



Quinto
Congreso Nacional
de Riego y Drenaje
COMEII-AURPAES 2019

Septiembre 2019 | Mazatlán, Sinaloa



AURPAES, S.C.
Asociación Mexicana de Ingenieros en Riego y Drenaje

Artículo: COMEII-19003

Mazatlán, Sin., del 18 al 20

de septiembre de 2019

INFORMACIÓN DE DRONES Y SU ANÁLISIS EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Sergio Iván Jiménez Jiménez^{1*}; Waldo Ojeda Bustamante¹; Mariana de Jesús Marcial Pablo²

¹Colegio Mexicano de Ingenieros en Irrigación A.C. Texcoco, C.P. 56190, Estado de México.

serchjimenez.1990@gmail.com - 777 305 3164 (*Autor de correspondencia)

²INIFAP-Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera. Margen derecha canal Sacramento km 6.5, Zona industrial Gómez Palacio, CP. 35140. Durango. México

Resumen

El uso de Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTs) o drones en la agricultura se está extendiendo a un ritmo acelerado, se estima que actualmente el sector agrícola es el séptimo mayor usuario de drones en el mundo y en los próximos cinco años llegara a ser el segundo. Las aplicaciones de los drones en este sector son referentes al monitoreo de cultivos, detección de estrés hídrico, análisis de humedad del suelo, detección de plagas, entre otras, en donde se emplean distintos tipos de cámaras o sensores como las que captan el rango visible, las multiespectral o las térmicas, sin embargo, en los últimos años diversas empresas han comenzado a construir plataformas exclusivas para otras actividades agrícolas en donde no es necesario la adquisición de imágenes o videos, como por ejemplo en la aplicación de productos químicos o en la polinización. Además, gracias a los avances tecnológicos se han creado diversas plataformas web especializadas en el análisis de información obtenido con drones útiles para la agricultura de precisión. Esto indica que existe mucha información sobre drones en la agricultura, por tal motivo, en este trabajo se resume dicha información y se presenta una revisión de los drones y cámaras que más se están usando actualmente en este sector y sus alcances. Así como las plataformas web dedicadas al análisis de datos obtenidos con drones y las metodologías empleadas para dicho análisis.

Palabras claves: plataformas web, cámaras digitales, aplicaciones.

INTRODUCCIÓN

Si bien fue en el sector militar donde surgieron los Vehículos aéreos no tripulado (VANTs) o drones y el que ha impulsado su desarrollo, desde hace ya algunos años han surgido diferentes aplicaciones civiles, que han ampliado el interés, la investigación y el desarrollo de estos sistemas (Barrientos *et al.*, 2007).

El uso de los drones y cámaras digitales ha aumentado exponencialmente en todo el mundo, ya que colabora en aplicaciones para diversos análisis de datos espacio-temporal; están siendo utilizados con éxito en la minería, en la agricultura, investigaciones medioambientales, así como en la vigilancia e inspección de infraestructuras sobre todo las generadoras de energía alternativa, como los campos fotovoltaicos y parques eólicos (Martínez *et al.*, 2015).

Los drones tienen un enorme potencial en la agricultura para apoyar en la recopilación de datos espaciales y la planificación de acciones que mejoren la gestión de los recursos naturales. A pesar de algunas limitaciones inherentes, estas herramientas pueden proporcionar datos valiosos que luego se pueden utilizar para influir en las políticas y decisiones (FAO 2017). Datos de Drone Industry Insights (Dronell, 2019a) muestran que a inicios de 2019 la agricultura ocupa el séptimo lugar en aplicaciones empresariales con drones, la Figura 1 muestra que otras aplicaciones que han surgido en los últimos años han crecido más debido a que no son necesarios el uso de cámaras o sensores, que es lo que en ocasiones encarece el uso de estos aparatos haciendo que no sean económicamente viable para ciertas aplicaciones agrícolas.

