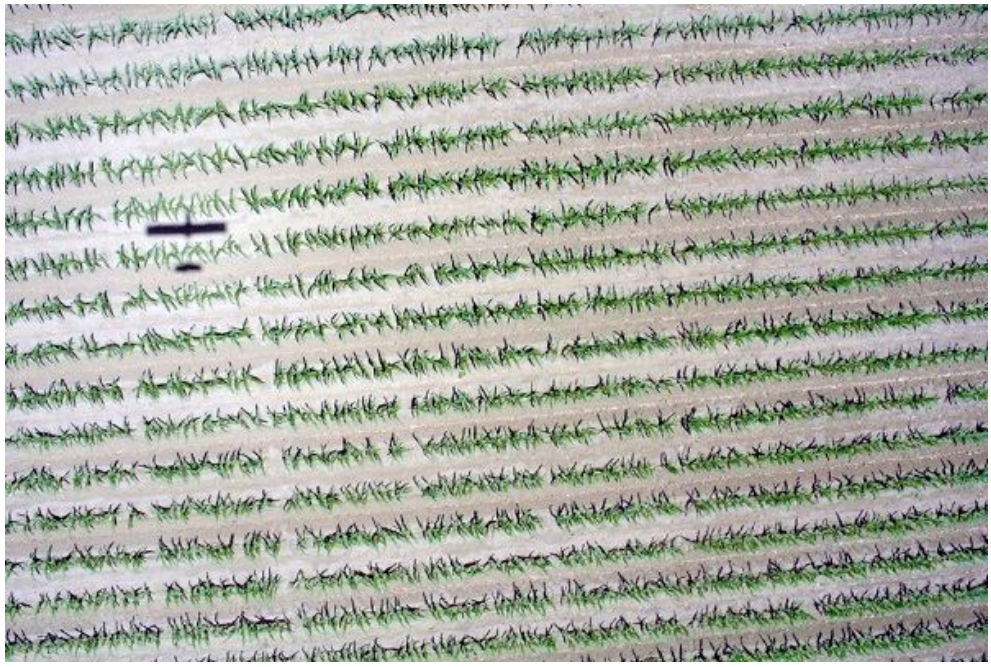

**Figura 5**. Cuenteo de plantas de maíz utilizando SARP (Amago, 2014)

- **Peritación de cultivos**. Cada vez más, la peritación de cultivos ante un siniestro, se apoya en imágenes multiespectrales obtenidas a partir de aviones y satélite. Estos datos permiten identificar con gran fiabilidad aquellas zonas que o bien no han sido afectadas o lo han sido al 100%. Sin embargo, la fiabilidad de esta peritación disminuye cuando el cultivo se ha visto afectado parcialmente, siendo necesario que el perito se desplace a campo (Erena et al, 2009).

  La posibilidad de volar sobre la parcela afectada y obtener imágenes multiespectrales de la finca puede ser una herramienta objetiva en los procesos de peritación.

