

Comparación de Estudio Topográfico entre el Método de Agrimensura Convencional y el Uso de Vehículos Aéreos No Tripulados de Uso General

*Luis Sousa Arandes
Maestría en Ciencia y Tecnología Geoespacial
Prof. Víctor Romero
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental y Agrimensura
Universidad Politécnica de Puerto Rico*

Abstracto — *En la actualidad el uso de vehículos aéreos no tripulados es muy accesible al público en general. En la agrimensura, la utilización de esta nueva herramienta se está haciendo muy popular debido a que, en teoría, agiliza el tiempo del trabajo de campo y reduce los costos de operación. Los fines de este proyecto es analizar y comparar los resultados de un estudio topográfico, utilizando el método de medición tradicional en la agrimensura vs. el uso de un vehículo aéreo no tripulado de uso general mediante la aplicación de técnicas de fotogrametría y teledetección. También se analizará el tiempo requerido para realizar el estudio utilizando ambas técnicas.*

Palabras claves — *Agrimensura, Fotogrametría, Teledetección, Topografía.*

PROBLEMA

Los mapas topográficos cumplen con muchas funciones dentro de la ingeniería, arquitectura, y agrimensura, como por ejemplo en trabajos de replanteos, el diseño o modificación de obras civiles, los movimientos de tierra, los cálculos de volumen, uso del suelo, venta de terrenos, hidrología, gestión de cuencas hidrográficas, etc. Actualmente, la modalidad del uso de vehículos aéreos no tripulados, o también conocidos como drones consta de una alta demanda, y estos artefactos están disponible en el mercado general a unos costos muy accesibles para el ciudadano promedio. En la profesión de la agrimensura, el uso de drones se ha vuelto muy popular debido a que, en teoría, su aplicación puede agilizar el trabajo de campo y abaratar costos de operación. También es una apuesta a la tecnología y medio ambiente pues no emite CO₂ a la atmósfera. Existen algunos modelos de drones que han sido diseñados específicamente para el uso de aplicaciones de

agrimensura, fotogrametría y teledetección, pero los costos de estos equipos son muy elevados. En adición las especificaciones físicas de estos artefactos son idénticas a las de los drones de uso general, la única diferencia entre ellos es que el programa que se utiliza para obtener los datos es dedicado exclusivamente para las aplicaciones antes mencionadas, lo que facilita el uso de estos en el campo y en el post procesamiento.

La intención de este proyecto es realizar un estudio topográfico utilizando el método convencional de la agrimensura, y compararlo con el resultado obtenido mediante el uso de drones de uso general. Como parte de la comparación, se evaluarán los siguientes factores: comparativa de resultados de trabajo de campo, tiempo utilizado para la recolección de datos de campo y análisis de resultados, diferencia en valor económico por equipos utilizados en ambas aplicaciones y personal, grado de dificultad del uso de estos equipos en ambas aplicaciones, ventajas y desventajas, entre otros.

Sabemos de antemano que una desventaja del levantamiento de planos o mapas por medios fotogramétricos aéreos es el ocultamiento de elementos por la vegetación. Si el terreno cuenta con demasiada vegetación e impide la visión de elementos que estén por debajo de ella, sería necesario registrar las coordenadas de esos elementos, necesitando la medición en campo de dichos elementos, por topografía convencional.

Puerto Rico necesita incorporar tecnologías eficientes que permitan un aporte al desarrollo local, mejorando la gestión de los recursos naturales y propiciando un desarrollo local sostenible, dejando un buen legado a las futuras generaciones. Además de apostar al uso de tecnologías que sean eco amigables, como los

drones, los cuales no requieren de combustibles fósiles para su funcionamiento, disminuyendo a su vez los riesgos laborales al acceder fácilmente a lugares accidentados y de alto riesgo.

REVISIÓN DE LITERATURA

A fines de ejecutar el proyecto de investigación, e identificado algunas fuentes que serán útiles al momento de realizar el estudio. Villarreal y Zárate [1] afirman que en la actualidad los drones son usados en diversas áreas de la ingeniería debido a su accesibilidad a lugares difíciles o de condiciones extremas que dificultan y en muchos casos imposibilitan el uso de recurso humano o de otro tipo de tecnologías. Además, reducen costos de operación y riesgos de trabajo en la elaboración de grandes proyectos. De acuerdo con su aerodinámica existen dos tipos de drones: “drone” de ala fija y “drone” de ala rotativa, siendo los de ala rotativa los más comunes debido a su fácil despegue y aterrizaje en sitios o superficies reducidas.

