

## Perspectivas y avances del uso de UAV en AP en EE. UU.

**Bruno Basso**

Universidad Estatal de Michigan  
East Lansing, MI, EE. UU.

La agricultura de precisión (AP) se refiere a la aplicación de técnicas y sensores geoespaciales (como los sistemas de información geográfica, los sensores remotos, y el GPS) para identificar y tratar variaciones en el campo mediante la utilización de estrategias alternativas. En particular, las imágenes satelitales de alta resolución son las más utilizadas en la actualidad para estudiar estas variaciones en las condiciones del cultivo y del suelo. Sin embargo, la disponibilidad y los costos a menudo prohibitivos de dichas imágenes sugerirían un producto alternativo para esta aplicación particular en la AP. Concretamente, las imágenes tomadas por las plataformas de sensores de baja altitud, o pequeños sistemas aéreos no tripulados (UAS, por sus siglas en inglés), demuestran ser una alternativa posible debido a su bajo costo de operación para el monitoreo ambiental, la alta resolución espacial y temporal, y su gran flexibilidad en cuanto a la programación para la obtención de imágenes. Como era de esperar, ha habido varios estudios recientes sobre la aplicación de las imágenes obtenidas mediante UAS en la AP. Los resultados de estos estudios indicarían que, para proporcionar un producto final confiable a los productores, se requieren avances en el diseño de plataformas, en la producción, en la estandarización de la georreferenciación y los mosaicos de imágenes, y en el flujo de extracción de información. Además, se sugiere que dichos esfuerzos deberían incluir al productor, particularmente en el proceso de diseño del campo, la obtención de imágenes, y el análisis y la interpretación de las imágenes.

Se espera que los drones brinden beneficios tanto a los grandes como a los pequeños productores. Los pequeños productores pueden ahorrar dinero y recursos gracias a una mayor precisión. Por su parte, los grandes productores pueden, por ejemplo, mapear y caracterizar la sanidad y el rendimiento de los cultivos de superficies más grandes con mayor facilidad. Este control del suelo solía hacerse a pie, y de esta forma los mismos productores observaban qué zonas necesitaban más agua o fertilizante. Con la llegada de la agricultura de precisión, los sensores remotos se han convertido en algo fundamental para una gran cantidad de actividades agrícolas.



Sin embargo, actualmente los drones pueden ofrecer imágenes a medida de una forma más económica. El GPS de alto rendimiento permite que estos drones se controlen con precisión y permanezcan estables.

En comparación con las imágenes satelitales, las imágenes obtenidas mediante UAS (foto 1) generalmente tienen resoluciones temporales (obteniones diarias) y espaciales (centímetros) más altas, lo que hace que sea necesario examinar la aplicación de imágenes de alta resolución en la AP. Con respecto a las imágenes de

alta resolución, se han realizado varios estudios que examinan las condiciones del cultivo, especialmente aquellas que tienen que ver con el índice de área foliar (IAF). El IAF es el parámetro de canopia fundamental en dos procesos fisiológicos básicos: la fotosíntesis y la evapotranspiración. Ambos procesos dependen en gran medida de la radiación solar. Otras medidas estimadas utilizando los datos de los sensores remotos incluyen las propiedades del suelo superficial, el estrés hídrico, la cobertura vegetal, el contenido de nitrógeno, la altura del cultivo, la biomasa superficial, el rendimiento del cultivo, la cantidad de malezas y las especies de cultivos. Estos datos también han sido utilizados para monitorear, a lo largo del tiempo, otros parámetros biológicos como el contenido (o concentración) de clorofila o de nitrógeno en la hoja.

Muchos de los parámetros antes mencionados se determinan utilizando índices de vegetación que se encuentran entre las herramientas más utilizadas en la detección remota agrícola. En particular, los índices de vegetación como el índice de vegetación de la diferencia normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés), el índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI, por sus siglas en inglés), y el índice NDVI verde se han utilizado ampliamente para el estudio cuantitativo de varios parámetros biológicos. Sin embargo, un problema común con el uso de estos índices en los estudios agrícolas es la saturación a valores elevados del IAF.