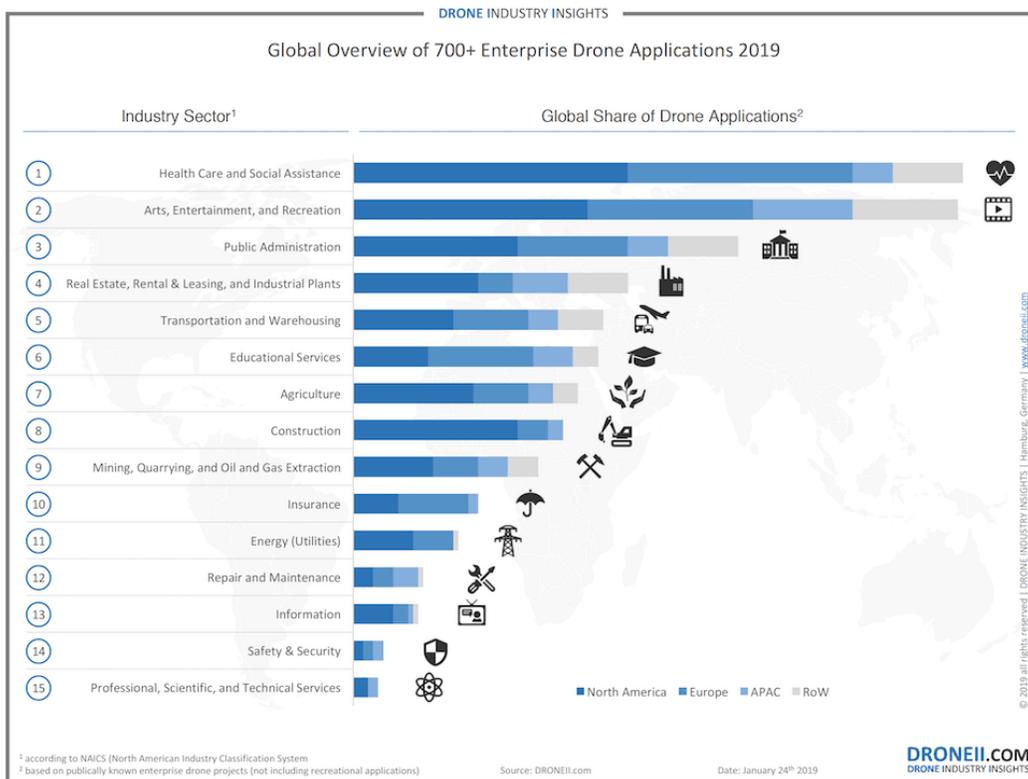


Figura 1. Aplicaciones Empresariales de drone (Dronell, 2019a)



En los últimos años se ha especializado la fabricación de drones para la agricultura, creándose así diversas plataformas no solo para adquirir imágenes, sino también para aplicar productos químicos. Además, diversas empresas privadas e instituciones del mundo se están interesando desde hace algunos años en la aplicación de esta tecnología para mejorar y eficientar los procesos agrícolas para reducir costos y aumentar la producción. Gracias a estos estudios se han comenzado a crear herramientas denominadas Smart Agro que sirven para el análisis de datos obtenidas de drones para la agricultura de precisión.

La información que existe actualmente sobre drones en la agricultura es extensa, por tal motivo, en este trabajo se resume dicha información y se presenta una revisión de los drones y cámaras que más se están usando actualmente en este sector y sus alcances. Así como las plataformas Smart Agro dedicadas al análisis de datos obtenidos con drones y las metodologías empleadas para dicho análisis.

METODOLOGÍA

El flujo de trabajo que se sigue para el uso de los drones en la agricultura de precisión según Gago *et al.* (2015) consta de cuatro etapas: i) diseño experimental, ii) adquisición de datos, iii) procesamiento de la información y iv) análisis de la información; sin embargo, otros autores agregan una quinta etapa que es la toma de decisiones y manejo del cultivo en campo. En esta última etapa en base a los resultados del análisis se aplican acciones directamente en la parcela.

En el diseño experimental se definen los objetivos del estudio, ya sea que se requiera calcular el NDVI o solo la cobertura, o se requieran adquirir imágenes a alturas de vuelos bajos, etc; en base a esto se selecciona la cámara a usar así como el tipo de plataforma. En el vuelo las condiciones climáticas son un factor importante a tomar en cuenta, como la velocidad del viento o probabilidades de lluvia, este último es importante ya que las plataformas no son impermeables, por lo menos los más comerciales.

Aunque los drones son una herramienta importante para adquirir imágenes aéreas, el poder real proviene del procesamiento y análisis que tienen lugar después de que se recopilan los datos. En lo que se refiere al procesamiento se usan softwares especializados para generar ortomosaicos a partir de las imágenes individuales. En el análisis comúnmente se asocian índices de vegetación a parámetros físicos de las plantas, como el estrés o del suelo como la humedad, o bien se pueden determinar directamente de las imágenes la cobertura vegetal, el número de plantas en una cierta superficie, entre otras. Por último este análisis permite tomar decisiones para el mejor manejo del cultivo en el campo.

En los siguientes puntos se describen los modelos de cámaras y drones usados actualmente en la agricultura así como las plataformas de análisis de datos denominadas SMART AGRO, los cuales son plataformas web y/o móviles en donde es posible analizar los datos obtenidos de drones con fines agrícolas.

