

Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología

Drones a tool for efficient agriculture: a high-tech future

Edwin Pino V.^{1*}

RESUMEN

Este artículo es una revisión sobre el estado actual del uso de la tecnología de drones y los productos que se obtienen con sus vuelos programados. Se establecen los tipos utilizados con más frecuencia en la agricultura de precisión, los tipos de cámaras y/o sensores usados, las imágenes obtenidas luego del procesamiento de la información lograda con los sensores. Asimismo se especifican las aplicaciones que se pueden realizar en la actualidad en las actividades o labores agrícolas, estimación de la evapotranspiración y contenido de humedad del suelo, nutrientes en los cultivos y rendimiento de los cultivos. También se establecen las ventajas y desventajas del uso de esta tecnología, desde aspectos técnicos hasta económicos, dando alternativas factibles para su utilización.

Palabras clave: drones, agricultura eficiente, agricultura de precisión, drones y agricultura

ABSTRACT

This article is a review on the current status of the use of drones technology and the products obtained with scheduled flights. It establishes the types most frequently used in precision agriculture, the types of cameras and / or sensors used, the images obtained after the processing of the information obtained with the sensors used. It also establishes the possible applications that can be made to the present in agricultural activities or work, estimation of evapotranspiration and soil moisture content, nutrients in crops and crop yield. The advantages and disadvantages of the use of this technology are also established from technical to economic aspects, giving feasible alternatives for its use.

Key words: drones, efficient agriculture, precision agriculture, drones and agriculture.

Introducción

La gestión de los recursos hídricos de un país depende, en gran medida, del conocimiento de las cuencas hidrológicas existentes, del potencial de estas y del manejo adecuado de los excedentes hídricos. El desarrollo tecnológico actual y de las últimas décadas nos lleva a usar los productos de los sensores remotos (satélite y radar) en la gestión del agua y la agricultura, por ejemplo, en la administración y planeamiento de las actividades de previsión y control de las crecidas, inundaciones y las sequías muy ligadas a la producción agrícola. Hoy en día, los gestores del agua utilizan esta información espacial para prevenir o cuantificar

todo tipo de parámetros relacionados con el uso del agua, las sequías, las inundaciones, etc. Asimismo, el uso de vehículos aéreos no tripulados (VANT o DRONE) cada vez se hace más frecuente, basado en la complejidad que tienen los sistemas naturales para su estudio, ya que en la mayoría de los casos debemos realizar monitoreo, toma de muestras, etc., los cuales son muy complicados o de alto riesgo. Por tanto, su uso queda plenamente justificado. La denominación VANT está ligada a vehículos militares y DRONE a vehículos no tripulados para operaciones civiles (Puri *et al.*, 2017).

Desde el siglo XIX hasta la actualidad se viene dando su evolución y surgimiento. Hay una serie

¹ Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú.

* Autor por correspondencia: epino68@hotmail.com, epinov@unjb.edu.pe

Fecha de recepción: 31 diciembre, 2018.

Fecha de aceptación: 03 febrero, 2019.

DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292019005000402>. Publicado en línea: 13-junio-2019.

de hechos históricos y aspectos relevantes que poco a poco han ido dando forma a lo que hoy conocemos como una nueva manera letal de matar a distancia y que además ha originado el crecimiento de aparatos o unidades no tripuladas como una tecnología potente desarrollada también en el sector civil, específicamente, en el campo de la agricultura de precisión. Los primeros usos fueron con fines militares, y uno de los primeros registrados fue el de los austriacos en julio de 1849, después de que se pusieran en marcha alrededor de doscientos globos aerostáticos no tripulados montados con bombas en la ciudad de Venecia. Los drones, o vehículos aéreos no tripulados, han sido utilizados por los militares desde la Primera Guerra Mundial para la vigilancia remota. Tras estos avances científicos y tecnológicos, en la última década, los agricultores comenzaron a usarlos para monitorear sus campos, así como para ayudar a los programas de agricultura de precisión (Stehr, 2015). Hay estimaciones de que 80 a 90% del mercado de aparatos no tripulados en la próxima década se utilizará en la agricultura.

En este trabajo de revisión buscamos establecer los avances en el uso de los drones como una herramienta para una agricultura eficiente, de precisión, y determinar cuál será el futuro de esa tecnología que se nos viene en esta línea de investigación.

