



**III CONGRESO NACIONAL
DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2017**
Puebla, Pue., del 28 al 30 de noviembre de 2017

**Levantamiento y supervisión de infraestructura civil mediante
vehículos aéreos no tripulados**

**Sergio Iván Jiménez Jiménez^{1*}; Waldo Ojeda Bustamante²; Mariana de Jesús
Marcial Pablo¹**

¹Maestro en Ciencia y Tecnología del Agua -Sistemas Hidráulicos .Col. Progreso, C.P. 62550, Jiutepec, Morelos, México.

²Coordinación de Riego y Drenaje. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso, C.P. 62550, Jiutepec, Morelos, México.

serchjimenez.1990@gmail.com - (777) 329- 36- 00 ext. 521. (*Autor de correspondencia)

Resumen

La teledetección a partir de sensores remotos montados en Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTs) aporta aplicaciones no solo para la adquisición de imágenes sino también para diversos análisis de datos espacio-temporal. En los levantamientos topográficos y la supervisión de infraestructura civil, esta tecnología presenta diversas ventajas respecto a los métodos tradicionales, a la fotografía aérea convencional, e incluso frente a las imágenes captadas desde plataformas satelitales. Estas ventajas fundamentales son: tiempos cortos en la adquisición de la información, mayor resolución espacial (se puede volar a muy baja altura <100 m), mayor resolución temporal (pueden obtener imágenes con mayor frecuencia), son capaces de tomar imágenes en días nublados y el costo de los sensores empleados es relativamente bajo, pudiéndose usar cámaras digitales convencionales.

Aplicaciones con VANTs, referentes a los levantamientos y la supervisión de infraestructura civil han sido abordadas por diferentes autores, en donde buscan obtener metodologías y algoritmos de trabajo, además de evaluar precisiones, tiempos y eficiencias, sin embargo, es necesario definir los alcances y limitaciones que tiene esta nueva tecnología en estas áreas. En este sentido, en el presente trabajo se describen y analizan cuatro aplicaciones: i) Levantamientos topográficos, ii) inspección de infraestructura y extracción de características geométricas, iii) cartografía de construcciones y iv) detección de grietas sobre estructuras de concreto.

Palabras clave adicionales: infraestructura hidroagrícola, análisis de imágenes, drones.



1. Introducción

El auge que tienen los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTs) se debe principalmente a la miniaturización de sus componentes, además, no se arriesgan vidas humanas ante el mal funcionamiento del vehículo (Ojeda, Flores, & Unland, 2014) y es útil para aquellas zonas de difícil acceso geográfico como volcanes, incendios, zonas de desastre como deslaves o inundaciones (Barrientos *et al.*, 2007). Esta tecnología está evolucionando de manera exponencial aportando nuevas aplicaciones en la cartografía, minería, monitoreo de cultivos, bosques y otros ecosistemas, inspección de obra civil, investigaciones medioambientales y en la vigilancia (Martínez *et al.*, 2015).

Los VANTs pueden adquirir datos de manera rápida y muy precisa que pueden ser procesados comúnmente con la técnica fotogramétrica en nubes de puntos, modelos digitales de superficie (Flener *et al.*, 2013) y ortomosaicos (Hernández, 2006).

La característica más importante de los VANTs en la topografía, se evidencia en el proceso de captura y almacenamiento de datos de campo, aumentando la posibilidad de obtener un producto final con mayor rapidez y de mayor calidad; sin embargo, cada vez se requieren equipos computacionales más sofisticados para el procesamiento de la información en gabinete.

En la supervisión de obras civiles, los VANTs ofrecen diversas ventajas, las principales son: i) Se obtienen fotografías y videos en alta resolución de la obra en pocas misiones de vuelo, a un bajo costo. Los VANTs vuelan cerca de la superficie de interés para localizar grietas, problemas de erosión corrosión y defectos de construcción, que de otro modo requerirían plataformas, andamios, escaleras o arneses de seguridad. Anteriormente esta tarea demandaba el uso de vehículos tripulados o brigadas de supervisión, con un gran consumo de tiempo y recursos. ii) No se expone la vida del operador. El recorrido se programa de forma remota y se asiste por medio de un sistema de seguimiento computarizado. iii) En el VANT se pueden colocar cámaras térmicas y termográficas, útiles en la detección de corrosión, fugas y motores con problemas de calentamiento (Ojeda-Bustamante *et al.*, 2017).