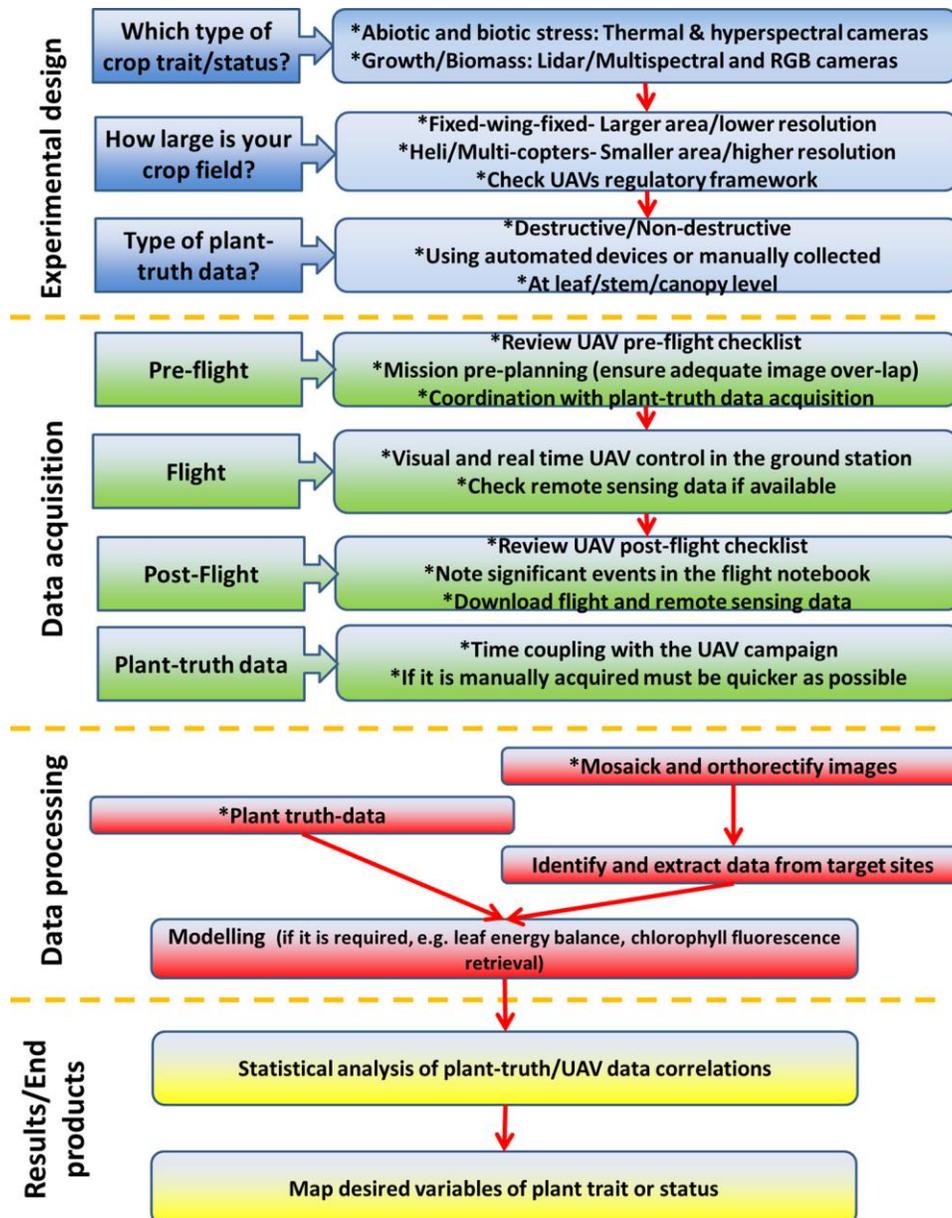


Figura 1. Flujo de trabajo de los diferentes componentes que deben considerarse para el uso de drones en la agricultura de precisión (Gago *et al.*, 2015)

Cámaras digitales y plataformas

En el mercado actual de los drones existe una gran cantidad de plataformas y cámaras digitales, las plataformas van desde multirrotores hasta los de ala fija pasando por los tipos helicópteros. Mientras que las cámaras están las visibles que captan el rango visible del espectro electromagnético, las que captan el rango del infrarrojo cercano, las térmicas, las LiDAR, entre otras. Dependiente del rango del espectro que captan las cámaras es el alcance que puede llegar a tener en ciertas aplicaciones agrícolas.

Cámaras visibles

Son cámaras que no han sido caracterizadas espectral o radiométricamente, montadas en las plataformas se han usado para monitorear variables que tienen relación con el desarrollo de los cultivos, como por ejemplo, se ha estudiado la evolución de la cobertura vegetal (Marcial-Pablo, Gonzalez-Sanchez, Jimenez-Jimenez, Ontiveros-Capurata, & Ojeda-Bustamante, 2019) así como la relación del índice de área foliar (LAI) con índices espectrales como el Exceso de Verde (ExG) o el número de plantas en una determinada superficie (Hall et al., 2018). Mediante los modelos digitales generados con las imágenes RGB se ha obtenido alturas de plantas y se ha estudiado su rendimiento en la nivelación de terreno agrícolas (Enciso, Jung, & Chang, 2018).

Las cámaras que más se han usado en la agricultura son el Nex 5 y 7 de SONY, el S100 de Canon, el Hasselblad que tiene el DJI MAVIC 2 PRO (<https://www.hasselblad.com>), los de la marca PhaseOne (<https://www.phaseone.com>), entre otras.



Figura 2. Imagen aérea sobre un sistema de riego por pivote central

Cámaras multiespectrales

Estas cámaras aparte de captar el espectro visible son capaces de captar el infrarrojo cercano, generalmente son sensores que tienen entre tres y cinco bandas: sin duda son las cámaras más usadas en la agricultura de precisión. Zhang & Kovacs (2012) mencionaban que para aplicaciones basadas en el monitoreo de la vegetación las cámaras multiespectrales resultaban bastantes caras, actualmente, los costos en la adquisición de estas cámaras se han reducido debido a la alta demanda que se ha generado, provocando que más empresas se interesen en la fabricación de estos aparatos.