Eisenbeisse [2] realizó uno de los primeros trabajos de ingeniería con el uso de drones de bajo costo con sistemas de navegación GPS integrados y reconstrucción fotogramétrica, en donde se generó los primeros modelos digitales de terreno (MDT). De aquí pude obtener información más detallada, sobre la metodología aplicable al momento de coordinar la ruta de vuelo para obtención de datos.

Villarreal y Zárate [1] mencionan que los levantamientos topográficos convencionales demandan mayores costos de recursos y tiempo en comparación con la topografía aérea realizada con DRONE, constituyéndose así en una alternativa considerable al momento de realizar trabajos que cubran grandes extensiones de terreno o de topografía accidentada que dificulte el acceso de personal, con un ahorro significativo de recursos.

Lorente [3] comenta que los drones en la actualidad son dispositivos aeronáuticos que pueden ejecutar sobrevuelos de forma totalmente autónoma, gracias a la función de piloto automático que poseen, el cual se encarga de los diferentes mecanismos que rigen el funcionamiento correcto y

permiten realizar los sobrevuelos de forma autónoma. El plan de vuelo se tiene que realizar con aplicaciones encargadas de la comunicación con el piloto automático, este se compone de una serie de “way points” por los que debe sobrevolar el “drone”, teniendo coordenadas en latitud, longitud y altura, además velocidad.

FAA “Part7 107” [4] es el documento que utilizaré para todo lo relacionado a la practica sobre los vuelos de drones en uso coercial. En dicho documento la Asociación Federal de Aviación, estipulan las reglamentaciones relacionadas a: registración de la nave, horarios de vuelo, zonificaciones donde no esta permitido el uso de estos artefactos, altura máxima de vuelo permitida, entre otros factores que son requisitos a la hora del uso de drones.

METODOLOGÍA

El área de estudio (figura 1) es una propiedad privada que ubica en la carretera 843 del barrio Carraízo en el municipio de Trujillo Alto, Puerto Rico. La propiedad cuenta con una cabida superficial de aproximadamente 4 cuerdas de terreno. La causa principal por la cual fue seleccionada como el lugar idóneo para realizar el estudio, es que su topografía es en pendiente y un aproximado del 90% del terreno no cuenta con vegetación que obstruya la capacidad de obtener datos utilizando el “drone”.



Figura 1
Área de Estudio

El primer paso, será recorrer los linderos de la propiedad, para ubicar físicamente los límites del área de estudio. Entiéndase que en este estudio no estaremos identificando límites de colindancia, si no únicamente realizando un estudio topográfico dentro del terreno de la propiedad. Una vez identificados los límites, procederemos a establecer los puntos de control Horizontales y Verticales, los cuáles serán utilizados tanto en la fase del levantamiento de datos de forma convencional, como utilizando la aplicación con los drones.

Las coordenadas de los puntos de control serán establecidas mediante el método de Georreferenciación utilizando un equipo de GPS marca Trimble de doble frecuencia (figura 2). Una vez georreferenciado los puntos de control procederé a realizar el levantamiento topográfico de forma convencional utilizando un equipo Total Station de alta precisión marca Trimble modelo M3. Se espera que el levantamiento de los datos de campo de forma convencional, y la georreferenciación de los puntos de control en campo tarde un aproximado de 3 días laborables. De ahí procederé a digitalizar los datos obtenidos en campo utilizando como programa principal AutoCAD, y realizar: un modelo topográfico el cual se utilizará para ser comparado con los datos obtenidos en la siguiente fase.



Figura 2
Total Station Trimble M3

Una vez culminadas las etapas de anteriormente mencionadas, se planificará la ruta de vuelo y la cantidad de imágenes digitales necesarias, para realizar el levantamiento de datos por medio del uso de un “drone”. Para esto, utilizaré un modelo

Phantom 4 Advance (figura 3) de la compañía DJI. Este “drone” cuenta con un sistema de GPS integrado, una cámara digital integrada de 20 mega pixeles, con sensor de 1 pulgada y un largo focal de 2.8 milímetros. El tiempo aproximado de duración de vuelo por batería es de 30 minutos, por lo cual utilizaré 2 baterías para agilizar el proceso de obtención de fotos aéreas. Para la planificación de vuelo, primero hay que ubicar el área de estudio en Google Earth Pro, y crear un archivo KML el cual, en forma de polígono, cubra toda el área de estudio. Luego de crear el archivo KML, utilizamos la aplicación Drone Deploy para crear un proyecto dentro de nuestro perfil.