Metodología

Según las características del caso revisado, metodológicamente establecimos interrelaciones, donde se consultan estudios académicos y material oficial de dominio público de instituciones académicas, tecnológicas y científicas. Bajo esta metodología buscamos explicar los avances en la actualidad y el futuro del uso de los drones en la agricultura de precisión y con alta eficiencia. Existe documentación que fue analizada y se esquematizó para ser reportada en este trabajo y a la vez sirvió para establecer la discusión y conclusiones sobre el uso de los drones como una herramienta para una agricultura eficiente.

Tipos y clases de vehículos no tripulados

Los vehículos no tripulados o simplemente drones pueden ser aéreos, terrestres o acuáticos. En cualquiera de los casos, estos equipos se encuentran en constante evolución y su aplicación se ha extendido a los diferentes campos del conocimiento humano, en

las ciencias e ingenierías, especialmente, el tema que abordamos sobre la agricultura de precisión. Se pueden clasificar desde diferentes perspectivas: por el uso, por el tipo de control o por su forma. En cuanto al uso podemos encontrar: (a) Drones militares. Suelen ir armados y con capacidad de bombardeo, aunque otras veces son únicamente para espionaje. (b) Drones civiles. Son aquellos que no tienen uso militar y a su vez pueden ser: drones de uso comercial, para la venta de servicios como la fotogrametría, multimedia, etc.; drones para aficionados, para su uso como hobby; drones de uso gubernamental, para las fuerzas del estado, bomberos, rescate, etc.

Por el tipo de control que utilizan pueden ser: (a) Autónomo. No necesita de un piloto humano que lo controle desde tierra. Se guía por sus propios sistemas y sensores integrados. (b) Monitorizado. En este caso sí se necesita de un técnico humano. La labor de esta persona es proporcionar información y controlar el feedback del drone. El drone dirige su propio plan de vuelo y el técnico, a pesar de no poder controlar los mandos directamente, sí puede decidir qué acción llevará a cabo. Este sistema es habitual en labores de agricultura de precisión y fotogrametría. (c) Supervisado. U operador lo pilota, aunque puede realizar algunas tareas autónomamente. (d) Preprogramado. Sigue un plan de vuelo diseñado previamente y no hay forma de modificarlo para adaptarse a posibles cambios. (e) Controlado remotamente (R/C). Es pilotado directamente por un técnico mediante una consola.

En cuanto a su forma tenemos: (a) Multirrotores. Son los más usados actualmente. Se componen de varios motores independientes situados en los extremos del aparato. Se suelen clasificar según el número de motores en tricópteros (3), cuadricópteros (4), hexacópteros (6) y octocópteros (8). Su uso es el más extendido debido a su gran estabilidad y la facilidad y cantidad de maniobras que pueden realizar, además de poder volar estáticamente en el lugar que les indiquemos. Su desventaja es el gran consumo de energía que necesitan para mantener el vuelo y su autonomía que suele estar entre los 15 y los 30 minutos. Son ideales en el sector audiovisual y en la inspección industrial. (b) Helicópteros. Su forma es la de un helicóptero convencional pero de tamaño pequeño. Está compuesto de un solo motor principal y ello le otorga gran capacidad de carga y autonomía. Existen modelos de combustión interna que pueden volar durante una (1) hora sin repostar. No obstante, su complejidad tanto a nivel mecánico como de control los ha hecho menos accesibles y son los menos

utilizados. Ideales para fotogrametría, vigilancia o agricultura de precisión. (c) Ala fija. Son aquellos cuya fisonomía es similar a la de un aeroplano. Están compuestos por un cuerpo principal unido a dos alas que les permiten planear y un rotor en cola cuya propulsión puede ser eléctrica o de combustión. Sin duda es el más eficiente aerodinámicamente hablando y el que tiene mayor autonomía de vuelo. Por otro lado, existe el inconveniente de que es el que menor carga puede llevar, tiene menos agilidad de maniobras ya que no puede permanecer inmóvil y necesita una gran superficie para despegar o aterrizar. No obstante, su gran autonomía lo convierte en un candidato ideal para las labores de fotogrametría y agricultura de precisión.