Las cámaras multiespectrales que se usan con gran frecuencia en la agricultura de precisión montados en drones son: el modelo *RedEdge-MX* de MicaSense (<http://www.micasense.com/>) que tiene cinco bandas las del RGB, el borde de rojo y el IR cercano; el modelo Survey3 de Mapir (<https://www.mapir.camera>) que tiene tres bandas y se encuentra disponible en tres versiones de bandas Orange+Cyan+NIR (OCN), Red+Green+NIR (RGN) & NIR+Green+Blue (NGB); los modelos Lucint 8 y Lucint12 (<http://www.lucintsystems.com>) que poseen cuatro bandas las del RGB y el infrarrojo cercano, en el caso del Lucint 8 puede proporcionar directamente el NDVI; los modelos

ADC Micro o el ADC Snap de TetraCAM (<http://www.tetracam.com/>) ambos con tres bandas, el R el G y el NIR, o el Parrot Sequoia, entre otras.



Figura 3. Camaras a) RedEdge-MX, b) Survey3, y el c) Lucint 8

En la Figura 4 se muestra una imagen captada con una cámara multiespectral, en donde la vegetación se observa de color rojo, ya que la banda del NIR es donde la vegetación tiene mayor reflectancia. Con la mayoría de cámaras multiespectrales se pueden determinar fácilmente índices de vegetación como NDVI, GNDVI, OSAVI, TVI, CVI.



Figura 4. Imagen aérea, combinación de las bandas NIR-R-G

La empresa MicaSense publicó un boletín que contiene catorce maneras de utilizar cámaras multiespectrales en la agricultura (MicaSense, 2019), en ella se menciona que mediante estas cámaras se pueden obtener: Mapas de vigor de los cultivos, detección de malezas, detección de enfermedades, monitoreo de deficiencias de nutrientes, conteo de plantas, entre otras.

Cámaras hiperespectrales

Estas cámaras brindan más de 20 bandas, actualmente no suele usarse mucho en la agricultura ya que comúnmente son más caras que las multiespectrales, además de que en la mayoría de las veces brindan resoluciones más gruesas, sin embargo, al analizar las propiedades de la vegetación, con estas imágenes se pueden generar mayor número de índices útiles para determinar el estado de vitalidad de la planta, el contenido de clorofila que está directamente relacionado con la demanda de nitrógeno, el contenido de

agua, la materia seca o el índice de área foliar, solo por nombrar algunos variables. Además a diferencia de las cámaras multispectrales el ancho de banda es más pequeña.

Cámaras como el Cubert UHD 185-Firefly que recoge 125 bandas de 450 a 950 nm (<http://cubert-gmbh.de/>), el HSC-2 (<http://www.rikola.fi>), el SNAPSCAN VNIR (<https://www.imec-int.com>) o el Nano-Hyperspec que recoge 270 bandas de 400 a 1,000 nm (Figura 5) (<https://www.headwallphotonics.com>) registran información hiperespectral.



Figura 5. Cámara hiperespectral Nano-Hyperspec de Headwall

Cámaras térmicas

Estas cámaras operan con longitudes de onda en la zona del infrarrojo térmico, que se considera entre $3 \mu\text{m}$ y $14 \mu\text{m}$. El uso de información térmica es una técnica de detección remota que se está desarrollando para interpretar el estado de los cultivos, la detección de plagas y enfermedades relacionadas con el contenido de humedad, y la determinación del equilibrio energético y, por lo tanto, las necesidades de agua, a través del uso de datos obtenidos de cámaras térmicas y multispectrales (Ribeiro-Gomes *et al.*, 2017).



Figura 6. Cámara Flir Vue Pro, TeraRanger Evo Thermal 33 y Workswell GIS-320

Cámaras térmicas montadas en drones son usadas en la agricultura y tienen capacidad de registrar mediciones térmicas de la superficie, los más usados son el Vue Pro, Vue Pro R y Duo Pro R de la compañía Flir (<https://www.flir.com/>) que son adquieren información entre las longitudes de onda de $7.5 - 13.5 \mu\text{m}$, los modelos TeraRanger Evo Thermal 90 y TeraRanger Evo Thermal 33 de la compañía Terabee

(<https://www.terabee.com/>) que adquieren información entre las longitudes de onda del 5 – 13.5 μm ; los modelos WIRIS, WIRIS mini, WIRIS 2nd gen y GIS-320 (Figura 6) de la compañía Workswell (<https://www.workswell-thermal-camera.com>) que captan información desde 8 μm a los 14 μm y en este año ha aparecido el modelo Altum de MicaSense con el cual es posible obtener imágenes en RGB, del NIR y térmicas, el cual es una de las primeras cámaras en su tipo, por lo cual se abre otro abanico de posibilidades para poder ampliar los estudios en agricultura de precisión,

Sensores LiDAR

Los sensores LiDAR permiten crear modelos 3D de la superficie, hasta ahora la información derivada de los sensores LiDAR se ocupa para monitorear el crecimiento de árboles, individuales, bosques y cultivos agrícolas. Para este último, Hoffmeister *et al.* (2010) introdujeron el concepto de modelos de superficie de cultivo para monitorear el crecimiento del dosel de cultivos en 3D a lo largo del tiempo (Aasen, Burkart, Bolten, & Bareth, 2015).

