



Artículo: COMEII-16033

## II CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2016

Chapingo, Edo. de México, del 08 al 10 de septiembre

### TOPOGRAFÍA DE ALTA RESOLUCIÓN USANDO SENSORES REMOTOS TRANSPORTADOS EN DRONES

**Sergio Iván Jiménez Jiménez<sup>1\*</sup>; Jorge Flores Velázquez<sup>2</sup>; Braulio David Robles Rubio<sup>2</sup>; Waldo Ojeda Bustamante<sup>2</sup>; Ronald Ernesto Ontiveros Capurata<sup>3</sup>; Mariana de Jesús Marcial Pablo<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Egresado de la Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Irrigación. Carretera México - Texcoco, km 38.5, Chapingo, Estado de México. C.P. 56230. México. serchjimenez.1990@gmail.com. (\*Autor para correspondencia).

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

<sup>3</sup>Catedra CONACyT –IMTA. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Coordinación de Riego y Drenaje- Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso, C.P. 62550, Jiutepec, Morelos, México.

#### Resumen

Los procedimientos para levantar un detalle de la superficie terrestre, topográficamente hablando, han evolucionado con la incorporación de nuevas tecnologías, tales como el uso de sensores remotos montados en satélites, avionetas o drones. El uso de drones presenta una alternativa a las desventajas de los métodos tradicionales, cuyo procedimiento exige una inversión de tiempo de días o semanas y brindan resoluciones gruesas, mientras, que con uso de sensores remotos transportados en drones la información permite obtener productos de alta resolución espacial y temporal, pero la mayor ventaja de esta nueva tecnología se evidencia en el proceso de captura, almacenamiento, cálculo y transmisión de datos de campo, con lo cual se agiliza el tratamiento de la información y generación de productos. Además, el avance en la fotogrametría digital ha permitido mejorar precisión y aumentar la rapidez de procesamiento de la información de imágenes aéreas para tener estudios topográficos de mayor calidad. En el presente estudio se describe una metodología general para obtener la topografía de dos canales de riego: el canal Oriente en el DR 075 Rio Fuerte, Sinaloa y las Estacas II en el DR 016 estado de Morelos aplicando la técnica fotogramétrica a las imágenes obtenidas de sensores remotos transportados en drones

**Palabras clave:** Fotogrametría, GPS, canales de riego.



## Introducción

La topografía se usa extensamente en diversas disciplinas, en la ingeniería es necesario realizar trabajos topográficos antes, durante y/o después de la construcción de obras como carreteras, canales, presas, sistemas de riego, límites en terrenos de propiedad privada y pública, etc.

Los levantamientos topográficos se realizan con el fin de determinar la configuración del terreno y la posición en la superficie de la tierra de elementos naturales o instalaciones construidas por el hombre, el posicionamiento puede obtenerse directamente o mediante un proceso de cálculo, con las cuales se obtiene la representación gráfica del terreno levantado, el área y volúmenes de tierra cuando así se requiera; (Torres & Villate, 2001).

Los métodos más ampliamente usados para realizar un levantamiento topográfico son los tradicionales, los cuales se basan en el uso de GPS, estaciones totales, nivel, etc.

La Estación Total y el GPS se utilizan juntos (McCormac, 2008) o bien el nivel y el GPS, este último, en principio, para el posicionamiento de puntos de control y la estación total o el nivel para la obtención de la información topográfica de los puntos de interés. Los GPS son capaces de capturar la información en tiempo real, pero son incapaces de recibir la señal del satélite bajo las copas de los árboles y edificios, (Fook Hai, 2008). La estación total registra datos de puntos precisos y por ello sirve para la calibración de nuevos métodos, pero demanda más mano de obra y tiempo; emite un rayo de láser en un solo punto para hacer únicamente una medición, por ello, la resolución o calidad de la información depende principalmente del número de puntos, (Fook Hai, 2008).

Estos métodos tradicionales son generalmente tardados y brindan resoluciones gruesas; sin embargo, estas desventajas han sido resueltas con el desarrollo de métodos basados en sensores remotos montados en satélites, aviones o drones; en México estas nuevas metodologías no han sido abordadas del todo en nuevas investigaciones. Los sensores remotos son una herramienta que permite el análisis de procesos ambientales, físicos de la tierra y socioeconómicos de la población, son capaces de cubrir grandes extensiones de superficie. Diversas ciencias utilizan esta herramienta para resolver problemáticas específicas.

Un dron es una aeronave acondicionada para colocar sensores remotos y/o dispositivos auxiliares operados a distancia que pueden ser pre-programados para fines diversos, desde levantamientos cartográficos hasta reconocimientos de patrones terrestres o medición remota de propiedades o variables de interés de la superficie terrestre, (Ojeda Bustamante, Flores Velázquez, & Unland Weiss, 2014). Los sensores más usados son las cámaras digitales para fotografías aéreas, (Flener, et al., 2013).

Las imágenes de la cámara digital proporcionan datos precisos que se pueden procesar con los métodos y algoritmos existentes en nubes de puntos y modelos de superficie para su uso posterior, (Flener, et al., 2013). La fotogrametría es la técnica más usada para obtener nubes de puntos y modelos de superficie por medio de fotografías aéreas.