Tecnología disponible en la actualidad para la agricultura

En el mercado internacional hay diversos tipos de drones para la agricultura. Los más utilizados en este campo son el multirrotor-cuadricóptero (tiempo de vuelo de 30 minutos y cobertura por vuelo de 65 ha) y el de ala fija (tiempo de vuelo de 30 a 90 minutos y cobertura por vuelo de 120 a 3.800 ha), como se observa en la Figura 1. Un aspecto importante son los sensores utilizados. No necesariamente han sido producidos y calibrados para la agricultura los sensores que capturan imágenes rojo-verde-azul (RGB) e infrarrojo cercano (NIR). En la Figura 2 se muestran estos dos tipos de imágenes (Patel, 2016). Las fotografías que se toman deben venir geolocalizadas, de tal manera que puedan ser ubicadas exactamente para ser sobrepuestas y con ellas formar el mapa de

la plantación. Estos tipos de sensores se encuentran en Go-Pro, Canon, Sony y cualquier otra marca de cámaras. Las cámaras de tipo agrícola tienen filtros especializados que las hacen más costosas. Ejemplos de cámaras especializadas para la agricultura son la Micasense Red-Edge y Parrot Sequoia. Estas cámaras son ligeras y están diseñadas específicamente para la potencia de los drones. Otro aspecto importante es la ubicación en el terreno: los drones tienen GPS incorporado que dan la localización en el vuelo. La precisión manejable en la actualidad en estos equipos es de +/- 3 m.

En cuanto a los productos de estos vuelos programados, los mapas que se obtienen utilizando drones comerciales son el Índice Normalizado de Vegetación Diferencial (NDVI) o similares. El NDVI es un índice que muestra en forma general el estado de salud de una planta (Mahajan y Bumdel, 2016). Si los valores de NDVI están cerca de 1.0, se espera que la vegetación sea saludable, pero para valores cercanos a 0.0, el mapa muestra suelo desnudo o vegetación estresada. Diferentes cámaras proporcionan distintos valores de NDVI para el mismo campo y tiempo de vuelo, lo que podría inducir a error al usuario. Las cámaras agrícolas, sin embargo, pueden proporcionar un NDVI estándar que es comparable con otras cámaras agrícolas como las de los satélites. En la Figura 3, se muestra como ejemplo diferencias NDVI (fila inferior) entre RGB y filtros NIR de paso largo (columna izquierda, 2015) y los filtros espectrales RED y NIR (columna derecha, 2016) para una ubicación de viñedo en California (fila de arriba) (Torres-Rua, 2017). Las ubicaciones de suelo desnudo (como las carreteras y las vides) y las marquesinas de



Figura 1 Drones utilizados en la agricultura: (a) multirrotor (cuadricóptero), (b) de ala fija



Figura 2. Imágenes según tipos de cámara y espectros (RGB y NIR) (Torres-Rua, 2017).

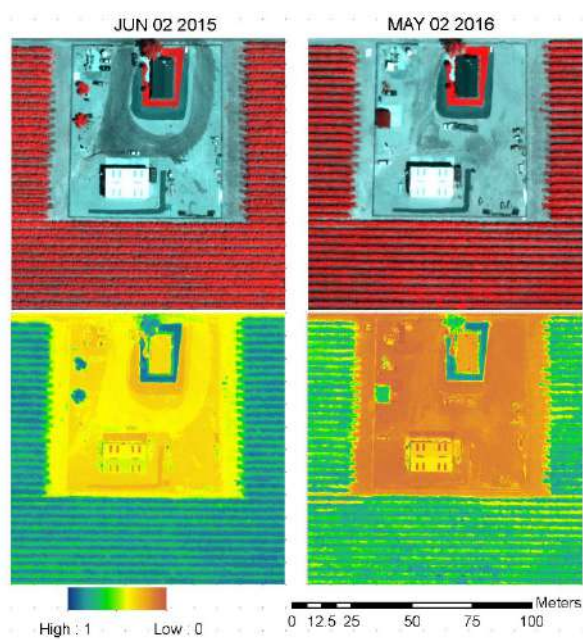


Figura 3. Diferencias NDVI (fila inferior) entre RGB y filtros NIR de paso largo (columna izquierda) y los filtros espectrales RED y NIR (columna derecha) (Torres-Rua, 2017).

vid en 2015 tienen mayores valores NDVI (~ 0.30) y (0.7-1.0) que los valores NDVI estimados utilizando los filtros Landsat el año 2016 (~ 0.10 y 0.5-0.9) para suelo desnudo y dosel de vid, respectivamente.