Las compañías fabricantes de sensores LiDAR para drones más importantes actualmente en el mundo son Emesent (<https://emesent.io>), LiDAR USA (<https://www.lidarusa.com/>), Velodyne (<https://velodynelidar.com>), Yellowscan (<https://www.yellowscan-lidar.com>), Phoenix (<https://www.phoenixlidar.com>), Riegl (<http://www.riegl.com>), SABRE (<https://sabreadvanced3d.com>), Terabee (<https://www.terabee.com/>), entre otros. Estas compañías tienen uno o más modelos de sensores LiDAR que se han usado para aplicaciones agrícolas.



Figura 7. Sensor de LiDAR USA montado en un dron Hexacóptero

Por otra parte, en el caso de las plataformas, las más conocidas y usadas actualmente en la agricultura son de DJI ya sean los Phantom, A2, MAVIC, etc, o los de Parrot, ya que son muy versátiles y se les puede montar distintos tipos de cámaras que van desde los visibles hasta los infrarrojos. El modelo eBee en su versión Ag de senseFly (<https://www.sensefly.com/>) es también un dron de ala fija muy utilizado.

Sin embargo, en los últimos años se han creado diversas plataformas exclusivas para la agricultura, los cuales no solo permiten adquirir imágenes aéreas sino también aplicar productos químicos sobre los cultivos o polinizarlos. De esta manera Drone Industry Insights (Dronell, 2019b) presenta en su informe “El entorno del mercado de drones 2019” las marcas que se encargan de la fabricación de plataformas exclusivas para la agricultura, estas se pueden ver en la Figura 8.



Figura 8. Marcas de fabricantes de Plataformas exclusivas para la agricultura (Dronell, 2019b)

La mayoría de estas marcas fabrican drones para el monitoreo de cultivos ya que es la principal aplicación de los drones en la agricultura, así AgEagle tiene dos versión de drones (RX48 y rx-60es) a los cuales se les puede montar una cámara que capta la banda del NIR o bien un sensor de NDVI; ITEC fabrica drones que pueden tener hasta dos cámaras y se pueden mantener en vuelo más de 2 horas; Yielddefender fabrica plataformas con sensores que capturan videos o fotos del infrarrojo cercano y la banda azul en la misma imagen, además con su software Cropvalue image se pueden obtener ortomosaicos de NDVI rápidamente.

Por otro lado están los drones que permiten pulverizar productos químicos por vía aérea; el modelo Agras de DJI es uno de los más conocidos en México; Eagle Brother se dedica a la innovación y fabricación de pulverizadores de drones agrícolas, ofrece drones tipo helicópteros o multirotores; Joyance fabrica drones multirotor con capacidad de transportar desde 5 L hasta 20 L; RANTiZO ofrece drones tipo helicópteros cuyo tamaño de tanque es de 32 L; así mismo Yamaha tiene su versión de drones tipo helicóptero que permite realizar esta actividad. Estos drones vienen a revolucionar la forma de aplicación de productos químicos, hasta hace poco, se necesitaba un avión agrícola especializado para realizar esta operación, pero ahora se pueden reducir los costos y los tiempos.

HSE-UAV (<https://hse-uav.com>) ofrece drones para propagación de hasta 20 kg semillas por vuelo pero también se convierte rápidamente en un dron de pulverización (20 L) y se le puede agregar una cámara multispectral. Por último, Dropcopter (<https://www.dropcopter.com>) tiene drones capaces de realizar la polinización automatizada de cultivos.

Procesamiento

En el procesamiento de imágenes para generar ortomosaicos y modelos digitales de elevación se combinan estrategias empleadas en fotogrametría tradicional y en visión por

computadora, se realiza mediante softwares para PC (*Pix4D, PhotoScan, Metashape, Photomodeler, VisualSfM, Blunder, Aperio, Insight3D*) y en los últimos años ha crecido mucho el procesamiento en la nube (*Aerial Insights*)

Cabe destacar que hay versiones o software de procesamiento especializados en agricultura (*Pix4Dag, FarmLens, etc.*) en donde se procesan con mayor facilidad las imágenes y se pueden generar rápidamente índices de vegetación como el NDVI, SAVI, entre otros.

Análisis De Datos

Para extraer información de los ortomosaicos generados con imágenes de drones, una forma es usar índices espectrales, que pertenecen a métodos empírico-estadísticos. Así, se relaciona el parámetro de vegetación buscado con longitudes de onda específicas del espectro electromagnético (Figura 8) que se sabe que son sensibles a dicho parámetro. Diversos estudios han desarrollado índices espectrales que se usan actualmente para analizar variables agrícolas, primero se analizaron usando imagen satelitales, sin embargo, se ha ampliado su uso en los ortomosaicos de drones, algunos de estos índices se muestra en el Cuadro 1. Además, existen igual índices para imágenes que están en el rango visible, los cuales son muy útiles en la clasificación de dichas imágenes, ya que solamente se puede interpretar los colores tal y como los vemos, los más conocidos se muestran en el cuadro 2.