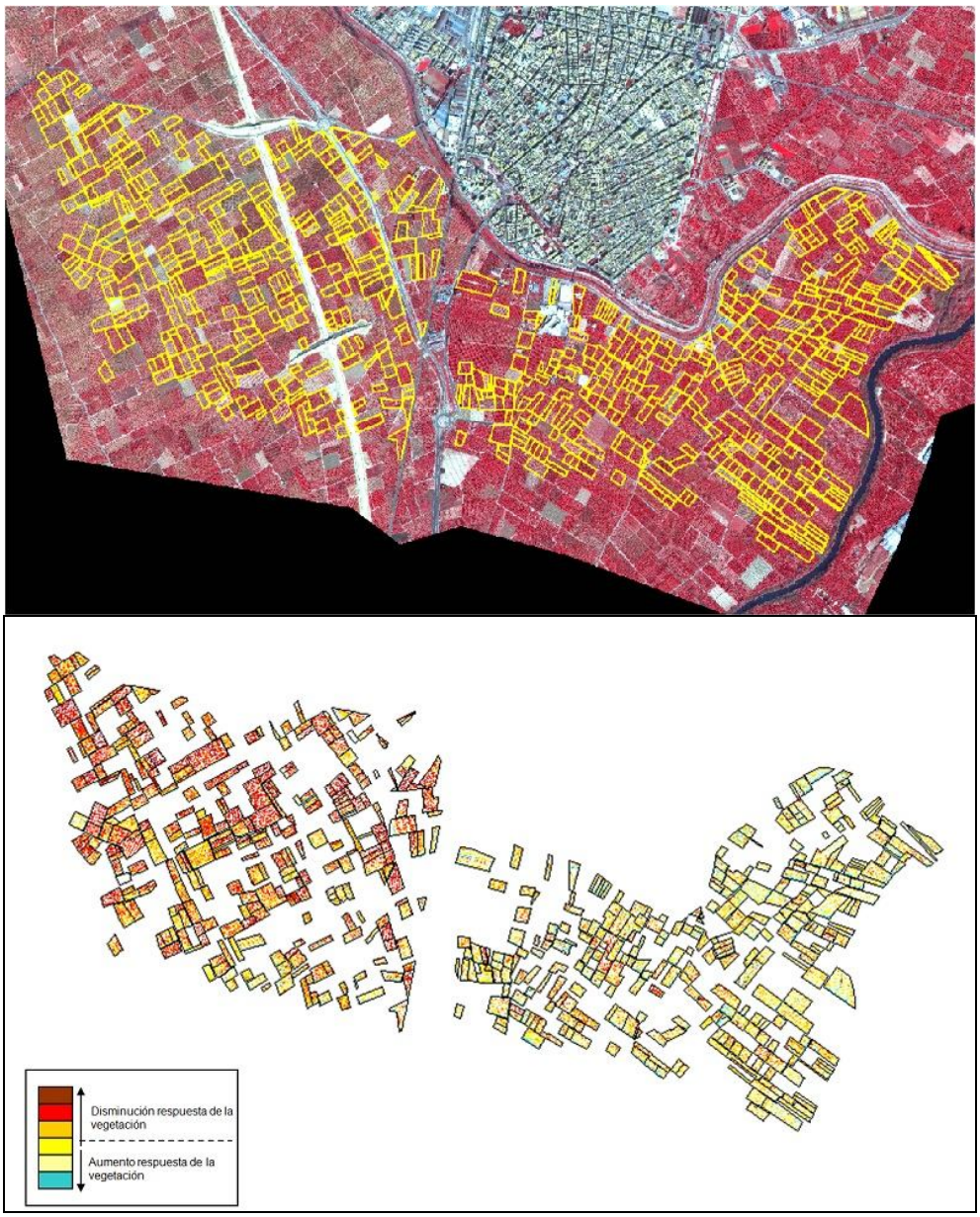


**Figura 6. Arriba.** Imagen multiespectral infrarroja con la localización de las parcelas de cítricos sujetas a peritación por un siniestro de helada. **Abajo**. Diferencia del Índice de Vegetación antes y después de la helada. Las parcelas son pre-clasificadas en función de la respuesta espectral de la vegetación y pueden ser contrastadas con los datos de campo de la peritación para detectar inconsistencias en el procedimiento.

## 3. APLICACIONES OPERATIVAS EN AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Berni et al (2009) consideran que los SARPs vienen a cubrir dos limitaciones que tiene actualmente el uso de satélites, en el manejo de cultivos en tiempo real, como son la falta de imágenes con resolución espacial y espectral óptimas y una mejora en la capacidad de revisita necesaria para detectar determinados problemas que afectan al desarrollo de los cultivos. Las alternativas basadas en plataformas aéreas tripuladas tampoco resultan efectivas debido a sus altos costes operativos.

Un requisito fundamental para proporcionar productos útiles de detección remota en agricultura es la capacidad de combinar alta resolución espacial y tiempos de respuesta rápidos. Los sensores multiespectrales colocados en vehículos aéreos no tripulados pueden llenar este vacío, proporcionando métodos de bajo coste para satisfacer los requisitos críticos de resolución espacial, espectral y temporal.

Hasta ahora hemos visto las potencialidades y las principales ventajas del uso de SARPs en Agricultura de precisión sin embargo, todas las experiencias que hemos presentado se han llevado a cabo en el campo científico o experimental, sin que puedan considerarse aplicaciones operativas.