Con la creciente disponibilidad de sensores térmicos de proximidad, cámaras UAV y radiómetros de covarianza de Foucault, puede suponerse que la información producida por estos sensores es intercambiable o compatible (Torres-Rua *et al.*, 2018). Este supuesto se mantiene a menudo para la estimación de parámetros agrícolas como la cubierta y la temperatura del suelo, los componentes del balance energético y la evapotranspiración. Sin embargo, las condiciones ambientales, la calibración y la configuración del terreno pueden afectar la relación entre las mediciones de cada uno de estos sensores térmicos.

Con las reducciones en la disponibilidad de agua en gran parte de California debido a la sequía y los intereses de uso del agua que compiten entre sí, es importante optimizar las estrategias de manejo del riego. Según Knipper *et al.*, (2018), resultan muy útiles los mapas de evapotranspiración (ET) derivados de satélites y la proporción de ET real a referencia (f_{RET}) basadas en imágenes de temperatura de la superficie terrestre (LST) de sensores remotos para controlar el uso del agua de los cultivos y el estrés en los viñedos. De igual manera, y con mayor resolución, podemos establecer que los mapas de evapotranspiración resultante de la aplicación de vuelos drone y sensores especializados son muy útiles para una agricultura eficiente.

Las actividades agrícolas

En la agricultura se requiere información adecuada para cuantificar y decidir sobre el momento y el lugar del riego, siembra, fertilización y cosecha. Una irrigación eficiente puede ayudar a evitar el estrés hídrico de los cultivos, los niveles indeseables de lixiviación de nutrientes y la reducción del rendimiento debido a la escasez de agua, la escorrentía o el riego excesivo (Hassan *et al.*, 2015). Se puede lograr una mayor eficiencia en el uso del agua cuando su aplicación se ajusta de manera precisa a la demanda de agua del cultivo distribuida espacialmente. La humedad del suelo en la superficie espacial puede ser un indicador importante de las condiciones de los cultivos en las tierras de siembra, pero su estimación continua sigue siendo un desafío debido a la resolución espacial y temporal aproximada de los productos de

sensores remotos existentes (Torres-Rua, *et al.*, 2016). El contenido de humedad del suelo (SM) es una de las variables ambientales más importantes en relación con la climatología de la superficie terrestre, la hidrología y la ecología. Los conjuntos de datos de SM a largo plazo a escala regional proporcionan información razonable sobre el cambio climático y las regiones específicas del calentamiento global utilizando datos satelitales multiespectrales (Natsagdorj *et al.*, 2017). La agricultura de precisión requiere una alta gestión espacial de los insumos para la producción agrícola. Esto necesita que la información procesable sobre el estado del cultivo y el campo se adquiera con la misma resolución espacial alta y en una frecuencia temporal apropiada para las respuestas oportunas (Al-Arab *et al.*, 2013).

Evapotranspiración y contenido de humedad del suelo

La estimación operacional de la evapotranspiración espacial diaria y continua (ET), y los componentes evaporación (E) y transpiración (T), a escala de cuenca hidrográfica, es muy útil para desarrollar estrategias sostenibles de recursos hídricos, particularmente en regiones con un suministro limitado de agua (Song *et al.*, 2018). La evapotranspiración es controlada por múltiples procesos interconectados (Alfieri *et al.*, 2018). Desde la perspectiva de la gestión del riego, son necesarios dos componentes principales para estimar necesidades de riego del agua a nivel de unidad terrestre: evapotranspiración (ET) y humedad del suelo (SM) (Song *et al.*, 2016). ET es la cantidad de agua que utiliza el cultivo en función del agua disponible en la zona de la raíz, el tipo de planta y el clima y condiciones estacionales. SM es la cantidad de agua retenida en la zona de la raíz, y varía espacialmente según el tipo de suelo, la cantidad de materia orgánica y la profundidad (Karimi & Bastiaanssen, 2015). Estos dos componentes permiten estimar las necesidades de agua de riego a través del balance hídrico. Los modelos de ET disponibles en la actualidad que estiman la ET con el uso de la tecnología de drones requieren, además de los filtros espectrales Rojo y NIR seleccionados, la incorporación de un sensor de cámara de temperatura junto con información de la estación meteorológica local (Torres-Rua, 2017). En la Figura 4, se muestra un ejemplo de estimación de evapotranspiración en los viñedos de California desarrollado por el programa AggieAir del Laboratorio de Investigación del Agua de la Universidad Estatal de