En los levantamientos topográficos mediante sensores remotos montados en drones la característica de mayor importancia se evidencia en el proceso de captura, almacenamiento, cálculo y transmisión de datos de campo, así como en la representación gráfica de los mismos, esto ha traído como consecuencia la posibilidad de obtener un producto final con mayor precisión y rapidez.

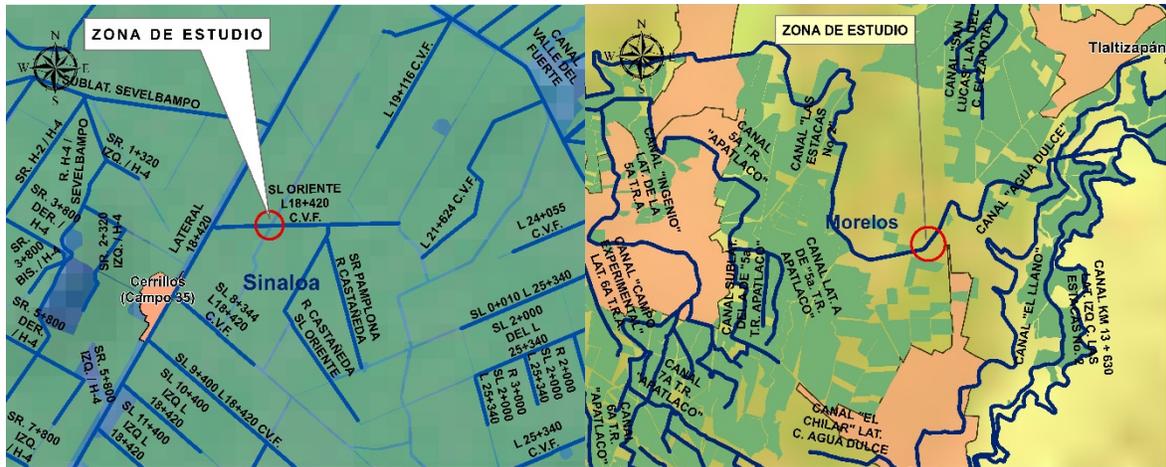
Este estudio tiene como objetivo principal presentar una metodología general usando la fotogrametría como técnica para obtener la topografía de una zona de interés, usando imágenes aéreas obtenida de sensores remotos montados en drones, para ello se eligieron dos zonas de estudio: el canal Oriente en el DR 075 Rio Fuerte, Sinaloa y el canal las Estacas II en el DR 016 estado de Morelos.

### **Materiales y métodos.**

En el estudio se usó un dron hexacóptero DJI A2, montando una cámara visible Sony de 16 mm de distancia focal, un GPS RTK marca TOPCON para tomar puntos de control sobre el terreno; las misiones de vuelo se programaron con el software UgCS; el procesamiento de las imágenes se realizó con software fotogramétrico en especial el programa Pix4D y Agisoft PhotoScan. La paquetería CAD se usó para la creación de curvas de nivel, secciones y perfiles.



**Figura 1.** Dron hexacóptero DJI y cámara visible SONY 16 mm.



**Figura 2.** Microlocalización del canal oriente y las Estacas II.

Se seleccionó un tramo de 230 m de longitud del canal de riego Oriente ubicado en el DR 075 Rio Fuerte, Sinaloa y un tramo de 180 m del canal principal las Estacas II ubicado en el DR 016 estado de Morelos (Figura 2).

El flujo de trabajo para la obtención de la topografía de un sitio en base a la técnica fotogramétrica apoyada por drones consiste básicamente en una misión de vuelo, apoyo topográfico, toma fotográfica y procesamiento y cálculo.

### Misión de vuelo

Una misión de vuelo puede realizarse de manera manual, semiautomático o automático, en ella se formulan los objetivos detallados del vuelo, actividad o tarea que realizará el dron, se programa la ruta de vuelo que se ejecutará de forma autónoma, los desplazamientos juntos con las velocidades, el lugar en que se deberá tomar la fotografía, o la inclinación de la cámara en ese punto.

En principio en una misión se determina la altura del vuelo en función de la resolución que se pretenda obtener en el área a representar, de la orografía del terreno y de la previsión meteorológica. La altura en función de la resolución se determina con las expresiones (1) y (2), se elige el valor más pequeño que resulta de ambas, (Universal Ground Control Software, 2016); la altura de vuelo es directamente proporcional a la resolución esperada y distancia focal e inversamente proporcional a las dimensiones del sensor (Gráfica 1):

$$H = \frac{f \cdot GSD \cdot RH}{A} \quad 1$$

$$H = \frac{f \cdot GSD \cdot RV}{B} \quad 2$$

Dónde:  $H$ = altura de vuelo,  $m$ ;  $GSD$ = Resolución esperada en la imagen,  $m$ ;  $RH$ =Resolución horizontal del sensor,  $px$ ;  $RV$ =Resolución vertical del sensor,  $px$ ;  $A$ = Ancho del sensor,  $mm$ ;  $B$ =Altura del sensor,  $mm$ .