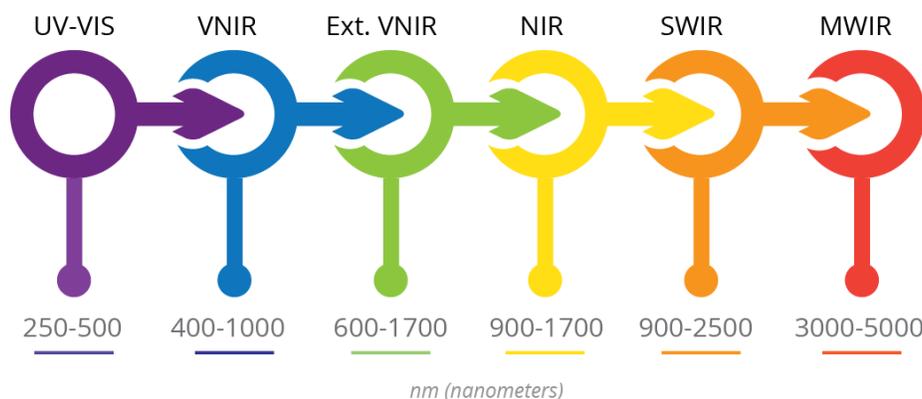


Figura 9. Rangos espectrales (Fuente: <https://www.headwallphotonics.com/>)

Cuadro 1. Índices de Vegetación (IV) utilizados en el análisis de las imágenes multiespectrales obtenidas de Drones

Índices	Descripción	Expresión	Usos
GNDVI	IV diferencia normalizada verde	$(NIR-G)/(NIR+G)$	Concentración de Nitrógeno, detección de estrés hídrico y estimación IAF.
NDVI	IV diferencias normalizadas	$(NIR-R)/(NIR+R)$	Estimación IAF, Kc, ETC, biomasa, cobertura y detección de estrés hídrico y malezas

SAVI	IV ajustado al suelo	$1.5 \cdot [(NIR-R)/(NIR+R+0.5)]$	Estimación IAF y biomasa
OSAVI	IV ajustado- optimizado al suelo	$(NIR-R)/(NIR+R+0.16)$	Detección de estrés hídrico y estimación de la biomasa
RVI	IV proporcional	NIR/R	Estimación de la biomasa, cobertura y cambios en la vegetación
GCI	Índice de clorofila	$(NIR-G)-1$	Detección de estados de nitrógeno
NDRE	Índice de diferencia normalizada de borde rojo	$(NIR-RE)/(NIR+RE)$	Detección de zonas humedad

Cuadro 2. Índices de Vegetación (IV) utilizados en el análisis de las imágenes RGB obtenidas de Drones

Índices	Descripción	Expresión	Usos
ExG	Índice exceso de verde	$2g-r-b$	Estimación de la cobertura , IAF y biomasa, predicción del rendimiento, detección de malezas y concentración de nitrógeno
CIVE	Índice de extracción de la vegetación	$0.441r-0.811g+0.385b+18.7875$	Estimación de la cobertura y biomasa y detección de malezas
VARI	Índice de resistencia atmosférica	$(g - r)/(g + r b)$	Estimación IAF y detección de malezas
VEG	Vegetativo	$g/(r b^{a(1-a)})$ $a=0.667$	Estimación de la cobertura y IAF
Vlg/NGRDI	Índice de vegetación verde	$(G-R)/(G+R)$	Estimación IAF, biomasa, concentración de nitrógeno y predicción del rendimiento

Las cámaras térmicas y termográficas se han usado principalmente para detectar situación de estrés hídrico midiendo la temperatura foliar, además, algunas plagas de insectos hacen que la temperatura aumente decenas de grados, con lo cual estas cámaras son adecuadas para su detección. En la ecuación 1 se la fórmula del Índice de estrés hídrico de cultivos basado en cámaras térmicas.

$$CWSI = \frac{T_{canopy} - T_{nws}}{T_{dry} - T_{nws}} \quad (1)$$

Dónde: T_{canopy} es la temperatura de las hojas del dosel completamente iluminadas por el sol ($^{\circ}C$), T_{nws} es la temperatura de las hojas del dosel completamente iluminadas por el sol ($^{\circ}C$) cuando el cultivo no sufre estrés hídrico (está bien regado); T_{dry} es la temperatura de las hojas del dosel completamente iluminadas por el sol ($^{\circ}C$) cuando el cultivo sufre un fuerte estrés hídrico debido a la baja disponibilidad de agua del suelo.

Estas cámaras se pueden emplear para diversas aplicaciones relacionadas con el contenido de agua, como por ejemplo en la figura se muestra que con una imagen RGB es imposible detectar fugas de agua debido a la línea regante, sin embargo, con una cámara térmica se detecta muy fácilmente