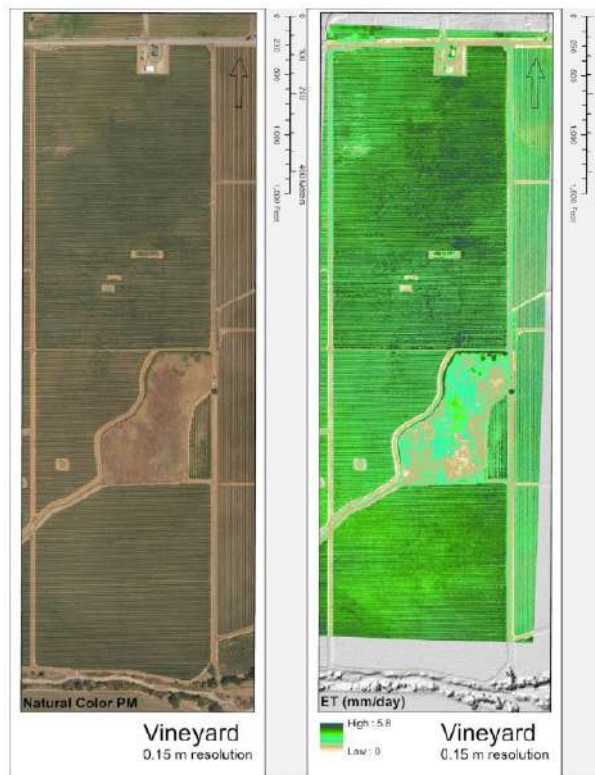


Figura 4. Ejemplo de AggieAir, Laboratorio de Recursos Hídricos, Universidad Estatal de Utah (2017) RGB (izquierda) y estimación de la evapotranspiración, ET en pulgadas/día o mm/día (derecha) para viñedos en California, resolución: 4 pulgadas/píxel, área de 300 acres

Utah. La evapotranspiración (ET) y su división entre evaporación (E) y transpiración (T) es un componente significativo del ciclo de agua y energía en todas las escalas, desde el campo y la cuenca hasta regional y global, y es esencial para muchas aplicaciones en clima, hidrología y ecología (Seneviratne *et al.*, 2010). Las investigaciones sugieren que es probable que T represente alrededor del 65% de ET continental (incluida la interceptación de lluvia por la vegetación) (Good *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2016).

El agua que se pierde en la atmósfera a través de la evapotranspiración (ET; evaporación del suelo + transpiración del dosel) sirve para enfriar la superficie de la Tierra. Del mismo modo que se usa un termómetro para diagnosticar el estrés en el cuerpo humano, la temperatura de la superficie terrestre (LST) derivada de los datos de detección remota en la banda de infrarrojo térmico (TIR) (8–14 micrones) es un valioso diagnóstico del estrés biosférico resultante de las deficiencias de humedad del suelo (Anderson & Kustas, 2008).

Los nutrientes en los cultivos

Una actividad común en temporada agrícola es la aplicación de fertilizantes (nitrógeno, fósforo, potasa) y micronutrientes (azufre, magnesio, zinc). El fertilizante es aplicado por equipos en tierra (pulverizadores de tractor o sistemas de riego a presión) o por aviones tripulados (Nguyen y Symmons, 1984; Tollner, 2016). Cuando se trata de grandes superficies de cultivos, es adecuado el uso de aviones tripulados para la aplicación de fertilizantes, utilizando una tasa de aplicación constante para todos los campos. La estimación usando drones del estado de los nutrientes del cultivo puede beneficiar directamente la tasa de aplicación al incluir la totalidad del campo. En este sentido, los resultados de la investigación indican que es posible realizar el monitoreo con vehículos aéreos no tripulados científicos y sensores de cámara especializados como cámaras ópticas y térmicas (Al-Arab *et al.*, 2013; Torres-Rua *et al.*, 2018), junto con sensores especializados filtros ópticos como Red Edge o cámaras hiperespectrales.

En la Figura 5, se muestra un ejemplo también desarrollado por AggieAir, sobre estimación del contenido de nitrógeno para el cultivo de avena, en campos de cultivo de Utah, Estados Unidos.

Rendimiento de los cultivos

Se puede realizar una representación tridimensional de las condiciones de la superficie, también conocidas como modelos digitales de elevación (DEM). Si bien no se requieren sensores científicos para producir un DEM que es una representación realista de las complejas características del terreno (De Ruyver y Maathuis, 2005), la precisión de la ubicación de los píxeles es necesaria para relacionar las condiciones biofísicas (rendimiento o volumen de biomasa) con las condiciones de altura, así como los análisis de series de tiempo. Las soluciones en equipos agrícolas como "real time kinematic" o "rtk-gps" (pulgadas) puntos de control en tierra pueden lograr una alta precisión con tolerancias de error de +/- 2 pulgadas en coordenadas x e y, y +/- 0.5 ft en coordenadas z.