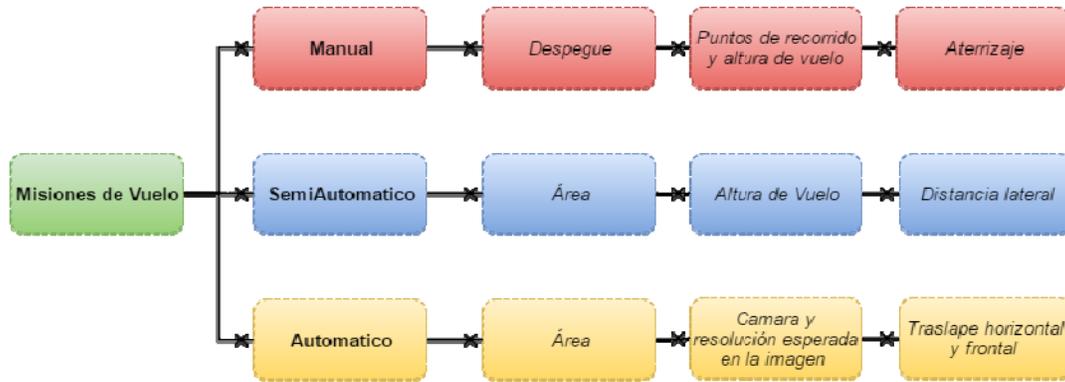
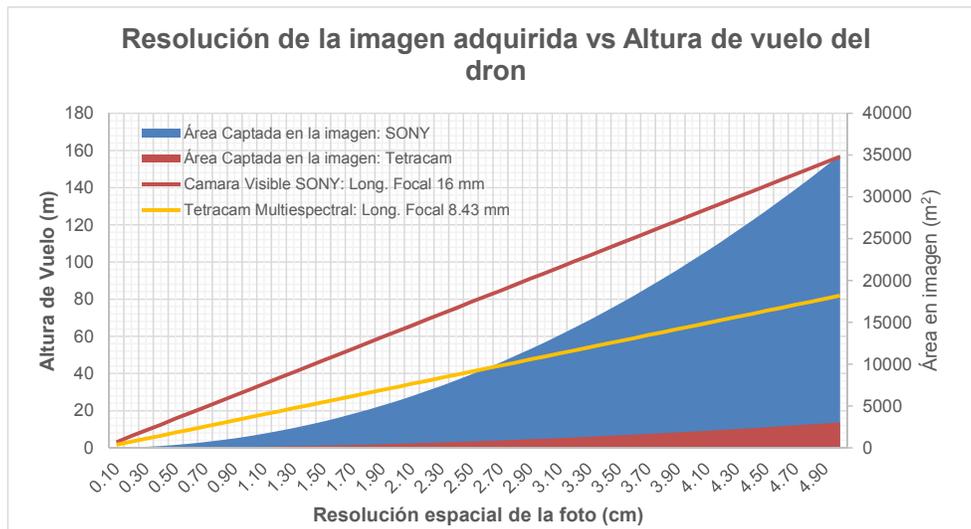


Figura 3. Misiones de vuelo.

En el Cuadro 1 se muestran las características del plan de vuelo para los canales en estudio, ambos con cuatro líneas de vuelo (Figura 4), el vuelo del canal oriente se realizó a una altura máxima de la superficie de 31 m, mientras que el Canal Las Estacas II a 16 m.



Gráfica 1. Resolución en la imagen vs altura de vuelo.

Cuadro 1. Características de la misión de vuelo del canal Oriente y Las Estacas II

Características	Canal Estacas II	Canal Oriente
Altura mínima, m	13.00	27.00
Altura máxima, m	16.00	31.00
Resolución del terreno, cm	0.50	1.00
Traslape frontal, %	70.00	70.00
Traslape lateral, %	60.00	70.00
Tiempo total de vuelo, s	109.00	148.00



**Figura 4.** Misión de vuelo con el programa UgCS, Canal Oriente DR 075 Río Fuerte, Sinaloa (Izquierda), canal principal las estacas II DR 016 Estado de Morelos (derecha).

### Apoyo topográfico y vuelo

Es necesaria la obtención de posiciones precisas de determinados puntos sobre el terreno. Estos puntos se denominan de control y sirven para georreferenciar los productos a obtener, permitiendo así que estos brinden precisiones de centímetros. Esta técnica en proyectos de fotogrametría aérea convencional no es muy utilizada, sin embargo para proyectos fotogramétricos con drones se adapta perfectamente.

Los puntos de control se repartieron estratégicamente en la zona de trabajo y se marcaron antes del vuelo para que en las fotos aparezcan claramente identificados y de esta manera minimizar errores de apreciación.



**Figura 5.** GPS RTK TopCon y marcas de puntos de control en la superficie

Para el caso del canal Oriente se tienen dos puntos de control y 4 para el canal las Estacas II. Las coordenadas de los puntos fueron obtenidos con un GPS RTK TopCon (Figura 5).

Los vuelos se realizaron cerca del mediodía y se guardó la telemetría de estos en el programa UgCS.

### Procesamiento y cálculo

Para el procesamiento de la información obtenida se usó la técnica de la fotogrametría.