Una aplicación operativa es aquella que resuelve un problema real a un coste razonable. Las aplicaciones operativas en Agricultura de precisión dependen:

a) **Del valor añadido del cultivo.** De nada sirve realizar una agricultura de precisión, si esto no se traduce en un incremento del precio final del producto o en un ahorro significativo en los costes de producción.

   En España, la viña y el olivo son los cultivos en los que más se aplican estas técnicas, ya que una mejora en la calidad del vino o del aceite se traduce en un incremento de su precio. Sin embargo, distintas experiencias en cítricos han demostrado que pese a la mejora en el calibre de fruto obtenido, el incremento de precio del producto no compensa los costes añadidos que supone aplicar estas técnicas de precisión.

   Los cultivos destinados a generar bioenergía también tienen un atractivo para utilizar técnicas de precisión, ya que un proceso industrializado como es la generación de biogás o biocombustibles depende de una materia prima (soja, forrajeras, cañas…) que debe garantizar la sostenibilidad del proceso de producción.

b) **De que la variabilidad influya en la producción/calidad final del producto.** El principio de la Agricultura de precisión es la caracterización de la variabilidad existente en un cultivo, pero esto no siempre es malo, por lo que es necesario conocer si esa variabilidad influye en la producción o en la calidad del producto.

c) **De que se pueda caracterizar la variabilidad.** La variabilidad de una explotación viene dada principalmente por tres factores: suelos/litología, morfología y desarrollo vegetativo del cultivo. Por tanto, es necesario contar con sensores capaces de caracterizar estos tres factores.

d) **De que la información obtenida permita la mejora del manejo del cultivo y de su productividad**. Muchas veces la detección de un problema no implica que se le pueda dar una solución, al menos fácil y económicamente rentable. Esto ocurre por ejemplo, cuando existe un sistema de riego por sectores y dentro de cada sector existen zonas con requisitos hídricos distintos. Pese a la caracterización de la demanda hídrica de cada planta, el agricultor no puede realizar riegos diferenciados.

En España, las aplicaciones comerciales en agricultura de precisión a partir de imágenes multiespectrales tomadas desde SARPs, aviones o satélites, están relacionadas con la viticultura y la olivicultura y están dirigidas, no tanto a la reducción de insumos, como a la mejora y caracterización de la calidad.

Un elemento fundamental a la hora de diseñar una aplicación operativa son los requisitos de usuario (¿Qué es lo que el usuario quiere y necesita?). En la tabla I podemos ver un resumen de los requisitos que un usuario de viticultura u olivicultura en España demanda a las imágenes multiespectrales obtenidas desde SARP, avión o satélite.

**Tabla I.** *Requisitos de usuario y características de las principales plataformas.*

| Requisitos | Agricultor | Satélite | Avión | SARP |
|---|---|---|---|---|
| **Resolución espacial** | 50 cm | 50 cm | 30 cm | 20 cm |
| **Resolución temporal** | a demanda | a demanda | permisos | a demanda |
| **Resolución radiométrica** | 10 bits | 10 bits | 10 bits | 10 bits |
| **Resolución espectral** | RGB+NIR | RGB+NIR | RGB+NIR | RGB+NIR+TIR |
| **Costes de adquisición** | (*) | 25,00 $/Km2 | Variable (**) | |
| **Adquisición mínima** | Tamaño de la finca | 100,00 Km2 | | |
| **Costes de operación** | | 0,00 €/Km2 | 0,00 €/Km2 | (***) |

(*) Los costes deberían estar en torno al coste de un tratamiento fitosanitario.
(**) El coste de adquisición de imágenes multiespectrales desde avión depende de muchos factores. En nuestra experiencia en agricultura de precisión los costes de adquisición han oscilado entre 0,30 €/ha hasta los 3 €/ha.
(***) En la actualidad el alquiler de un SARP con operador es de unos 600 € por medio día de trabajo. El precio no incluye gastos de transporte y viaje mayores de 50 Km.
RGB: Región del visible (Rojo-Verde-Azul).
NIR: Infrarrojo próximo.
TIR: Infrarrojo térmico.