Utilizando drones es posible realizar las siguientes acciones: (a) Conteo de plantas y supervisión de su crecimiento. Realizar esta labor con imágenes aéreas, facilita y agiliza enormemente la tarea y se logra mayor exactitud. (b) Medición de clorofila. Permite verificar el nivel nutricional de las plantas. (c) Evaluación del estrés hídrico. Usando una cámara térmica es posible detectar si existen zonas que por su situación, su composición, etc., pueden necesitar mayor o menor cantidad de agua. (d) Detectar el estado sanitario de un cultivo. Permite verificar si la plantación ha sido afectada por alguna plaga y si es necesaria la aplicación de fertilizadores o tratamientos sanitarios total o diferenciado. (e) Fenología. Con la recopilación de datos y su estudio a lo largo del tiempo puede contribuir a mejorar la productividad de los cultivos y así establecer el potencial productivo. (f) Peritaje de cultivos ante un siniestro. Mediante el análisis de imágenes multispectrales.

En la Figura 6, se presenta un ejemplo de Aggieair, sobre estimación del volumen del dosel de la vid, en los campos de cultivo de California.

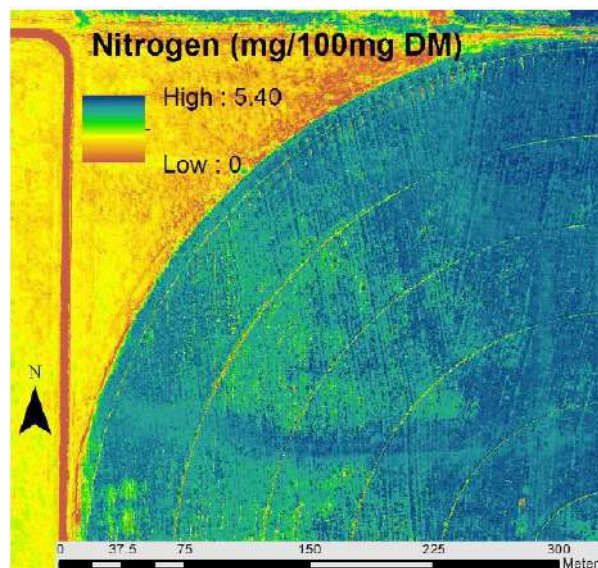


Figura 5. Ejemplo de AggieAir, Laboratorio de Recursos Hídricos, Universidad Estatal de Utah (2017) sobreestimación del contenido de nitrógeno para la avena (mg/100 mg DM), Ubicación: Scipio, UT, resolución: 6 pulgadas/píxel

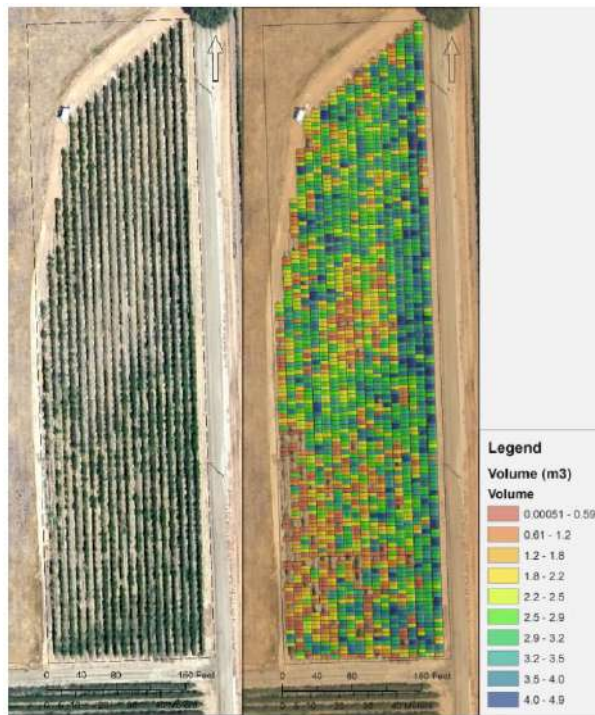


Figura 6. Ejemplo de AggieAir, Laboratorio de Recursos Hídricos, Universidad Estatal de Utah (2017) estimación del volumen del dosel de la vid.