El procesamiento inicial de la información fue: la descarga de las imágenes de la cámara, asignación de coordenadas a las imágenes, descarga de las coordenadas de los puntos de control e identificación de dichos puntos en las imágenes.

La asignación de las coordenadas a las imágenes se realizó mediante la telemetría guardada en el programa UgCS el cual registra las coordenadas del dron por cada pulsación del disparo de la cámara.

En el procesamiento de las imágenes se usó el programa Pix4D para el canal Oriente y el PhotoScan para el canal Las Estacas II, en ambos programas se usaron las imágenes con coordenadas. La identificación de los puntos de control en las imágenes se realizó dentro de los programas, (Figura 6).



**Figura 6.** Puntos de control localizadas en las imágenes tomadas con el dron.

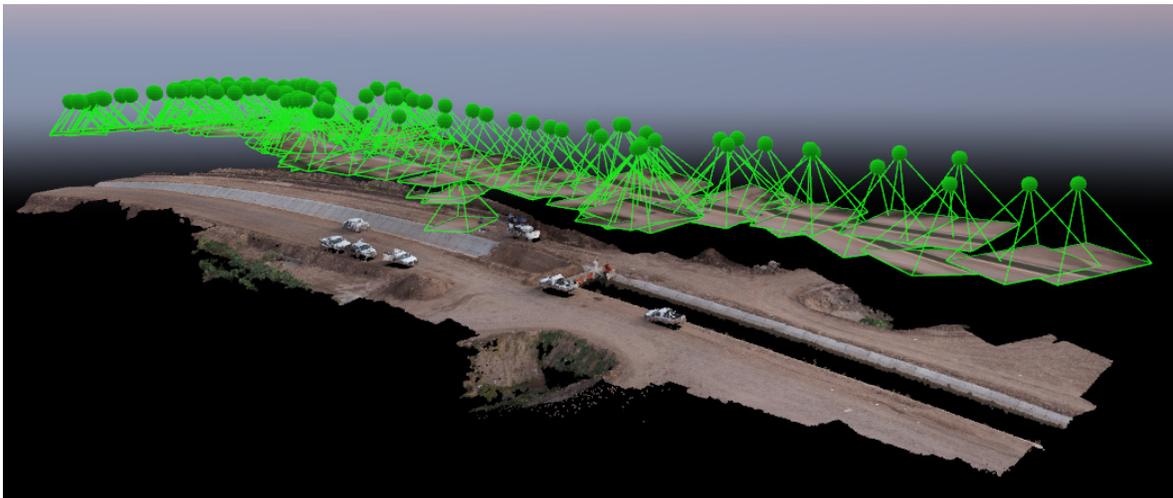
## Generación de productos

Del resultado del análisis fotogramétrico realizado por los programas Pix4D y PhotoScan se obtuvieron para ambos canales un modelo digital de superficie (MDS), un modelo en 3D, un Ortomosaico y un archivo de nube de puntos, ambas con resolución espacial indicada en el plan de vuelo y con coordenadas reales.

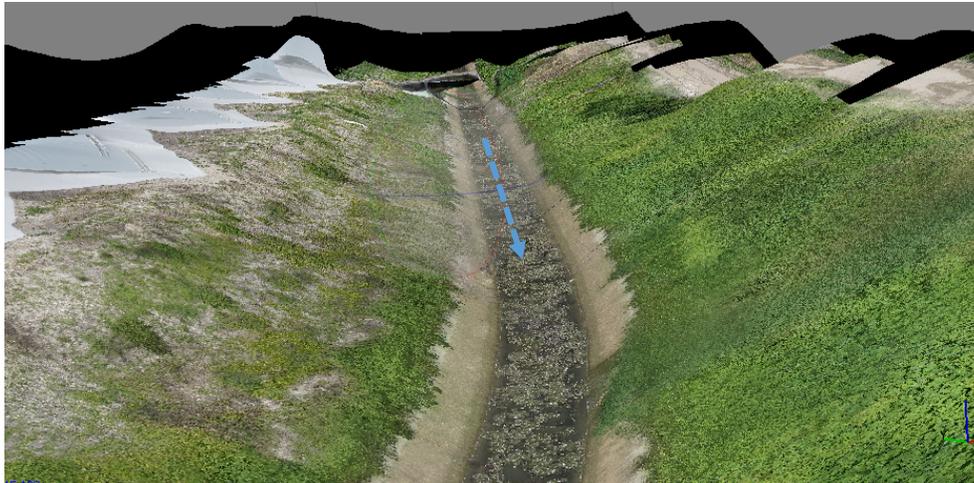
El MDS muestra pequeñas características de la superficie como rugosidad del terreno, vegetación que compone el paisaje, etc.

El producto más importante para cuestiones de topografía es la nube de puntos, ya que con esta información se pueden crear los modelos en 3D, curvas de nivel, secciones, perfiles, etc., o bien subproductos de interés topográfico para otras disciplinas. La resolución espacial y la correcta georeferenciación de la nube de puntos definen hasta cierto punto la precisión de los productos.