Según una encuesta realizada en los EE. UU. en el año 2009, la adopción de imágenes satelitales y fotografías aéreas en la AP aumentó de un 16,1 % a un 30,3 % entre el año 2004 y el 2009. No obstante, la cantidad de personas que utiliza los sensores remotos como parte de las tecnologías de AP aún es reducida. Las limitaciones identificadas para la aplicación de los sistemas de sensores remotos en el manejo de los campos incluyen las siguientes: la recolección y el envío de las imágenes de manera oportuna, la falta de datos de alta resolución espacial, los problemas con la interpretación de las imágenes y la extracción de datos, y la integración de estos datos con los datos agronómicos en sistemas expertos. Por ejemplo, algunas decisiones particulares respecto del manejo del campo, como la detección o el manejo de las malezas, requieren de imágenes de muy alta resolución espacial, por lo general en centímetros. Las imágenes satelitales de alta resolución más nuevas (por ejemplo, WorldView-2 y GeoEye-1) no pueden brindar datos de alta frecuencia para una situación de emergencia (por ejemplo, el control de estrés nutricional, o enfermedades) con un período de revisita limitado de 1 a 2 días. Las condiciones climáticas también son un impedimento crítico para la obtención de imágenes satelitales, ya que la época de cultivo es también la época de lluvias. Además de las limitaciones reales del sensor, las aplicaciones de los sensores remotos en la agricultura también están limitadas por los problemas de análisis e interpretación que surgen cuando se utilizan grandes cantidades de datos digitales. También se ha percibido la inutilidad del mapeo de los cultivos en crecimiento, además de la relativamente poca cantidad de analistas o consultoras confiables de detección remota que puedan ocuparse de estos productos. Por último, se indica que una razón principal para la baja tasa de adopción de imágenes mediante sensores remotos en la AP es la no disponibilidad de estimaciones confiables de rendimiento económico a partir de la aplicación de imágenes detectadas de manera remota. Algunas personas creen que los costos, la disponibilidad, la flexibilidad y el procesamiento de las imágenes satelitales detectadas de manera remota han hecho que su aplicación sea prohibitiva y poco práctica.

### **UAV pequeños**

Como se mencionó anteriormente, los costos y la disponibilidad de las imágenes satelitales de alta resolución limitan, con frecuencia, sus aplicaciones en la AP. En consecuencia, los UAS podrían ser un sustituto más práctico y económico de los

satélites y aeronaves para la obtención de datos de alta resolución a través de sensores remotos. Además, los UAS son una herramienta inmediatamente accesible para los investigadores de detección remota y los productores. En los últimos años, pequeños UAS comerciales han estado disponibles para las aplicaciones ambientales y agrícolas. Desde quizás el primer caso conocido de aplicación civil del UAS, se ha demostrado que el dron de ala fija, el helicóptero, y la generación más reciente del micro cuadricóptero con capacidad de despegue y aterrizaje vertical (VTOL, por sus siglas en inglés) son instrumentos útiles para las aplicaciones agrícolas locales. Es posible que la flexibilidad en los tiempos de obtención y los costos mucho más reducidos para la extracción de imágenes haga que la industria de los pequeños UAS supere la demanda de la industria de las aeronaves tripuladas tradicionales. Las imágenes capturadas mediante UAS generalmente tienen una resolución espacial de centímetros, y la obtención de las imágenes es manejable y no tan influenciada por la nubosidad. En consecuencia, las imágenes obtenidas mediante UAS pueden ser una alternativa práctica a las fotografías aéreas y a las imágenes satelitales de alta resolución. A pesar de que no ha habido muchos casos prácticos sobre UAS en la AP, se están volviendo cada vez más evidentes en la bibliografía los ejemplos de las aplicaciones de UAS en los estudios ambientales. Estos estudios pueden brindar conocimiento sobre cuán aplicables podrían resultar estos instrumentos para varios emprendimientos en la AP.

El uso de pequeños UAS ha prosperado en la última década, y se emplean concretamente para monitorear el cambio ambiental. En la actualidad existe una inmensa cantidad de estos instrumentos disponibles a distintos costos. Algunas de las plataformas más económicas utilizadas para controlar las condiciones ambientales incluyen las siguientes: dirigibles, globos, barriletes y los pequeños UAS, también conocidos como vehículos aéreos no tripulados (UAV, por sus siglas en inglés), vehículos aéreos piloteados a control remoto (RPV, por sus siglas en inglés), aeronave operada a control remoto (ROA, por sus siglas en inglés), y helicópteros controlados por control remoto (helicóptero RC).