2. Aplicaciones civiles con VANTs

Si bien fue en el sector militar donde surgieron los VANTs 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). Esto ha provocado el desarrollo exponencial de los VANTs junto con los sensores remotos.

Actualmente, esta tecnología aporta aplicaciones no solo para la adquisición de imágenes sino también para diversos análisis de datos espacio-temporal, desde levantamientos cartográficos hasta reconocimiento de patrones terrestres o medición remota de propiedades o variables de interés de la superficie, (Ojeda, Flores, & Unland, 2014).

Antes de utilizar los VANTs en una aplicación específica se deben contestar dos preguntas: ¿Cuál es el tipo de VANTs [multirotor (M) o ala fija (AF)] que presenta más ventajas para mi aplicación? Y ¿Qué cámara debo usar?. En aquellas aplicaciones donde se requiera que el equipo realice maniobras en forma estacionaria y/o a baja velocidad, el VANT más adecuado sería el de multirotor (Barrientos *et al.*, 2007) que también puede

ser usado para eventos más urgentes como recabar información previa y con fines de planeación (Ojeda, Flores, & Unland, 2014). En cambio, si se desea realizar vuelos a velocidades altas (> 12 m/s) y alturas superiores (<120 m), por ejemplo para recolectar datos cartográficos, la opción más prudente sería optar por los de ala fija.

En lo que respecta a la segunda pregunta, un VANT se puede equipar con cámaras que pueden tomar imágenes en un rango específico del espectro solar, estas cámaras pueden ser: RGB, Multiespectrales, Térmicas (Figura 1). Cuanto más bandas espectrales posea la cámara a bordo, mayor será la cantidad y calidad de la información (Di Leo, 2015) y mayor el precio de adquisición de la misma.

En el Tabla 1 se presentan las aplicaciones más importantes de esta tecnología por área de estudio, destacando el tipo de VANT más común para realizar la misión.

Tabla 1. Aplicaciones civiles de los VANTs (Barrientos et al., 2007; Ojeda, Flores, & Unland, 2014).

Área	Aplicaciones	VANT más común
Agricultura	Vigilancia de los cultivos fumigación.; Análisis del estrés hídrico; Vigilancia de ganado.	M
Filmografía	Cine y Reportaje fotográfico.	M, AF
Ingeniería	Inspección de infraestructura: Oleoductos y Gaseoductos. Inspección de obra civil: puentes viaductos, presas.	M
Climatología	Muestreo y análisis de la atmósfera para la previsión; Monitorización de contaminación atmosférica; Toma de muestras y monitorización de partículas en Aerosol atmosférica.	M, AF
Desastres Naturales	Reconocimiento y toma de datos en Huracanes, Riadas, Volcanes. Noticias, información y fotografías, imágenes, por ejemplo grado de afectación, nivel de siniestros, población afectada	M, AF
Desastres no naturales	Radioactivos; Vertidos contaminantes (Petróleo); Incendios forestales	M, AF
Cartografía	Topografía	AF
Electricidad	Inspección de líneas eléctricas	H
Vigilancia	Inmigración ilegal; Contrabando; Seguimiento y control del tráfico; Zonas de embotellamiento.	M, AF
Ríos	Control de supervisión de los cursos de agua y el nivel, las inundaciones y la contaminación.	AF
Recursos naturales	Pesca; Minería	M, AF



Figura 1. Cámara RGB SONY, multiespectral Tetracam ADC Snap y térmica Flir Vue Pro.

A continuación, se presentan cuatro aplicaciones usando VANT para el levantamiento y supervisión de infraestructura civil.

2.1. Levantamientos topográficos

La topografía tiene diversas aplicaciones, como en levantamiento de trazos, deslindes, divisiones de tierra (agrodésia), determinaciones de área (agrimensura), nivelación de terrenos, construcción de bordos, canales y drenes, cuantificación de volúmenes extraídos, en los trabajos topográficos antes, durante y después de la construcción de obras, como carreteras, ferrocarriles, edificios, puentes, canales, presas, fraccionamientos, servicios municipales, etc. (Alcántara, 2014).