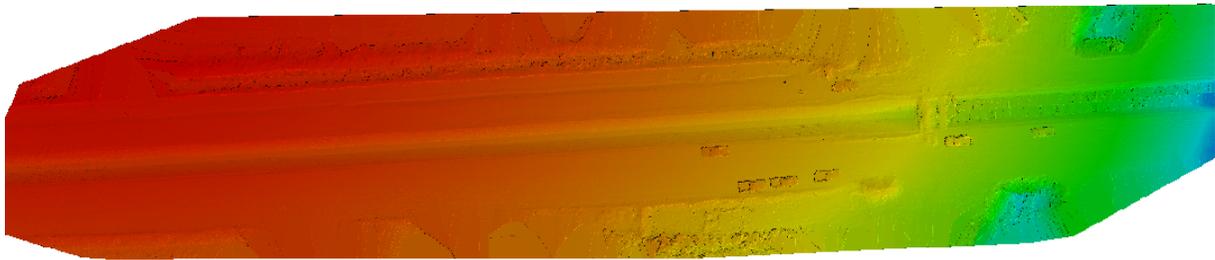
La nube de puntos se creó en formato LAS con un sistema de coordenadas WGS 84 UTM Zona 12 N para el canal oriente y UTM Zona 14 N para el canal Las Estacas II, el MDS y el Ortomosaico en formato GeoTIFF con coordenadas geográficas WGS. Los cuatro productos indicados se muestran en las siguientes imágenes.



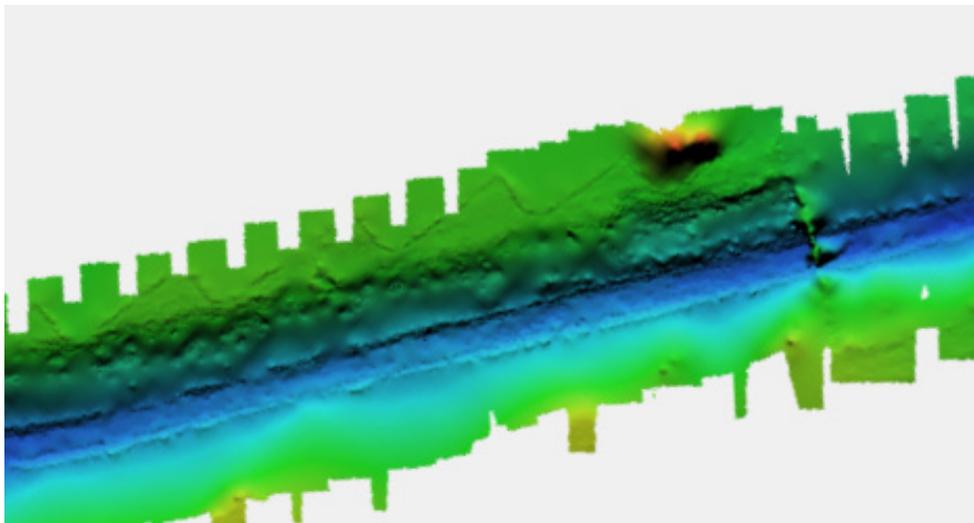
**Figura 7.** Modelo en 3D del canal oriente realizada con el programa Pix4D.



**Figura 8.** Modelo en 3D del canal Las Estacas II realizado con el programa PhotoScan.



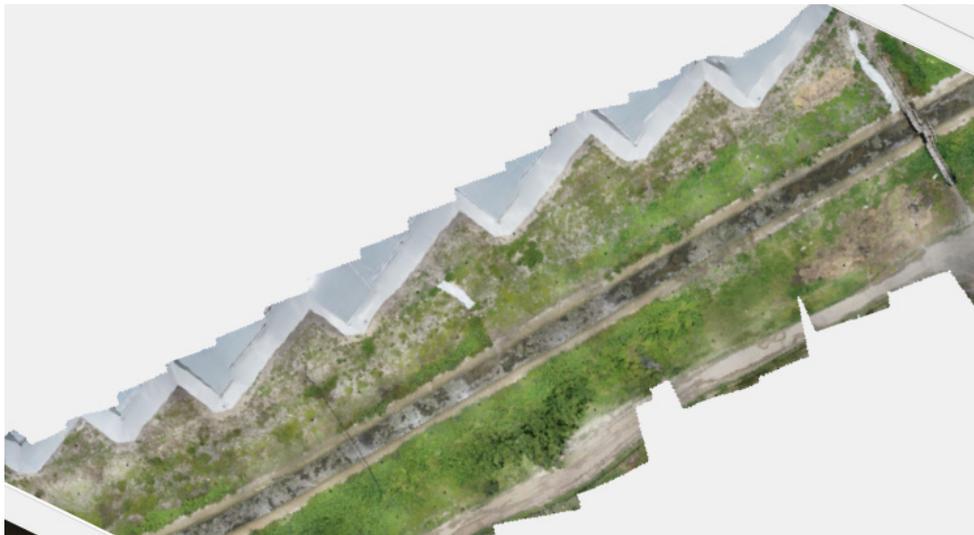
**Figura 9.** MDS del canal oriente realizada con el software Pix4D.