Discusión

A inicios del uso de los drones o vehículos aéreos no tripulados, se proyectó que estas tecnologías se integrarían estrechamente en las actividades agrícolas a un ritmo acelerado y se convertirían en una herramienta ubicua y de bajo costo para tales operaciones (Torres-Rua, 2017). Sin embargo, varios años después, se reconoce ampliamente que esta tecnología disponible aún no se ha integrado en la agricultura como se esperaba a pesar de las múltiples ofertas de la plataforma.

Podemos identificar algunas ventajas de los drones frente a otros métodos: (a) Precisión en la toma de datos al abarcar una gran superficie en el mismo rango de tiempo. Deben realizarse varios vuelos en diferentes días y se debe programar el momento más adecuado del día según las características de la plantación a estudiar, para disponer de datos en un periodo de tiempo diferenciado, que nos permita hacer análisis comparativo. (b) Alta disponibilidad de datos recolectados en el tiempo. (c) Alta resolución de las imágenes obtenidas, en muchos casos mayor que las imágenes satelitales. (d) Reducción de costos frente a otras técnicas convencionales.

Conclusión

La tecnología actual ha avanzado a tal extremo que no es necesario preocuparse por esta sino por las aplicaciones que debemos darle. Los cultivos utilizan la radiación solar para la fotosíntesis. En general, los cultivos “sanos” absorben la mayor parte de la radiación del espectro del rojo, mientras que reflejan la mayor parte de la radiación del infrarrojo cercano. Sin embargo, los cultivos bajo estrés reducen su capacidad para absorber en el rojo y reflejar en el infrarrojo cercano. Tal información es utilizada para la alerta temprana del estrés hídrico de los cultivos. Se sabe que los humanos no podemos ver en el infrarrojo cercano, por lo que suele reaccionar demasiado tarde en lugar de ocurrir durante la fase inicial del estrés. Los drones pueden recopilar información de diversas bandas del espectro energético con una resolución espacial de hasta 5 centímetros en aquellos momentos que son críticos para el desarrollo de los cultivos. Los datos espectrales captados por los sensores se convierten en información útil como mapas y algoritmos matemáticos, relacionados con situaciones de estrés hídrico o momentos óptimos

para la cosecha u otros. Los drones se utilizan para este tipo de aplicaciones tanto en grandes como en pequeñas extensiones de cultivos. Asimismo, un aspecto importante es el componente económico para la aplicación de esta tecnología, por lo que resulta recomendable para asociaciones de agricultores con el fin de reducir costos.

La comunidad científica muestra resultados y avances prometedores: se incrementa la precisión de las imágenes, se logran productos más confiables para la agricultura de precisión y cada vez es posible analizar más elementos relacionados con el desarrollo de los cultivos y los factores que condicionan sus rendimientos.