Los levantamientos topográficos con métodos tradicionales (estaciones totales, GPS o niveles) exigen una inversión de días o semanas y brindan resoluciones gruesas; los basados en imágenes satelitales además de que su precisión es superior al metro pueden presentar dificultad por baja calidad espacial de los datos, cobertura de nubes o efectos atmosféricos agregado a ello la resolución temporal; los basados en VANTs (Figura 2) vienen a solucionar algunos de los problemas anteriores, ya que se pueden adquirir datos con una alta resolución espacial (<5 cm, es posible detectar pequeños detalles de la superficie) y en tiempos más cortos que con las tecnologías convencionales.

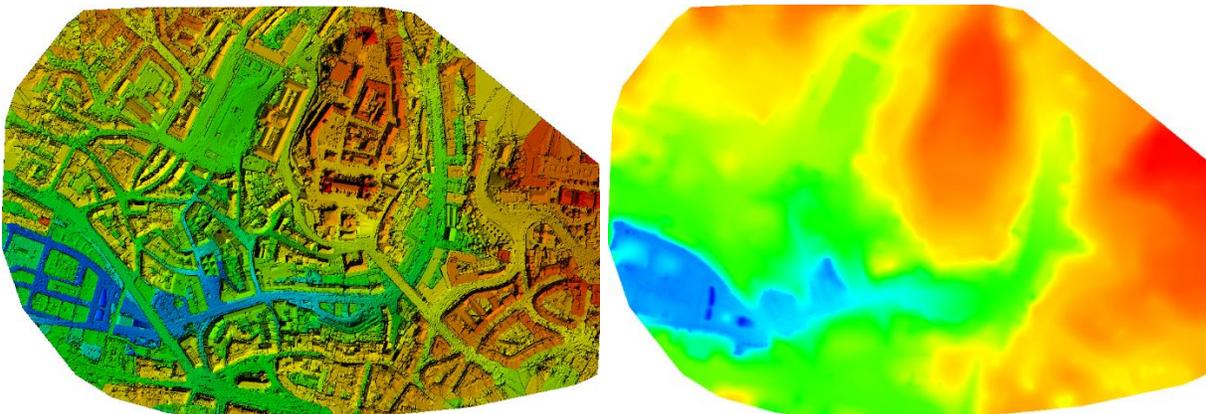


Figura 2. MDS y MDT del centro de la ciudad de Lausana, Suiza, obtenido con imágenes captadas desde un VANT (Pix4D, 2017).

La mayor ventaja de los VANTs en esta área, se evidencia en el proceso de captura, almacenamiento y transmisión de datos de campo, lo que permite tener estudios topográficos en tiempos más cortos y de mayor calidad; además, es posible obtener la topografía a partir de videos (videogrametría) captados desde estas plataformas, estos videos se descomponen en fotogramas a un cierto intervalo de tiempo (e. g., Mejía, 2016). La desventaja principal se observa en la etapa del procesamiento de la información, ya que se requieren equipos computacionales sofisticados y software especializados, los cuales en su mayoría son costosos. De todo el flujo de trabajo fotogramétrico con el VANT, esta etapa del procesamiento es el que más tiempo demanda, aproximadamente el 60 % (Nex & Remondino, 2014).

Las dudas que se generan al emplear los VANTs en la topografía son: las precisiones alcanzadas y los tipos de superficies que se pueden levantar. En la mayoría de los estudios, los errores más grande en los modelos digitales de terreno (MDT) se presentan en el eje Z, estos errores (RMSE) son en general entre 2 a 3 veces la resolución del ortomosaico (Nex & Remondino, 2014); y están influenciados por el número de puntos de control, la calidad de los mismos (en principio libres de error), y la distribución de estos, (Morillo *et al.*, 2002).