Si analizamos las imágenes atendiendo a los 4 tipos de información que aportan, los usuarios requieren datos con una resolución espacial entorno a los 50 cm. Resoluciones mayores encarecen los tratamientos digitales que se realizan a la imagen original y aportan una información excesiva que el agricultor no aprovecha ya que, en el mejor de los casos, se va a posicionar en el campo con sistemas GPS portátiles que ofrecen una precisión de 2,5 a 3 metros (en el 95% del tiempo).

La resolución temporal que requiere el usuario es *"a demanda"*. No existe un criterio definido (diario, semanal, quincenal…) y suele depender de las observaciones y de las experiencias del agricultor en su trabajo cotidiano en campo.

La resolución radiométrica, que expresa la capacidad de un sensor, en una banda espectral determinada, para distinguir señales electromagnéticas de energía diferente, es decir, el número de posibles valores que puede tomar cada medida de energía, siendo un concepto muchas veces desconocido para el usuario, se acepta que sea de un byte (256 intensidades) o 10 bites (1024 intensidades). Es un concepto que acepta dentro de las prescripciones técnicas de los sensores multiespectrales.

La resolución espectral principalmente se centra en la región del visible y en la banda del infrarrojo próximo (NIR) a partir de las cuales se obtienen la mayoría de los índices de vegetación.

El usuario no entiende de costes de adquisición o de operación. El coste económico total de aplicar estas técnicas debe estar en torno al coste de un tratamiento fitosanitario. Los costes deben adecuarse al tamaño de la explotación y al valor añadido que se obtenga con esta información.

El usuario no entiende de escenas, polígonos o superficies mínimas y quiere que los datos sean de la totalidad de su finca.

Frente a estos requisitos de usuario, las distintas plataformas existentes en el mercado (SARP, avión y satélite), deben dar respuesta a estas necesidades. De poco sirve que tengamos una capacidad de obtener imágenes con resolución milimétrica, si al agricultor le basta con resoluciones cuasi-métricas.

Si nos atenemos a la resolución espacial, existen varios satélites que presentan resoluciones entorno a los 50 cm, como QuickBird, WorldView o GeoEye. En el caso de los aviones, la altura de vuelo y las características de la cámara condicionan la resolución espacial de las imágenes. En nuestra experiencia con el sensor multiespectral ADS40 de Leica, las resoluciones con aviones no presurizados están en torno a los 30-35 cm. Por último, los SARP también dependen de la cámara y la altura de vuelo.

En la figura 7 se puede ver un cuadro con las características principales de la cámara Tetracam Mini-MCA utilizable con SARPs. Para obtener una resolución de 50 cm necesitamos que el SARP vuele a una altura de casi 1.000 metros.

**Tetracam Mini-MCA (con objetivo de 9,6 mm)**

**Ejemplos de Resolución Base y Campo de Visión**

| Parámetros del sensor y la lente | Distancia del objeto (Altitud sobre el nivel del suelo en metros) | Resolución base en mm por píxel | Campo de Visión (Ancho x alto) en metros |
|---|---|---|---|
| Los valores mostrados a la derecha se obtuvieron desde el Calculador Óptico de FOV (Field Of View - Campo de Visión) que incluye el software Tetracam PixelWrench2 (suministrado con la cámara) usando los valores que se muestran a continuación: | 122m (~400 pies) | 66 | 84 x 67 |
| Dimensiones del sensor (mm): 6,66 X 5,32 | 213,4m (~700 pies) | 116 | 148 x 118 |
| Tamaño del píxel (micrones): 5.2 | 365,8m (~ 1200 pies) | 198 | 254 x 203 |
| Longitud focal de la lente de la cámara (mm): 9,6 | 915 m (~3000 pies) | 496 | 635 x 508 |

**Figura 7**. Ejemplos de resolución y campo de visión de la cámara Tetracam Mini-MCA.

La resolución temporal en los tres tipos de plataformas es *"a demanda"*, si bien en el caso de los aviones es necesario contar con el permiso de vuelo de la dirección General de Aeronáutica Civil. Los satélites dependen de su modelo orbital (cuándo pasarán por la zona de interés) y de la existencia de cobertura nubosa. Cuando se cursa una petición de adquisición, la empresa que gestiona el satélite abre una ventana de adquisición en la que garantiza la captura de la imagen si las condiciones son favorables.