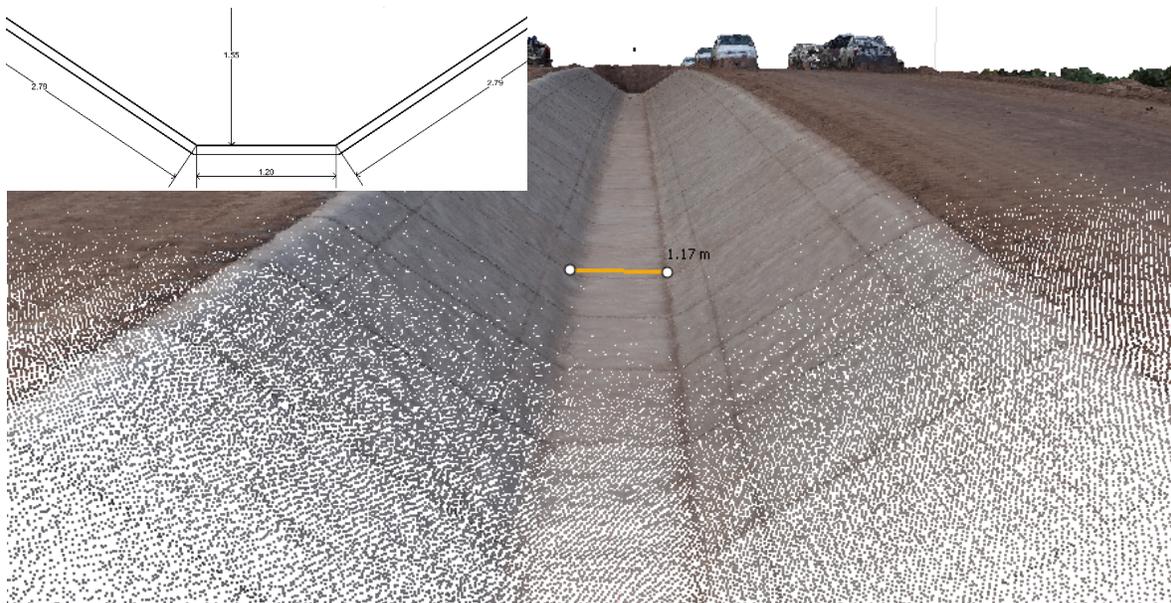
**Figura 10.** MDS del canal Las Estacas II realizado con el programa PhotoScan.



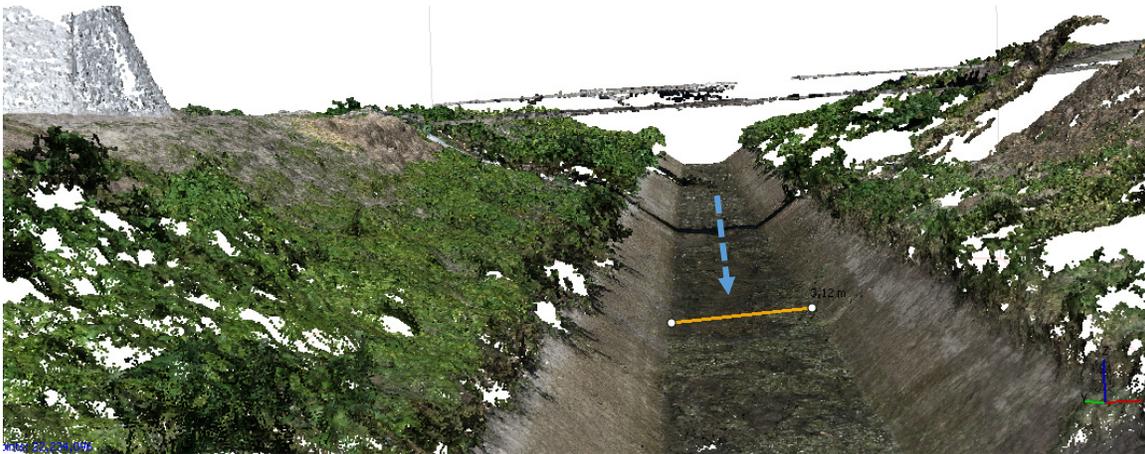
**Figura 11.** Mosaico del canal oriente realizada con el software Pix4D.