El uso de esta nueva tecnología se restringe al levantamiento de ciertas superficies, se puede emplear para obtener la topografía de superficies despejadas, con vegetación aislada o zonas urbanas; en superficies cubiertas de vegetación densa no es posible, ya que la cubierta vegetal no permite obtener puntos sobre el terreno; en cuerpos de agua profundos como vasos de presas no es posible, sin embargo, en los cuerpos de agua como ríos o canales es posible obtener la batimetría aunque no de forma directa. Por tanto, los VANTs no reemplazan el uso de los GPS, las Estaciones Totales, los niveles, etc., sino que son un complemento a las tecnologías existentes (Jiménez, 2017). Una alternativa para obtener la batimetría en ríos de grava y arena mediante la técnica fotogramétrica lo proponen Westaway, Lane, & Hicks (2001).

2.2. Inspección de infraestructura y extracción de características geométricas.

Es un reto incorporar el uso de VANTs como herramienta para el seguimiento y supervisión de la construcción de obras de infraestructura hidráulica, con la finalidad de documentar los siguientes aspectos: i) Estado físico de la infraestructura, ii) Avances en la construcción de una infraestructura (Figura 3), ii) Identificar posibles fallas en una obra hidráulica principal o en alguna de sus obras auxiliares (Ojeda *et al*, 2016).



Figura 3. Supervisión de la construcción de una canal apoyada con VANTs en una zona de en el norte de Sinaloa, México.

Las mediciones de características geométricas en estructuras, que se realizan con apoyo de los VANTs son de alta precisión en los tres ejes. Estas mediciones se pueden hacer a través de los modelos digitales de elevación (MDE) y ortomosaicos, con los cuales se pueden obtener áreas, distancias y perfiles longitudinales y transversales (Figura 4). En zonas profundas del vaso de una presa las elevaciones del nivel del agua obtenidas con fotogrametría no son confiables, debido principalmente al brillo del sol que se refleja en el agua y al movimiento propio de este, lo cual afecta negativamente el procesamiento fotogramétrico de las imágenes.