La ventaja de los SARP es que si pueden volar por debajo de las nubes y no necesitan de permisos administrativos, la adquisición de la imagen está prácticamente garantizada en el momento en que se desee. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la captura de una zona amplia no es instantánea

por lo que la toma requerirá de un tiempo en el que las condiciones climáticas y de iluminación pueden cambiar sustancialmente.

Una ventaja operativa sustancial de los SARP viene de su capacidad de montar no sólo sensores en el rango del visible y del infrarrojo próximo, sino también en el térmico. Los satélites de muy alta resolución no cuentan con sensores que capten la radiación electromagnética en la región del térmico y, los satélites que cuentan con sensores térmicos lo hacen con resoluciones muy pequeñas (60 a 100 metros de resolución espacial).

En cuanto a los costes de adquisición, actualmente, las imágenes de satélite tienen unas condiciones claras y sencillas. Una imagen de muy alta resolución, de cualquier parte del mundo, con bandas en el visible y en el infrarrojo, con una superficie mínima de adquisición de 100 $Km^2$, adaptable a una poligonal con los límites de la zona de interés, cuesta unos 1.975 € (0,20 €/ha ó 25 $/$Km^2$).

En el caso de los vuelos con aviones tripulados es mucho más difícil establecer un precio unitario, ya que depende de la existencia de permisos, de la coincidencia con otras campañas que tenga la operadora del vuelo, de la superficie total a volar, de la distancia y dispersión de las fincas agrícolas. En nuestra experiencia en Agricultura de precisión los costes de adquisición han oscilado entre 0,30 €/ha hasta los 3 €/ha.

Si no tenemos un SARP, ni los sensores en propiedad y hay que alquilarlos, los costes son de unos 600 € por medio día de trabajo con operador especializado. No incluye los gastos de transporte y de viaje a distancias de más de 50 Km.

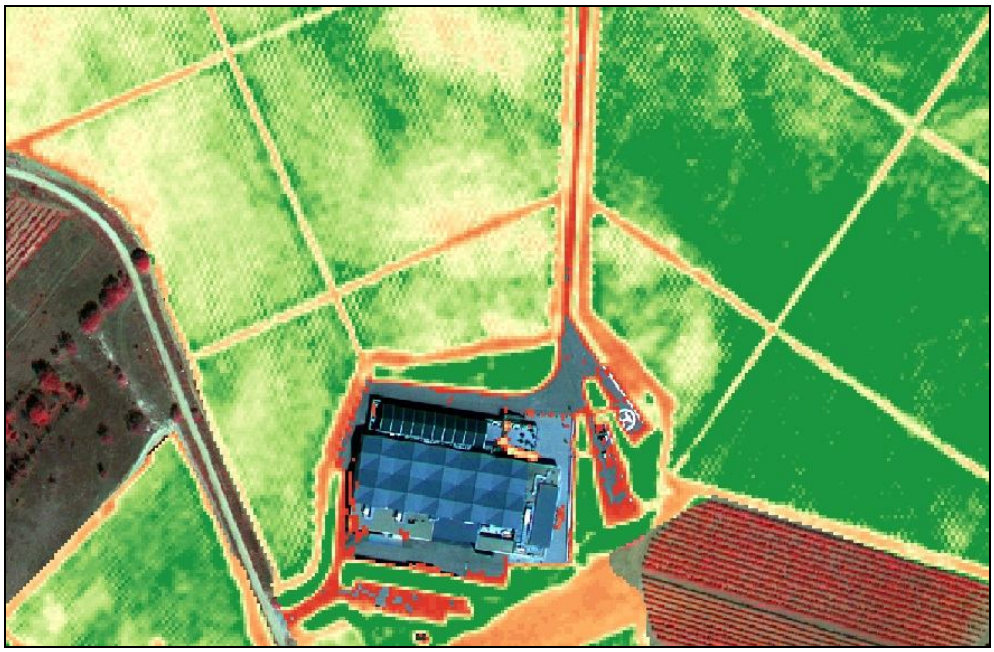

**Figura 8**. Índice de vegetación a partir de una imagen multiespectral. Estos índices de vegetación nos permiten conocer el desarrollo vegetativo del cultivo. Si contamos con una plataforma de captura de datos de alta periodicidad, como son los SARPs, podemos conocer la evolución de la cosecha y compararla con otras de referencia.