Además de la variedad de plataformas disponibles, existen muchos tipos de sensores remotos que pueden utilizarse para la recolección de datos reales. Los sensores empleados para la captura de imágenes incluyen cámaras fotográficas, cámaras digitales (no métricas) e incluso cámaras digitales modificadas con una banda de infrarrojo cercano. También se han desarrollado cámaras específicas para el UAV como la cámara multiespectral ADC y la cámara de mapeo MCA. Para obtener imágenes a fin de realizar georreferenciación o generar mosaicos más detallados o para obtener imágenes de puntos predefinidos, se necesitan los datos del GPS/INS del UAS y una estación de control terrestre con un sistema de planes de vuelo. De esta forma, las imágenes capturadas pueden transmitirse (es decir, bajarse) a la estación terrestre o pueden almacenarse en la memoria del sensor de la unidad hasta que el vehículo aterrice. También existen componentes de control de vuelo y navegación para las generaciones más nuevas de UAS. El componente de navegación se utiliza para controlar la ruta de vuelo del UAS y, también, para controlar o corregir el estado de vuelo (posición y orientación) de la plataforma. El componente de vuelo se emplea para mantener la estabilidad de la plataforma, a fin de garantizar que la posición de esta sea la óptima para la obtención de las imágenes.

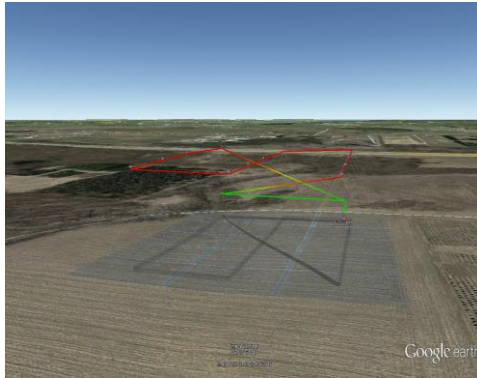


Foto 2. Plan de vuelo de UAV: microdrones.

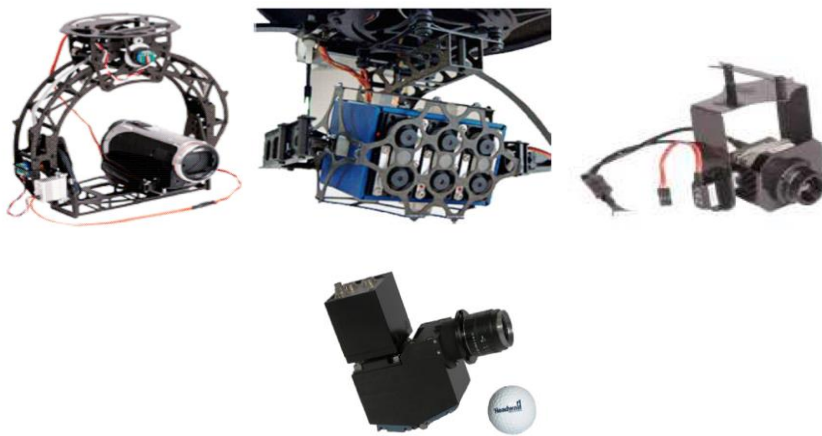


Foto 3. Tipos de sensores: cámara, multispectral, térmico, hiperespectral

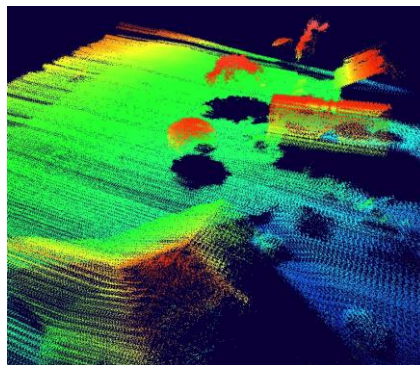


Foto 4. Imagen del escáner láser que muestra la altura de los objetos



Figure 2: Mini UAV of weControl (Zurich)  
with the RGB sensor Canon EOS 20D.  
*Nebiker et al., 2008*



Figure 1: UAV "Carolo P330" ([www.mavionics.de](http://www.mavionics.de))  
*Grenzdörffer et al., 2008*



Figure 5: Quadcopter micro UAV 'microdrones md4-200'  
with the prototype MSMS multispectral sensor.  
*Nebiker et al., 2008*