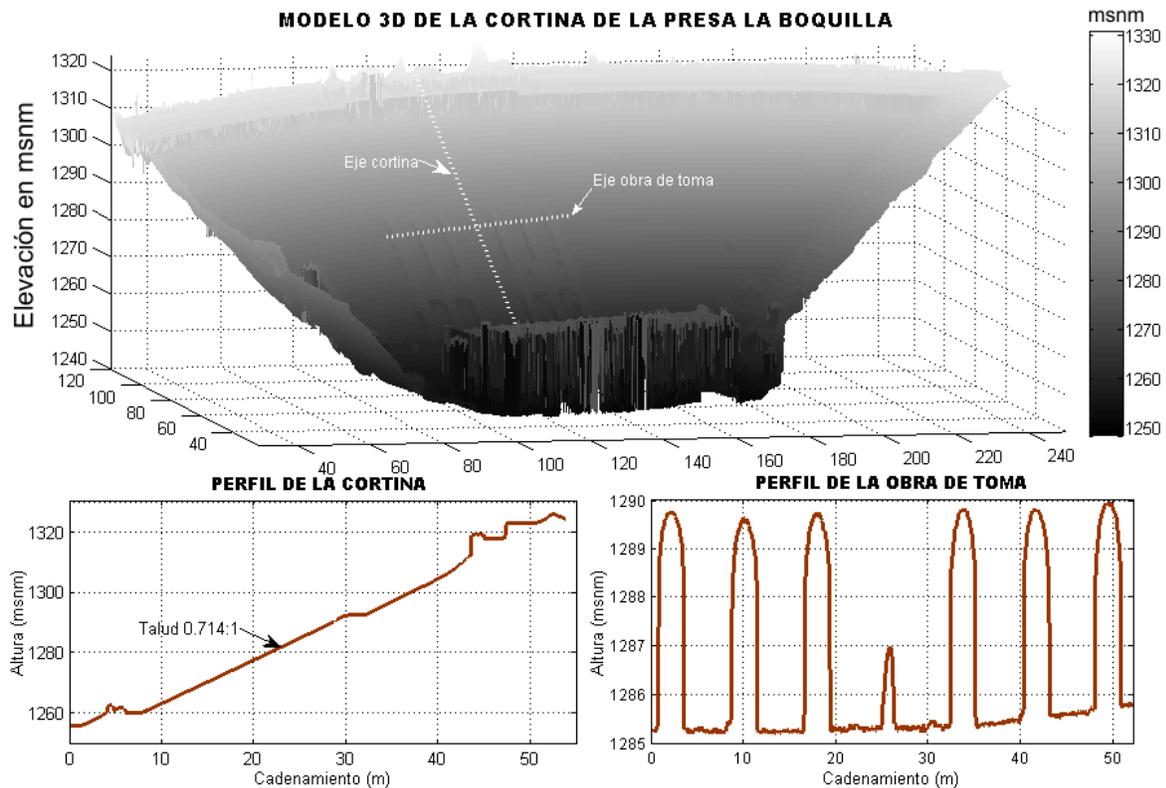


Figura 4. Perfil de la cortina de la presa La Boquilla (Jiménez, 2017).

2.3. Cartografía de construcciones

La cartografía, como muchas otras disciplinas; ha venido experimentando un desarrollo desde la llegada de la computadora, y los modernos equipos para realizar levantamientos topográficos junto a otras técnicas y herramientas de procesamiento de la información. Este desarrollo tecnológico ha impulsado su transformación y lo ha convertido en una fuente de información para el ordenamiento territorial, extracción de estadísticas poblacionales, detección de problemas, y otros datos (Lerma, 2013) que sirven en la toma de decisiones.

Actualmente, se plantea que la información catastral se levante mediante GPS (Global Positioning System) y vehículos aéreos no tripulados (VANTs) y se integre en sistemas de información geográfica.

El uso de los VANTs en la cartografía catastral presentan ventajas considerables sobre las tecnologías convencionales, ya que se reduce el trabajo de campo, se tiene mayor cobertura en menos tiempo y aumenta la capacidad para levantar superficies inaccesibles, (Buill, Núñez, & Rodríguez, 2003); en comparación con imágenes de satélites la resolución espacial es de unos cuantos centímetros, debido principalmente a la altura en que se adquieren las imágenes y no se tienen problemas por nubosidad.

Diversos autores han realizado la cartografía catastral en base a información captada desde VANTs, unos digitalizan manualmente las construcciones sobre el ortomosaicos (e.g., Vásquez, 2017; Baquero & Botero, 2017), ya que al ser productos de alta resolución

espacial se pueden apreciar las construcciones con detalle. La digitalización manual es útil cuando se trabaja con superficies pequeñas, sin embargo, en superficies extensas esto se vuelve tedioso, por lo que algunos autores han optado por utilizar técnicas de segmentación de imágenes. Khoshelham & Zhilin (2004) a partir de imágenes RGB extrajeron de manera automática construcciones usando el algoritmo de extracción de borde de Canny (Canny, 1986); Ok (2009) clasificó automáticamente edificios en una zona residencial de Turquía (Figura 5) aplicando el algoritmo de segmentación mean-shift para suavizar la imagen y el método de Canny para detectar los bordes; Gevaert, Persello, Sliuzas, & Vosselman (2016) utilizaron el algoritmo de segmentación Mean Shift y antes de clasificar las construcciones utilizaron un índice de vegetación para poder separar ambas clases.



Figura 5. Clasificación de edificación en una zona residencial de Turquía (Ok, 2009).

La cartografía de construcciones con VANT es un tema ampliamente estudiado, sin embargo, es necesario la generación de metodologías y algoritmos óptimos para extraer automática esta característica en diferentes condiciones.

2.4. Detección de grietas sobre estructuras de concreto

La detección de grietas sobre estructuras es importante ya que estas pueden constituir un riesgo a mediano o largo plazo, primero de la estructura, pero lo más importante de las personas que la operan y en casos extremos, provocando daños colaterales en la población o infraestructura localizada aguas abajo de esta (Ojeda *et al*, 2016).

Las grietas se presentan como líneas alargadas por lo que su detección precisa con imágenes satelitales o aéreas es casi imposible, ya que las resoluciones espaciales que brindan estas tecnologías suelen ser mayores a 30 cm/pixel, por lo que las imágenes captadas desde VANTs vienen a ser una solución viable a esta problemática.