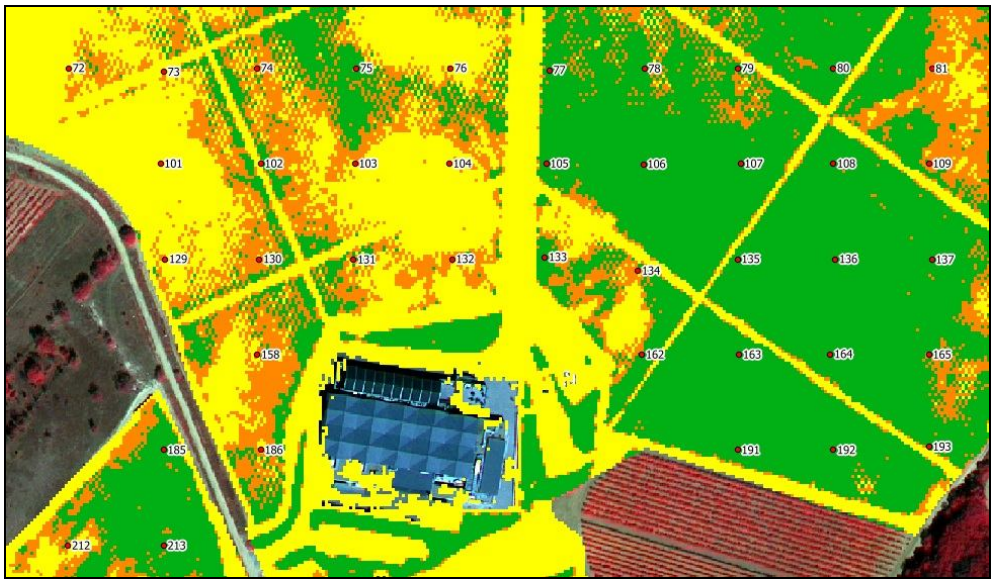


**Figura 9**. *Cluster* de una explotación vitícola y la distribución de los puntos de muestreo en campo. Muchas de las propiedades que determinan la calidad de la uva (pH, carga…) no pueden ser obtenidas por sensores y deben ser muestreadas en campo. Las imágenes multiespectrales capturadas desde un SARP son una fuente de datos necesaria, pero no suficiente y debe ser integrada con otros datos para obtener aplicaciones operativas.

Sobre todo, lo que tenemos que tener en cuenta para el desarrollo de aplicaciones operativas es que las imágenes multiespectrales, por sí solas, no son suficientes para caracterizar la variabilidad de una finca y es necesario combinarlas con la información aportada por sensores planta-clima-suelo y muestreos de campo (figuras 8 y 9).

Desde el año 2004, estamos utilizando imágenes multiespectrales obtenidas a partir de satélites, aviones y SARPs, junto con los datos aportados por sensores planta-clima-suelo, para caracterizar la variabilidad espacial y temporal de los cultivos (Romero et al, 2013; Montesinos et al, 2007; Alvarez et al, 2006). Algunas de las lecciones aprendidas son:

a) **Ni todos los cultivos, ni todas las explotaciones permiten aplicar técnicas de agricultura de precisión**. Si no existe una variabilidad en el cultivo que caracterizar y un valor añadido significativo, el agricultor no se plantea utilizar estas técnicas. En España, además, el nivel de parcelación es muy elevado, lo que dificulta la aplicación de estas técnicas. Un reto que tenemos por delante es que las asociaciones de agricultores (cooperativas, denominaciones de origen o comunidades de regantes) incorporasen estas técnicas como pieza básica de su gestión.

b) **Cada cultivo y hasta cada cosecha es diferente**. Cada cultivo tiene que ser medido y tratado de forma diferente para generar la información que requiere el agricultor. No existe una solución única, y es importante contar con especialistas en cada tipo de cultivo, que en última instancia, son los que pueden ofrecer soluciones a los agricultores.

c) **Cada explotación agrícola es diferente.** Cada explotación agrícola es singular, por su climatología, por su localización, por las prácticas agrarias que lleva a cabo o por el producto que pretende colocar en el mercado. Esto obliga a establecer métodos objetivos que faciliten la comparación entre parcelas y entre fincas.