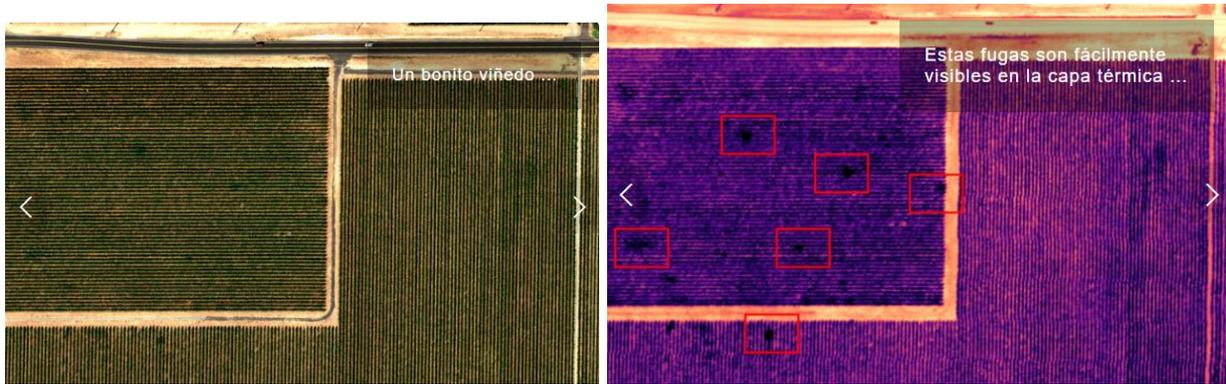


Figura 10. Fugas de riego vistas con una imagen RGB y una térmica (MicaSense, 2019)

Los modelos digitales de elevación tienen gran importancia en la agricultura de precisión para monitorear diversas variables de los cultivos como la altura (Figura 11), o la biomasa en base a la altura (e.g. Bendig et al., 2015).

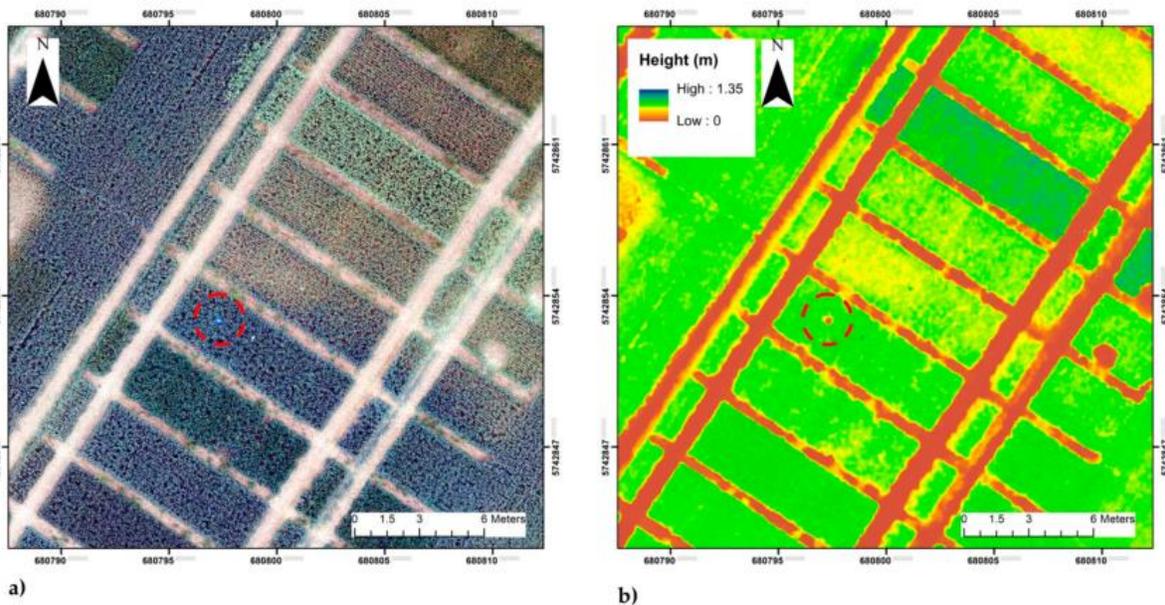


Figura 11. a) Ortomosaico RGB, b) Altura del cultivo de trigo (Holman et al., 2016).

Debido a los avances en la tecnología y en la generación de algoritmos automatizados para calcular determinadas variables de los cultivos en base al análisis de las imágenes o la relación de estas con índices de vegetación, muchas empresas se han interesado y han comenzado a crearse en los últimos años plataformas que son exclusivas para el análisis de datos obtenidos con drones con fines agrícolas. Las plataformas son



comúnmente denominadas Smart Agro e integran tecnologías como Big Data y el internet de las cosas y permiten determinar rápidamente, mediante el ortomosaicos, densidades de plantas, porcentajes de coberturas, detectar plagas y malezas, detectar estrés, entre otras variables.

Las empresas con plataformas encargadas del análisis de datos obtenidos con drones más conocidas a nivel mundial son: AeroViroment (<https://www.avinc.com>), Agremo (<https://www.agremo.com>), Optelos (<https://optelos.com>), Picterra (<https://picterra.ch/>), PixelChange (<https://pixelchange.tech>), entre otros.

En el caso de Agremo, es compatible con cámaras RGB y multiespectrales, sus principales análisis permiten:

- I. Determinar el número de plantas en un superficie específica y lo compara con los resultados esperados, las plantas deben estar al menos a 12 cm o 5 pulgadas por encima del suelo.
- II. Conteo de árboles en un superficie
- III. Porcentaje de cobertura del dosel
- IV. Porcentaje y la ubicación exacta de las áreas con estrés, donde “estrés” se refiere a plantas que no han emergido en plantas sanas, áreas sin plantas, áreas con enfermedades, sequía u otros factores limitantes del rendimiento
- V. Porcentaje y la ubicación exacta de las áreas infestadas de malezas
- VI. Identificación de áreas infestadas por plagas.
- VII. Identifican el porcentaje y la ubicación exacta de las enfermedades de las plantas causadas por virus, hongos o bacterias.
- VIII. Estimador de floración
- IX. Estados del nivel de nitrógeno
- X. Análisis de anegamiento
- XI. Cuantificar el estrés por sequía, el análisis de sequía muestra tres tipos de zonas: extrema, moderada y sin sequía

Además permite crear mapas de índices de vegetación como el SAVI (Figura 12) o el NDVI (Figura 13).