Figure 2: Quanta-G fixed wing UAV.  
*Berni & Zarco-Tejada, 2009*

Foto 5. Diferentes tipos de UAV

Las imágenes obtenidas mediante UAS generalmente tienen una homogeneidad radiométrica más alta que una imagen aérea o una satelital, debido a la baja altitud de la obtención. Sin embargo, los sistemas UAS también heredan problemas únicos de calidad de la imagen. Por ejemplo, el poco peso de muchos sistemas UAS hace que la posición de la cámara sea menos estable lo que, a su vez, da como resultado una resolución espacial diferente o distintos ángulos de visión, de una imagen a otra, dentro del mismo plan de vuelo. La baja altitud de vuelo de estas aeronaves también puede dar como resultado una grave distorsión geométrica. Además, esta baja altitud permite obtener una gran cantidad de imágenes mediante UAV para cada campo. También existen problemas técnicos con las imágenes capturadas por las cámaras de UAS como, por ejemplo, una imagen borrosa causada por un movimiento hacia adelante. Para compensar, es muy común el empleo del sobremuestreo, pero esto genera un gran volumen de datos.

Debido a la gran cantidad de imágenes capturadas, la creación de mosaicos de imágenes resulta un paso de preprocesamiento necesario. A pesar de que ha habido casos exitosos en los que se utilizó la corrección geométrica manual, esta puede resultar inviable para la aplicación en la AP donde se necesita monitorear superficies más grandes. El tiempo de respuesta (es decir, el tiempo empleado para procesar y entregar los productos finales a los usuarios) se convierte en una preocupación principal para estos dispositivos, debido a los cientos de imágenes que se capturan a menudo y a la solicitud de una respuesta rápida por parte de los productores. No obstante, también son necesarias la corrección geométrica y la ortorectificación antes de poder combinar las imágenes debido a la pequeña área de barrido y a la inestabilidad de la plataforma. Algunos métodos que se han desarrollado para abordar este problema son los siguientes: la georreferenciación manual utilizando los puntos

de control terrestres (GCP, por sus siglas en inglés) recolectados, la coincidencia de fotografía, y la georreferenciación automática utilizando los datos de navegación junto con un modelo de distorsión de una lente de cámara.

Además se plantea que, por cuestiones prácticas, debe revisarse primero la calidad de las imágenes recolectadas mediante una plataforma UAS para poder seleccionar la rutina de preprocesamiento más adecuada. Es posible que existan muchos otros problemas que necesiten ser abordados, como los efectos de ángulos múltiples, los efectos de la función de distribución de reflectancia bidireccional (BRDF, por sus siglas en inglés), los efectos de difuminado, y la repercusión de las nubes o sombras.

Aunque representan un problema, la mayoría de los estudios sobre UAS hasta la fecha han aplicado muy poco preprocesamiento de imágenes o simplemente han utilizado los datos brutos del valor de brillo o luminosidad (BV, por sus siglas en inglés). Esto es, en parte, debido al hecho de que muchas de estas investigaciones utilizaron cámaras digitales comunes para capturar los datos. Es más, solo unos pocos estudios han convertido los BV a valores de reflectancia antes de calcular los índices de vegetación (Hunt 2005; Berni et al. 2009b).

En síntesis, los problemas de la aplicación de imágenes obtenidas mediante UAS, generalmente, son idénticos a aquellos de las aplicaciones de imágenes aéreas y satelitales tradicionales, según Moran et al. (1997).

Entre estos problemas se pueden mencionar el calibrado del instrumento, la corrección atmosférica, la corrección del difuminado, la corrección de la desviación de la línea, el registro de banda a banda y el mosaico. Para la mayoría de las aplicaciones, los procedimientos de procesamiento de imágenes deben ser automatizados, de manera que la entrega de los productos finales de las imágenes sea a tiempo. Esto es de suma importancia para los sensores remotos de UAS (Hardin y Jensen 2011) dada la cantidad de datos recolectados, la magnitud de las distorsiones, y los tiempos de respuesta requeridos.

El creciente uso de la AP por parte de los productores en los Estados Unidos se ha informado en una encuesta reciente realizada por el Centro de Agronegocios y Alimentos en el año 2009 (Whipker y Akridge 2009). Según este estudio, los sistemas de guiado por GPS son las técnicas de AP adoptadas más comúnmente. Entre el 2003 y el 2009, la tasa de adopción aumentó constantemente de un 61,1 % a un 78,6 %.

El conocimiento de los productores sobre la variación en sus campos también es un factor importante que influye tanto en la percepción como en la adopción de las tecnologías de la AP (Adrian et al. 2005). Se observó que aquellas personas que tienen más conocimiento sobre la variación espacial en las propiedades del suelo de tierras arrendadas tenían más posibilidades de reconocer y adoptar la tecnología de AP.