En diversas investigaciones se han empleado distintas metodología para la detección de grietas usando imágenes de VANTs, estas metodologías se basan en algoritmos de

segmentación de imágenes basados principalmente en detección de bordes. Pereira & Pereira (2015) equiparon un VANT para la detección de grietas sobre estructuras de concreto en tiempo real, usaron un algoritmo de detección de bordes basada en el operador Sobel o el filtro Sobel y operaciones morfológicas (Figura 6); Rimkus, Podvieszko, & Gribniak (2015) mediante análisis de imágenes y la técnica de correlación digital de imágenes (DIC, Digital Image Correlation) obtuvieron las coordenadas de los píxeles de las grietas existentes sobre una superficie de concreto;

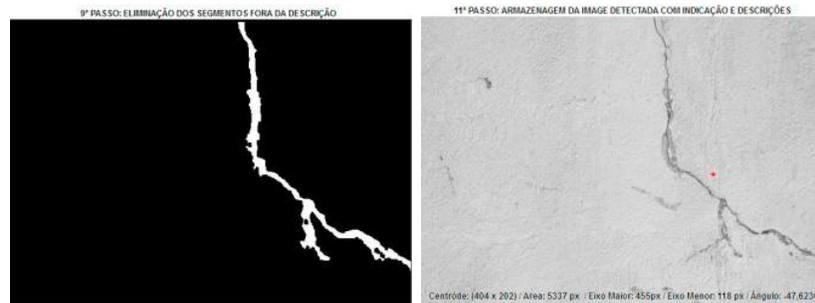


Figura 6. Detección de grietas sobre concreto (Pereira & Pereira, 2015)

3. Conclusiones

Las herramientas tecnológicas como los vehículos aéreos no tripulados (VANTs) y las cámaras digitales han generado cambios sustanciales en las metodologías de trabajo de diversas áreas de la ciencia; si bien los VANTs fueron desarrollados inicialmente con fines militares, en los últimos años han surgido diferentes aplicaciones civiles, que han ampliado el interés, la investigación y el desarrollo de estos sistemas, a la vez que han originado nuevas demandas y una reglamentación de uso más estricta.

Dependiendo de los objetivos del trabajo a realizar, se debe seleccionar el tipo de VANT que presenta más ventajas, así como la cámara que permite resaltar las características de importancia en las imágenes.

En las aplicaciones referentes a los levantamientos y la supervisión de infraestructura civil el uso de los VANTs presenta diversas ventajas con respecto a los métodos tradicionales, estas ventajas se deben principalmente al ahorro de tiempo en la adquisición de la información, se mejora la resolución espacial y se puede obtener información de zonas inaccesible. En los levantamientos topográficos las precisiones y las resoluciones alcanzadas son alrededor de centímetros, los cuales dependen de la altura de vuelo, y de puntos de control en el terreno, sin embargo, no se puede levantar zonas boscosas o cubiertas de agua. En la supervisión brinda información que permite determinar el estado actual de la infraestructura ya sea mediante detección de grietas, zonas de infiltración sobre cortinas; avances en la construcción de una obra u otras características de importancia.

4. Referencias Bibliográficas

- Alcántara, D. (2014). *Topografía y sus aplicaciones* (Primera ed.). México, México: Compañía editorial continental.
- Baquero, D. G., & Botero, J. C. (2017). *Metodología de captura para el barrido predial masivo empleando UAV, prueba piloto para catastro multipropósito*.