d) **Los agricultores conocen sus fincas.** Es un error ofrecer soluciones cerradas que van a solucionar todos los problemas del agricultor. Los agricultores conocen sus fincas mejor que nadie y en muchos casos cuentan con casos de éxito (y de fracaso) que les permiten tener

una visión muy clara de su negocio. Además, son ellos los que se juegan su dinero con un objetivo: poner en el mercado el mejor producto posible al mejor precio posible.

e) **Los SARPs son vehículos sobre los que instalar sensores**. Lo importante no es la técnica, es la solución de un problema real. A la hora de elegir los SARPs como una herramienta para obtener la información que necesitamos para gestionar eficientemente la finca, hay que tener en cuenta sus ventajas, pero también sus inconvenientes y las alternativas existentes.

**f) Los satélites de muy alta resolución y los aviones son alternativas reales al uso de los drones.**

g) **Los técnicos de las explotaciones no quieren volar SARPs.** El agricultor está interesado en la imagen, no en la adquisición de la imagen. Los usuarios no quieren procesar datos, quieren información que les ayude en la toma de decisiones.

Por tanto, la operación y captura de datos desde un SARP debe ser totalmente autónoma, desde el despegue hasta el aterrizaje. La experiencia debe ser tan sencilla como pulsar un botón *"inicio"* y que la información aparezca en los dispositivos del agricultor (ordenador, tableta o móvil).

h) **Los usuarios quieren información contrastada**. Los agricultores saben de la complejidad de su trabajo y no creen en las soluciones milagrosas. No esperan que una sola técnica les solucione el problema, esperan soluciones integradas en las que los datos procedentes de distintas fuentes (muchas de ellas gratuitas) son sometidos a contradicción.

i) **La información para la toma de decisiones no la aporta una sola técnica**. La mejor información la aporta la integración de datos procedentes de distintas fuentes.

j) **Los drones son un elemento de marketing para una explotación**. La utilización de satélites y SARPs para obtener un producto de calidad llama la atención del público por la singularidad del tema.

Tras la presentación de un vino, los titulares de prensa destacan el proceso de cómo se ha obtenido el producto: *"Viticultura desde satélite"* o *"Drones para mejorar la calidad del vino"*.

## 4. UN FUTURO OPERATIVO

En la actualidad, existen ya empresas que alquilan o comercializan drones. El coste de alquiler por jornada completa con operador especializado puede variar entre 600 € a 3.000 € y, en el caso de compra, existen drones por precios entre 6.000 y 8.000€ hasta rangos entre 30.000 a 45.000€ en función de la tecnología y fiabilidad.

Desde nuestro punto de vista, el futuro no va a estar en el modelo de negocio basado en el alquiler o en proporcionar el servicio al agricultor, ya que existen alternativas más económicas y un abaratamiento importante de los alquileres supondría una falta de atractivo económico para el emprendedor. El problema no son los costes del SARP y su amortización, sino el coste de desplazar a pilotos hasta las explotaciones.

El futuro de los SARP en agricultura puede venir por dos vías: por un lado, la incorporación de **los SARPs como una herramienta agrícola más** para el agricultor, como es ahora el tractor (figura 10) y por otro, **SARPs con una autonomía de cientos de kilómetros**, que puedan ser programados desde las explotaciones y operen como los vuelos aerotransportados actuales, pero sin piloto.

Para que los SARPs sean una herramienta agrícola, es necesario un abaratamiento de los costes de adquisición, mayor robustez, bajo mantenimiento y una automatización de todo el proceso de adquisición hasta obtener la imagen, que el agricultor utilizará para decidir qué tratamiento fitosanitario o qué actuación debe realizar en su finca. No hay que olvidar que con toda la información generada no estamos curando al enfermo, sino diagnosticando la enfermedad.

**Figura 10**. Recreación de una explotación agrícola donde el tractor y el SARP cohabitan como herramientas agrícolas habituales.

Por otro lado, la otra posibilidad es que los SARPs no sean pequeños y manejables, sino grandes y con una gran autonomía y en este caso, una empresa opere el SARP a demanda.