Literatura citada

- Al-Arab, M., Torres-Rua, A., Tlacavilca, A., Jensen, A., & McKee, M. 2013. Use of high-resolution multispectral imagery from an unmanned aerial vehicle in precision agriculture. En: *International Geoscience and Remote Sensing Symposium – IGARSS*. IEEE. Melbourne, Australia: Pp. 2852-2855.
- Alfieri, J.G., W.P. Kustas, M.C. Anderson. 2018. A Brief Overview of Approaches for Measuring Evapotranspiration. En: J. L. Hatfield, M. V.K. Sivakumar, J. H. Prueger (Eds). *Agroclimatology: Linking Agriculture to Climate*, Agron. Monogr. 60. ASA, CSSA, and SSSA. Madison, WI, US. Doi:10.2134/agronmonogr60.2016.0034.
- Anderson, M.; Kustas, W. 2008. Thermal Remote Sensing of Drought and Evapotranspiration. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 89 (26): 233.
- De Ruyver, R., Maathuis, B. 2005. Optimización de un modelo de elevación digital (DEMdem) para modelado hidrológico en la región del Pantanal, Brasil. 21 p.
- Good, S. P., Noone, D.; Bowen, G. 2015. Hydrologic connectivity constrains partitioning of global terrestrial water fluxes. *Science*, 349 (6244): 175-177.
- Hassan-Esfahani, L., Torres-Rua, A.; McKee, M. 2015. Assessment of optimal irrigation water allocation for pressurized irrigation system using water balance approach, learning machines, and remotely sensed data. *Agricultural Water Management*, 153: 42-50.
- Karimi, P.; Bastiaanssen, W. G. M. 2015. Spatial evapotranspiration, rainfall and land use data in water accounting – Part 1: Review of the accuracy of the remote sensing data. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19 (1): 507-532.
- Knipper, K. R., Kustas, W. P., Anderson, M. C., Alfieri, J. G., Prueger, J. H., Hain, C. R., Sánchez, L. 2018. Evapotranspiration estimates derived using thermal-based satellite remote sensing and data fusion for irrigation management in California vineyards. *Irrigation Science*. Doi: 10.1007/s00271-018-0591-y
- Mahajan, U.; Bumdel, B. 2016. Drones for Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), to Estimate Crop Health for Precision Agriculture: A Cheaper Alternative for Spatial Satellite Sensors. En: *International Conference on Innovative Research in Agriculture, Food Science, Forestry, Horticulture, Aquaculture, Animal Sciences, Biodiversity, Ecological Sciences and Climate Change (AFHABEC-2016)*, At Jawaharlal Nehru University. Pp.38-41.
- Natsagdorj, E., Renchin, T., Kappas, M., Tseveen, B., Dari, C., Tsend, O., Duger, U.-O. 2017. An integrated methodology for soil moisture analysis using multispectral data in Mongolia. *Geo-Spatial Information Science*, 20 (1): 46-55.
- Nguyen, N. T.; Symmons, P. M. 1984. Aerial spraying of wheat: A comparison of conventional low volume with ultra-low volume spraying. *Pesticide Science*, 15 (4): 337-343.
- Patel, P. 2016. Agriculture drones are finally cleared for takeoff [News]. *IEEE Spectrum*, 53 (11): 13–14.
- Puri, V., Nayyar, A.; Raja, L. 2017. Agriculture drones: A modern breakthrough in precision agriculture. *Journal of Statistics and Management Systems*, 20 (4): 507-518.
- Seneviratne, S. I., Corti, T., Davin, E. L., Hirschi, M., Jaeger, E. B., Lehner, I., Teuling, A. J. 2010. Investigating soil moisture–climate interactions in a changing climate: A review. *Earth-Science Reviews*, 99 (3-4): 125-161.
- Song, L., Kustas, W.P., Liu, S., Colaizzi, P.D., Nieto, H., Xu, Z., Evett, S.R. 2016. Applications of a thermal-based two-source energy balance model using Priestley-Taylor approach for surface temperature partitioning under advective conditions. *Journal of Hydrology*, 540, 574-587.
- Song, L., Liu, S., Kustas, W. P., Nieto, H., Sun, L., Xu, Z., Li, Q. 2018. Monitoring and validating spatially and temporally continuous daily evaporation and transpiration at river basin scale. *Remote Sensing of Environment*, 219: 72-88.

- Stehr, N. J.
2015. Drones: The Newest Technology for Precision Agriculture. *Natural Sciences Education*, 44 (1): 89
- Tollner, E. W.
2016. Engineering hydrology for natural resources engineer. Wiley Blackwell. Chischester, UK. 561 p.
- Torres-Rua, A.
2017. Use of UAV for support of intensive agricultural management decisions: from science to commercial applications. En: Thomasson, J. A., McKee, M.; Moorhead, R.J. (Eds.) Presentado en SPIE Commercial + Scientific Sensing and Imaging. Anaheim, California, United States. P. 102180A.
- Torres-Rua, A., Nieto, H., Parry, C., Elarab, M., Collatz, W., Coopmans, C.; Kustas, W.
2018. Inter-comparison of thermal measurements using ground-based sensors, UAV thermal cameras, and eddy covariance radiometers. En: *Autonomous Air and Ground Sensing Systems for Agricultural Optimization and Phenotyping III* (Vol. 10664, p. 106640E). International Society for Optics and Photonics. Doi: 10.1117/12.2305832
- Torres-Rua, A., Tíclavilca, A., Bachour, R.; McKee, M.
2016. Estimation of Surface Soil Moisture in Irrigated Lands by Assimilation of Landsat Vegetation Indices, Surface Energy Balance Products, and Relevance Vector Machines. *Water*, 8 (4): 167.
- Zhang, Y., Peña-Arancibia, J. L., McVicar, T. R., Chiew, F. H. S., Vaze, J., Liu, C., Pan, M.
2016. Multi-decadal trends in global terrestrial evapotranspiration and its components. *Scientific Reports*, 6 (1). DOI: 10.1038/srep19124