- 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.
- Buill, F., Núñez, M., & Rodríguez, J. (2003). *Fotogrametría analítica* (Primera ed., Vol. 79). (E. UPC, Ed.) Universidad Politécnica de Catalunya.
- Canny, J. (1986). A computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **8**(6), 679–698. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.1986.4767851>
- Di Leo, N. (2015). Drones: nueva dimensión de la teledetección agroambiental y nuevo paradigma. *Agromensajes*, **41**(1), 7-17
- Flener, C., Vaaja, M., Jaakkola, A., Krooks, A., Kaartinen, H., Kukko, A., . . . Alho, P. (2013). Seamless Mapping of River Channels at High Resolution Using Mobile LiDAR and UAV-Photography. *Remote Sensing*, **5**(1), 6382-6407. doi:10.3390/rs5126382
- Gevaert, C. M., Persello, C., Sliuzas, R., & Vosselman, G. (2016). Classification of Informal Settlements Through the Integration of 2D and 3D Features Extracted From Uav Data. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, *III-3*(July), 317–324. <https://doi.org/10.5194/isprsannals-III-3-317-2016>
- Jiménez Jiménez, S. (2017). *Levantamiento y supervisión de infraestructura civil mediante vehículos aéreos no tripulados (VANTs)* (Tesis de Maestría). Instituto mexicano de tecnología del agua.
- Hernández, D. (2006). *Introducción a la fotogrametría digital*. Madrid, España: Universidad de Castilla La Mancha.
- Khoshelham, K., & Zhilin, L. I. (2004). A model-based approach to semi-automated reconstruction of buildings from aerial images. *Photogrammetric Record*, **19**(108), 342–359. <https://doi.org/10.1111/j.0031-868X.2004.00290.x>
- Lerma, J., & Biosca, J. (2008). *Teoría y práctica del Escaneado Láser Terrestre: Material de aprendizaje basado en aplicaciones prácticas*. Proyecto Leonardo da Vinci 3DRiskMapping.
- 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.
- Mejía, P. (2016). *Mediciones sobre ortofotos con base en videogrametría UAV*. Tesis de licenciatura, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de medio ambiente y recursos naturales, Bogotá.
- Morillo, J., Pozo, J., Pérez, F., Rodríguez, M., & Rebollo, F. (2002). Análisis de calidad de un modelo digital de elevaciones generado con distintas técnicas de interpolación. *XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica* (pp. 1-12). Santander, España: Asociación de Profesores de Expresión Gráfica en la Ingeniería.
- Nex, F., & Remondino, F. (2014). UAV for 3D mapping applications: A review. *Applied Geomatics*. <https://doi.org/10.1007/s12518-013-0120-x>
- Ojeda, W., Flores, J., & Unland, H. (2014). *Drones y sistemas de información geográfica en la ingeniería hidroagrícola*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Riego y Drenaje. Jiutepec, Morelos: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.



- Ojeda, W., Ontiveros, R., Flores, J., Robles, B., & Jimenez, S. (2016). Aplicaciones a la Ingeniería. In W. Ojeda, J. Flores, & R. Ontiveros, *Drones aplicados a la ingeniería y agricultura de precisión* (pp. 223-229). Jiutepec: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Ojeda-Bustamante, W., González-Sánchez, A., Mauricio-Pérez, A., & Flores-Velázquez, J. (2017). Aplicaciones de los vehículos aéreos no tripulados en la ingeniería hidroagrícola. *Tecnología Y Ciencias Del Agua*, **8**(4), 157–166. Obtenido de <https://imta.gob.mx/tyca/descargas/art-2017-04-10.pdf>
- Ok, A. Ö. (2009). Automated Description of 2-D Building Boundaries From a Single Color Aerial Ortho-Image. In *ISPRS Archives* (Vol. XXXVIII, p. 1–4–7/W5). Obtenido de http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/1_4_7-W5/paper/Ok-150.pdf
- Pereira, F. C., & Pereira, C. E. (2015). Embedded image processing systems for automatic recognition of cracks using UAVs. In *IFAC-PapersOnLine* (Vol. 28, pp. 16–21). <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.08.101>
- Pix4D. (2017, 03 03). *pix4d*. Obtenido de Soporte: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202560579-How-to-automatically-generate-a-Digital-Terrain-Model-DTM-#gsc.tab=0>.
- Rimkus, A., Podvieszko, A., & Gribniak, V. (2015). Processing Digital Images for Crack Localization in Reinforced Concrete Members. In *Procedia Engineering* (Vol. 122, pp. 239–243). <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.10.031>
- Vásquez, J. C. (2017). *Elaboración de la norma técnica para la generación de cartografía catastral de escala 1:1000, empleando UAV*. Universidad de las fuerzas armadas, Ecuador. Retrieved from <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/13353/1/T-ESPE-057308.pdf>
- Westaway, R., Lane, S., & Hicks, M. (2001). Remote Sensing of Clear-Water, Shallow, Gravel-Bed Rivers Using Digital Photogrammetry. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **67**(11), 1271-1281