Figura 3
“Drone” Phantom 4 Advance

Una vez creado el proyecto, utilizamos el archivo KML para delimitar el área de vuelo, y configuramos los parámetros de altura de vuelo (100 metros de altura), solapes frontales (75%) y laterales (70%), dirección de vuelo (-175 grados en mi caso) y velocidad de vuelo (15 metros / segundo). Una vez configurados los parámetros de vuelo en Drone Deploy estamos listos para utilizar la aplicación Skyward, esta nos permite hacer una verificación de todo lo necesario para realizar el vuelo sin percances. Dentro de los servicios que nos ofrece, estos son: verificación del equipo, cablearía, cargas de baterías entre otros, personal necesario para realizar la tarea, documentación necesaria (si alguna) para realizar el vuelo, entre otras cosas.

El programa de asistencia móvil que utilizaré para conducir el “drone” es DJI Go 4, que permite predeterminedir la ruta de vuelo, la altura deseada y la cantidad de imágenes requeridas para poder

efectuar el estudio. Todos estos parámetros se definirán con antelación al estudio de campo. El teléfono móvil que se utilizará es el iPhone 7s Plus.

El tiempo estimado para poder realizar el estudio fotogramétrico debe ser menor de un día, si las condiciones atmosféricas lo permiten. Al culminar la etapa de recolección de fotos aéreas, se procederá a procesar los datos obtenidos mediante el uso de aplicaciones y programas para fotogrametría y sistemas de información geográfica (SIG). Los programas que se utilizará para procesar los datos serán ArcGis, que es un programa de licencia pagada para manejar datos de sistemas de información geográfica; y PIX4D, un programa de licencia pagada y es utilizado para crear datos geográficos tridimensionales a raíz de las imágenes obtenidas en el campo, la cual puede ser utilizada en combinación con otras aplicaciones de fotogrametría, teledetección y agrimensura.

Al obtener el resultado de ambas aplicaciones, el paso a seguir es realizar una comparación de resultados, ventajas y desventajas del uso de cada aplicación, tiempo utilizado para realizar ambas labores, y una evaluación económica la cual incurra en gastos de equipo y gastos operacionales para

llevar a cabo cada uno de los dos métodos utilizados en este estudio.

Luego de hacer dicha evaluación, podré determinar si un “drone” de uso general es viable para realizar estudios topográficos, si el grado de precisión de los resultados cumplen con los estándares mínimos requeridos en la profesión de la agrimensura en Puerto Rico, y analizar el grado de dificultad para poder llevar a cabo todo el proceso.

RESULTADOS

El estudio topográfico de forma convencional se dividió en varias etapas: planificación, trabajo de campo, análisis de datos de campo, y digitalización de la topografía (figura 4). El proceso de planificación duró solo una hora, esto incluyó un recorrido por la propiedad para identificar físicamente el área de estudio, y la determinación del establecimiento de los puntos de control, que se usarían para amarrar ambos estudios topográficos. Una vez terminada esa etapa, inicio el estudio topográfico de forma convencional. Para esto, fue necesario un personal de dos trabajadores, el instrumentista y un ayudante.