Estas plataformas vienen a revolucionar la forma en que se realiza el análisis de datos captados con drones, ya que al tener algoritmos precargados permiten obtener informes del análisis de diversas variables en tiempos relativamente cortos por lo cual se agiliza igual la toma de decisiones; en México han comenzado a diseñarse algunas plataformas como el caso de AgroPro (<https://www.agropro.mx>). Es importante realizar un análisis de si estas plataformas se pueden aplicar en todas las zonas o bien están calibradas para zonas o países específicos.



Figura 12. Mapa de SAVI



Figura 13. Mapa de NDVI

CONCLUSIONES

La información sobre la adquisición, procesamiento y análisis de datos obtenidos con drones es muy amplia, en este trabajo se trató de rescatar la información sobre las plataformas, sensores y cámaras utilizadas en la agricultura de precisión actualmente, así como los métodos para el análisis de dicha información.



Aunque los drones son una herramienta importante para adquirir imágenes aéreas, el poder real proviene del procesamiento y análisis que tienen lugar después de que se recopilan los datos, se deben automatizar los pasos para analizar las diversas variables de interés en la agricultura de precisión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aasen, H., Burkart, A., Bolten, A., & Bareth, G. (2015). Generating 3D hyperspectral information with lightweight UAV snapshot cameras for vegetation monitoring: From camera calibration to quality assurance. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.08.002>.
- Barrientos, A., del Cerro, J., Gutiérrez, P., San Martín, R., Martínez, A., & Rossi, C. (2007). Vehículos aéreos no tripulados para uso civil. Tecnología y aplicaciones. *Universidad politécnica de Madrid*, 1-29.
- Bendig, J., Yu, K., Aasen, H., Bolten, A., Bennertz, S., Broscheit, J., ... Bareth, G. (2015). Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.02.012>
- Drone Industry Insights (Dronell). (08 de 08 de 2019a). *Reportes*. Obtenido de The Drone Applications Report 2019: <https://www.droneii.com/drone-applications-2019>
- Drone Industry Insights (Dronell). (09 de 08 de 2019b). *blog*. Obtenido de Industry Update: The Drone Market Environment Map 2019: <https://www.droneii.com/drone-market-environment>
- Enciso, J., Jung, J., & Chang, A. (2018). Assessing land leveling needs and performance with unmanned aerial system. *Journal of Applied Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1117/1.jrs.12.016001>
- FAO. (2018). *E-Agriculture in Action: Drones For Agriculture*. Bangkok: Food and Agriculture Organization of the United Nations and International Telecommunication Union. Obtenido de <http://www.fao.org/3/l8494EN/i8494en.pdf>
- Gago, J., Douthe, C., Coopman, R. E., Gallego, P. P., Ribas-Carbo, M., Flexas, J., ... Medrano, H. (2015). UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture. *Agricultural Water Management*. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.01.020>
- Hall, O., Dahlin, S., Marstorp, H., Archila Bustos, M., Öborn, I., & Jirström, M. (2018). Classification of Maize in Complex Smallholder Farming Systems Using UAV Imagery. *Drones*. <https://doi.org/10.3390/drones2030022>
- Holman, F. H., Riche, A. B., Michalski, A., Castle, M., Wooster, M. J., & Hawkesford, M. J. (2016). High throughput field phenotyping of wheat plant height and growth rate in field plot trials using UAV based remote sensing. *Remote Sensing*. <https://doi.org/10.3390/rs8121031>
- Marcial-Pablo, M. de J., González-Sánchez, A., Jimenez-Jimenez, S. I., Ontiveros-Capurata, R. E., & Ojeda-Bustamante, W. (2019). Estimation of vegetation fraction using RGB and multispectral images from UAV. *International Journal of Remote Sensing*, 40(2), 420–438. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1528017>



- Martínez, P., Ojeda, D., Pérez, E., & Bravo, F. (2015). Vehículos aéreos no tripulados (vant) en cuba, aplicados a la Geomática. Estado actual, perspectivas y desarrollo. *XV Encuentro de Geógrafos de América Latina Cuba 2015*, (pp. 1-9). Habana, Cuba
- MicaSense. (2019). *14 maneras de usar imágenes multiespectrales en agricultura*. Seattle. Obtenido de <https://www.micasense.com/es/drones-agricolas>
- Ribeiro-Gomes, K., Hernández-López, D., Ortega, J. F., Ballesteros, R., Poblete, T., & Moreno, M. A. (2017). Uncooled thermal camera calibration and optimization of the photogrammetry process for UAV applications in agriculture. *Sensors (Switzerland)*. <https://doi.org/10.3390/s17102173>