**Figura 12.** Mosaico del canal Las Estacas II realizado con el programa PhotoScan.



**Figura 13.** Nube de puntos del canal Oriente.



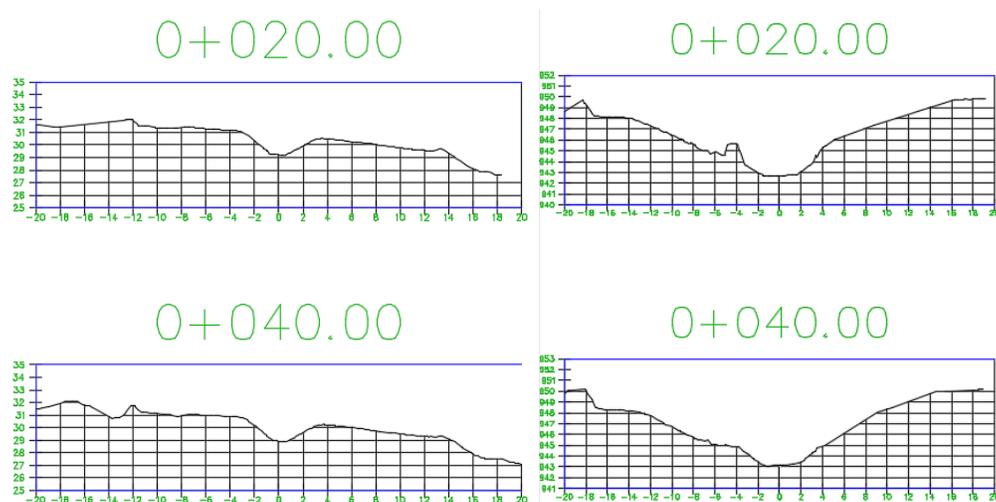
**Figura 14.** Nube de puntos del canal Las Estacas II, visto en el programa PhotoScan.

Es conveniente indicar que aunque la resolución espacial de los productos de ambos canales es igual o menor a un centímetro no es posible apreciar con todo detalle objetos menores de diez centímetro.

### Topografía

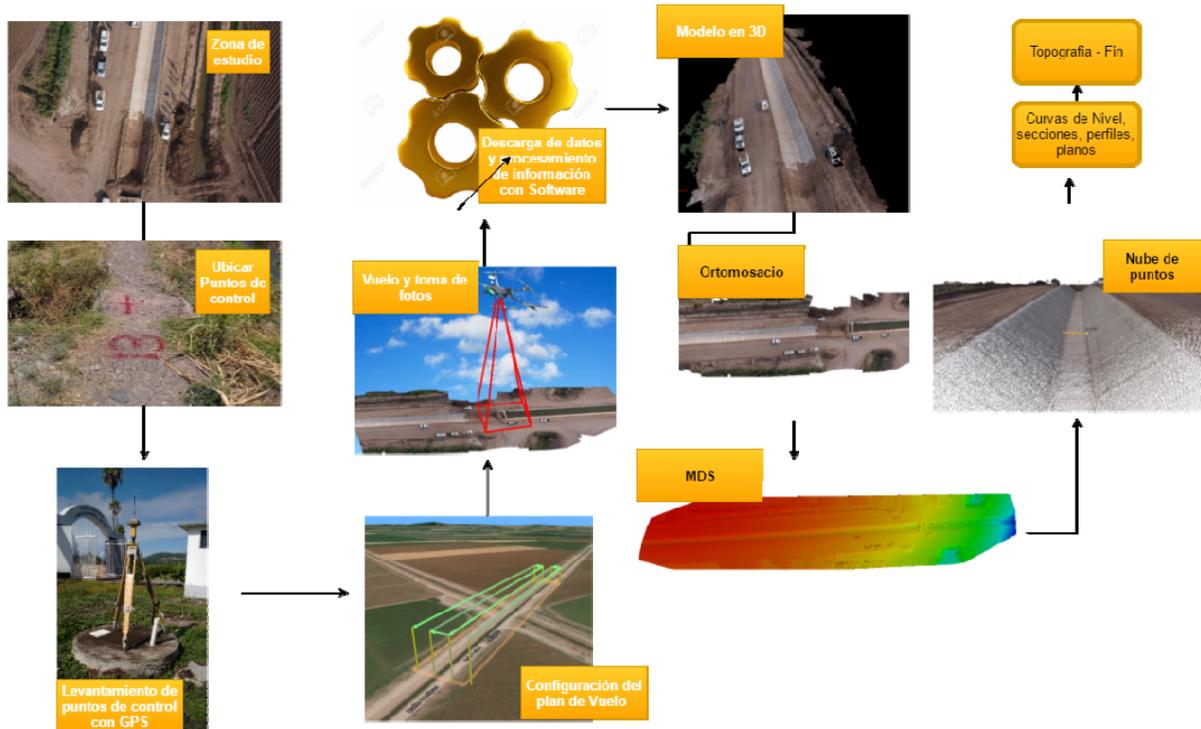
Con la nube de puntos en formato \*.LAS se crearon curvas de nivel, secciones y perfiles en el programa AutoCAD Civil 3D; cabe indicar que es conveniente manejar la nube de puntos en este formato.

Las curvas de nivel se crearon a cada 20 cm, sin embargo, se pueden crear con una resolución más pequeña debido a que los puntos poseen una resolución espacial de 1 cm para el canal oriente y 0.5 cm para Las Estacas II, la resolución de las curvas de nivel depende del tipo de estudio que se requiera. Las secciones se obtuvieron a cada 20 m (Figura 15).



**Figura 15.** Secciones del canal oriente (izquierda), canal Las Estacas II (Derecha) creadas con el programa AutoCAD Civil 3D.

La metodología para generar la topografía de un sitio en específico con el uso de sensores remotos montados en drones se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 16.



**Figura 16.** Metodología general para la topografía mediante el uso de sensores remotos montados en drones.

### Análisis y discusión de resultados

Los puntos de control sirven para transformar el modelo fotogramétrico en modelo del terreno con la correcta georeferenciación. Se recomienda colocar al menos cuatro puntos de control uno por cada esquinas de la zona de estudio.