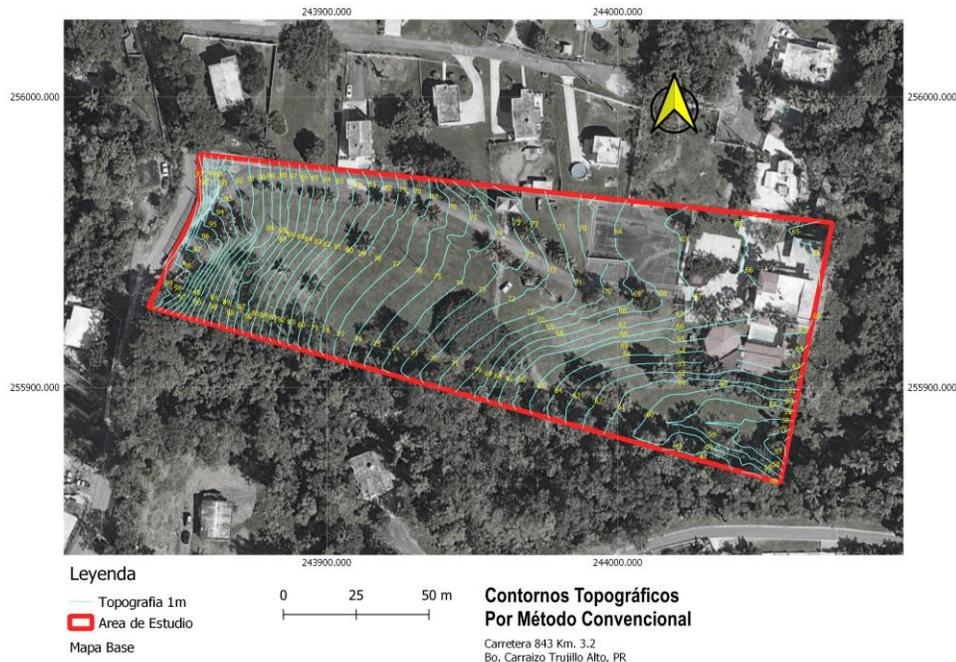


Figura 4
Resultado de la Topografía por Método Convencional

El estudio topográfico en campo tardó un periodo de dos días laborables. El proceso de análisis de datos, y digitalización de topografía tardó dos días laborables. Para esto, utilicé los programas AutoCAD y Mr. CAD, los cuales son programas de licencia pagada. Una vez generados las líneas de cota de elevación mediante el método de estudio terrestre, solo faltaba esperar al estudio topográfico mediante el “drone” para hacer las respectivas comparaciones, y observaciones.

La etapa de planificación de vuelo no tardó más de 30 minutos, siendo esta la primera vez que trabajaba con el programa Drone Deploy versión iOS (figura 5). Luego de haber definido la ruta de vuelo, el programa calculó que la duración del vuelo sería de 3 minutos, y obtendría un total de 20 imágenes de alta resolución. Luego pasamos al área de estudio a ejecutar el vuelo.

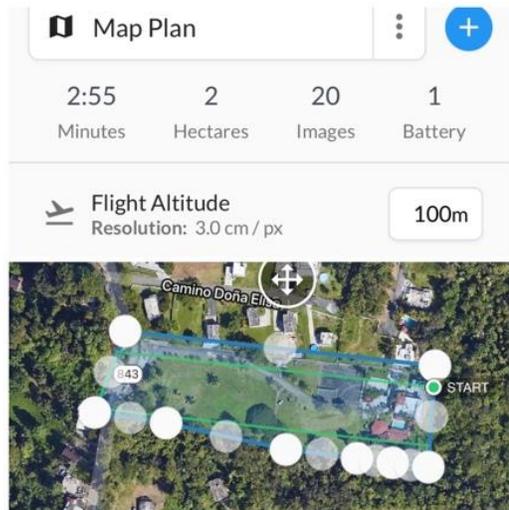


Figura 5
Configuración del Programa Drone Deploy

Luego pasamos físicamente al área de estudio a ejecutar el vuelo. Este proceso tardó aproximadamente 20 minutos, e incluyó: observación visual de la ruta de vuelo para estar alerta de algún obstáculo o peligrosidad, montura del “drone” y accesorios, y la ejecución del vuelo. Se utilizaron filtros polarizadores marca Polar Pro (8ND) para disminuir el brillo y reflexión en las imágenes. Como resultado de esta etapa, obtuve 20 fotos georreferenciadas y de alta resolución que cubrían el área de estudio y un poco mas, y el vuelo

total demoró 3 minutos. Para ejecutar este proceso, solo se utilizó un empleado el cual sirvió como piloto y observador visual.

Para la etapa de post proceso de datos y orto rectificación, utilicé el programa PIX4D. Se procesaron 18 imágenes, las cuales se refirieron al Sistema Plano Estatal NAD 83 PR USVI en metros, y se ataron a 3 puntos de control previamente existentes georreferenciados y referidos al datum MSL (Mean Sea Level) de elevación (figura 6).