En este modelo, no existiría desplazamiento del piloto al campo, sino un seguimiento de la adquisición de imágenes desde una base a cientos de kilómetros (al estilo de los actuales drones militares). Este tipo de drones pueden tener instaladas varios tipos de cámaras y sensores a la vez (video, visible, infrarrojo, térmico…), facilitando y mejorando la disponibilidad de datos.

Los costes se reducirían drásticamente, utilizando itinerarios que visitasen varias parcelas en una jornada.

La principal dificultad con la que se enfrenta este modelo es una regulación restrictiva del sector, que impida a este tipo de SARPs, llevar a cabo este tipo de trabajos.

Mirar al futuro siempre es apasionante, pero también incierto.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento personal a Rafael Álvarez de Verde Smart Co. y a Manuel Erena del Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (IMIDA), por la revisión crítica de este capítulo y a Bodegas Emilio Moro por permitir usar imágenes de su explotación Cepa 21 (Valladolid).

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


Álvarez, R., Huete, J., López, M., Bea, M., Fernández, L., Montesinos, S. (2006). Integración de nuevos métodos de diagnostico en la gestión de información agrícola para mejorar la rentabilidad y la sostenibilidad. *Revista Fruiticultura profesional* nº 161: 81-87. ISSN: 1131-5660

Amago, I. (2014). Utilizing the UAV for effective stand counting. http://media.precisionhawk.com/topic/utilizing-the-uav-for-effective-plant-stand-management/

AUVSI (2013). The economic impact of Unmanned Aircraft Systems integration in the USA http://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/AUVSI/958c920a-7f9b-4ad2-9807-f9a4e95d1ef1/UploadedImages/New_Economic%20Report%202013%20Full.pdf

Bellvert, J., Zarco-Tejada, P. J., Girona, J. and Fereres, E. (2013). Mapping crop water stress index in a '*Pinot-noir'* vineyard: comparing ground measurements with thermal remote sensing imagery from an unmanned aerial vehicle. *Precision Agriculture*, DOI 10.1007/s11119-013-9334-5.

Bellvert, J. and Girona, J. (2012). The use of multispectral and termal images as a tool for irrigation scheduling in vineyards. En Erena, M.; López-Francos, A.; Montesinos, S. y Berthoumieu, J.F. (2012): The use of remote sensing and geographic information systems for irrigation management in Southwest Europe. *Options méditerranéennes.* Serie B: studies and researchs. Number 67:131-138

Calderón, R., Navas-Cortés, J.A., Lucena, C. and Zarco-Tejada, P.J. (2013). High-resolution airborne hyperspectral and thermal imagery for early detection of Verticillium wilt of olive using fluorescence, temperature and narrow-band spectral indices. *Remote Sensing of Environment*, 139: 231–245.

Erena, M; Pérez, P., Montesinos, S., Bea, M., Sánchez, S., González, M., Ruíz, L. A., Recio, J., Hermosilla, T. (2009). Ensayos para la estimación de daños producidos por heladas y sequías en cítricos mediante imágenes de alta resolución espacial. XIII Congreso Internacional de Teledetección. Calatayud, 23 al 26 septiembre 2009. ISBN: 978-84-613-4257-0: 73-76.

López-Granados, F. (2013). Uso de Vehículos Aéreos No Tripulados para la evaluación de la producción agraria. *Revista Ambienta nº 105*: 40-52

Montesinos, S., Bea, M., Fernández, L., Álvarez, R. (2007). Las imágenes de satélite en la gestión de la viña. *Revista Enología nº 5*. Año IV Septiembre-Octubre 2007. ISSN: 1668-3889

Peña, J.M.; Torres-Sánchez, J.; de Castro, A.I.; Kelly, M. y López-Granados, F. (2013). Weed mapping in early-season maize fields using object-based analysis of unmanned aerial vehicle (UAV) images. *PLOS ONE*. DOI: 10.1371/journal.pone.0077151

Romero, M; Pita, M.F. y Montesinos, S. (2013). Aplicación de técnicas de teledetección y geoestadística para la estimación del LAI en el ámbito de la agricultura de precisión en olivicultura. *Geofocus nº 13-1*: 177-194. ISSN: 1578-5157