La nube de puntos del canal Las eEstacas II tiene mayor resolución espacial que la del canal oriente, sin embargo, en la nube de puntos del primero existen zonas sin datos sobre ambas márgenes del canal, notándose más la falta de información sobre la margen izquierda, mientras, que en el canal Oriente la única parte sin información es la zona cubierta de agua.

En lo que respecta a la resolución espacial se debe a la altura de vuelo el cual fue menor para el canal las estacas II; las zonas sin información que se presentan en la nube de puntos de dicho canal se deben al traslape lateral (60 % para el canal Estacas II y 70 para el Oriente) y a la falta de otra línea de vuelo sobre la margen izquierda.

Para poder cumplir con un alto nivel de apareamiento de imágenes, es necesario tener por lo menos un traslape frontal y lateral del 70 %, que permite hacer



coincidir los puntos clave en múltiples imágenes y con ello se aumenta la exactitud y fiabilidad de las mediciones puntuales (Eisenbeiss et al., 2005), de lo contrario, los puntos clave, no serán comunes en varias imágenes, y no se les podrá calcular la altura por colinealidad, y no pasarán a la nube de puntos del modelo.

Las zonas sin información que se presentan en la nube de puntos del canal Oriente, se deben a que no es posible usar la técnica fotogramétrica para obtener información directamente de la cota del agua, el uso de esta técnica queda limitado a aguas no muy profundas (Farjas, 2005) como se muestra en el canal Las Estacas II (profundidad promedio de 18 cm) en el cual al usar esta técnica la cota del agua pasa a formar parte de la nube de puntos.

La topografía obtenida es de alta resolución espacial, además, es posible obtener la geometría de estructuras ubicadas dentro de la zona, el intervalo de las curvas de nivel y las secciones dependerá en gran medida del tipo de estudio; la resolución temporal dependerá del intervalo en que se obtengan las imágenes aéreas de la zona de estudio y la precisión de si tienen o no coordenadas las imágenes procesadas y del número de puntos de control sobre el terreno.

## **Conclusiones**

La fotogrametría es una técnica muy potente debido a que solamente es necesario sobrevolar una extensión determinada para sacar unas fotos y en gabinete se recompone el modelo para obtener la geometría, el Ortomosaico, etc.

Los alcances de los programas fotogramétricos utilizados van más allá de los mostrados en este estudio, es posible crear curvas de nivel, realizar mediciones de volumen, distancias, etc., con precisión de centímetros.

Obtener la topografía de un sitio de interés con el uso de sensores remotos montados en drones es mucho más rápido que los métodos tradicionales, requiere menos personal, es de alta resolución espacial llegando a ser menores de un centímetro y alta resolución temporal debido a la adquisición de imágenes aéreas en “casi” cualquier momento, además, se pueden obtener otros productos como Ortomosaico, MDS y modelos en 3D. Sin embargo, su uso se ve limitado ante superficie cubiertos de agua, vegetación arbórea densa, etc.

Los sensores remotos montados en Drones realizan nuevos aportes al campo de la topografía estos aportes, no implican que los Drones van a reemplazar el uso de los GPS, las Estaciones Totales, los niveles, etc., sino que son un complemento a las tecnologías existentes.

## **Referencias bibliográficas**

Eisenbeiss, H., Lambers, K., Sauerbier, M. & Zhang, L., 2005. Photogrammetric documentation of an archaeological site (Palpa, Peru) using an autonomous model helicopter. CIPA 2005 XX International Symposium. Recuperado de:



[https://www.uni-bamberg.de/fileadmin/ivga/Lambers/eisenbeiss\\_et\\_al\\_2005.pdf](https://www.uni-bamberg.de/fileadmin/ivga/Lambers/eisenbeiss_et_al_2005.pdf). Fecha de consulta: 17 de agosto del 2016.

Farjas M., (2005). Levantamientos Batimétricos. Recuperado de: [http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/topografia-ii/Teoria\\_Batimetria\\_Tema\\_13.pdf](http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/topografia-ii/Teoria_Batimetria_Tema_13.pdf). Fecha consulta 15 de agosto del 2016. 19 p.

Flener, C., Vaaja, M., Jaakkola, A., Krooks, A., Kaartinen, H., Kukko, A., Kasvi E., Hyyppä H., Hyyppä j., 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

Fook Hai, H. (2008). 3D Terrestrial Laser Scanning For Application In Earthwork And Topographical Surveys. Research Project, University of Southern Queensland, Faculty of Engineering and Surveying.

MCCORMAC, J. (2008). Topografía. Limusa Wiley. Mexico. 267 265, 179, 8 p.

Ojeda Bustamante, W., Flores Velázquez, J., & Unland Weiss, H. (2014). Drones y sistemas de información geográfica en la ingeniería hidroagrícola. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Riego y Drenaje. Jiutepec, Morelos: IMTA.

Torres A. & villate E., (2001). Topografía. Cuarta edición. Escuela Colombiana de Ingenieros. Medellín, Colombia. 17 p.

Universal Ground Control Software. (2016, Junio 24). UgCS User Manual, v2.9. La Valeta, Malta.