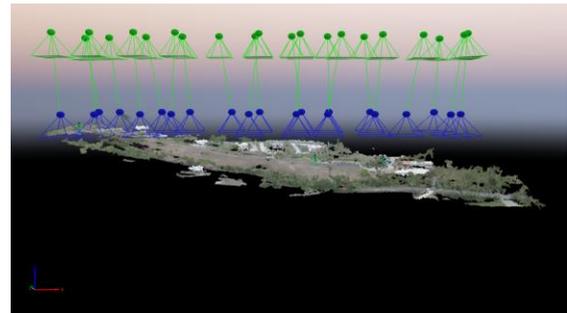


Figura 6
Solape de Imágenes tras Post Proceso

Una vez finalizado el procesamiento de las fotografías en Pix4d, utilice el archivo “raster”. DEM (Digital Elevation Model por sus siglas en inglés) resultado de la orto rectificación para generar los contornos, utilizando la herramienta “contours” en el programa de ArcGis Pro (Versión Demo). Los contornos generados fueron a un intervalo de 1.00 metro. Luego, los contornos fueron exportados al programa AutoCAD, utilizando la herramienta (To Cad) en ArcGis, y de esa forma crear un archivo DWG con el valor de las elevaciones en los contornos. Una vez importados los datos a AutoCAD, el último paso fue arreglar las líneas de contornos estéticamente, y eliminar las cotas de nivel que no eran parte del estudio debido a la interpretación de árboles, palmas, vehículos y estructuras existentes en el área de estudio. Este proceso, demoró un día laborable en realizarse. Como se puede apreciar, en la figura 7 la topografía generada por el modelo de elevación digital del “drone”, no discrimina entre el terreno, toques de estructuras, vegetación, y árboles, por lo tanto; el proceso de digitalización de los contornos es un

poco más trabajoso y necesita más tiempo de análisis.

Una vez terminada la digitalización de ambas topografías, pude hacer las comparaciones y observaciones pertinentes entre ambas. Como resultado final se observó que ambas topografías eran muy similares, encontré una pequeña diferencia en el área sur central del solar, pero es normal debido a que hubo un pequeño movimiento de tierra en ese sector durante el lapso en el que se realizaron ambos estudios. Según el reporte final de la orto rectificación de la nube de puntos, solo

obtuvimos una diferencia de 0.02 m en el eje de X, 0.01 m en el eje de Y, y 0.04 m en el eje vertical. En dicha comparación, puedo afirmar que tanto en los componentes verticales y horizontales, se asemejan en un 90% y cumplen con el grado de precisión necesario para este tipo de tarea, según las condiciones vegetativas del solar. También se debe tener en cuenta, que la topografía generada por el “drone” (figura 8) contaba con más de 500 mil puntos en su totalidad, a diferencia de la topografía convencional la cual solo contaba con 1,300 puntos.

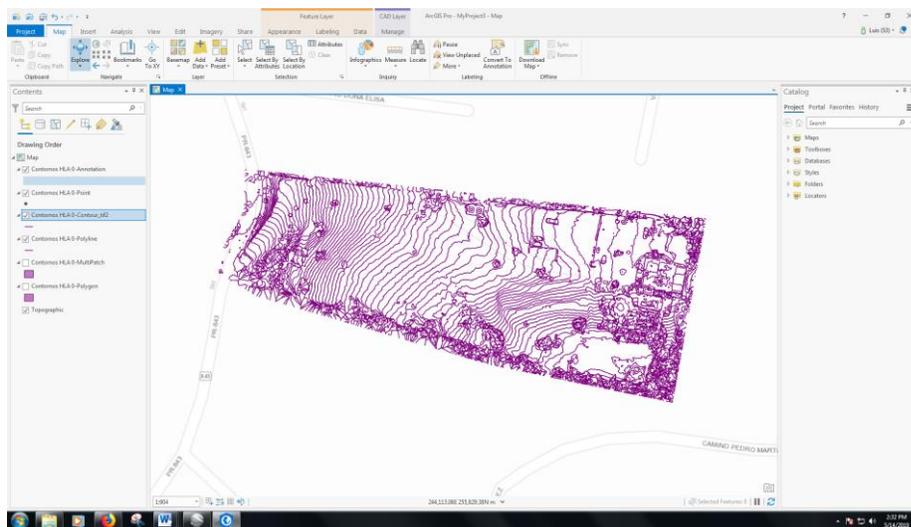


Figura 7
Resultado de los Contornos en el Programa ArcGIS

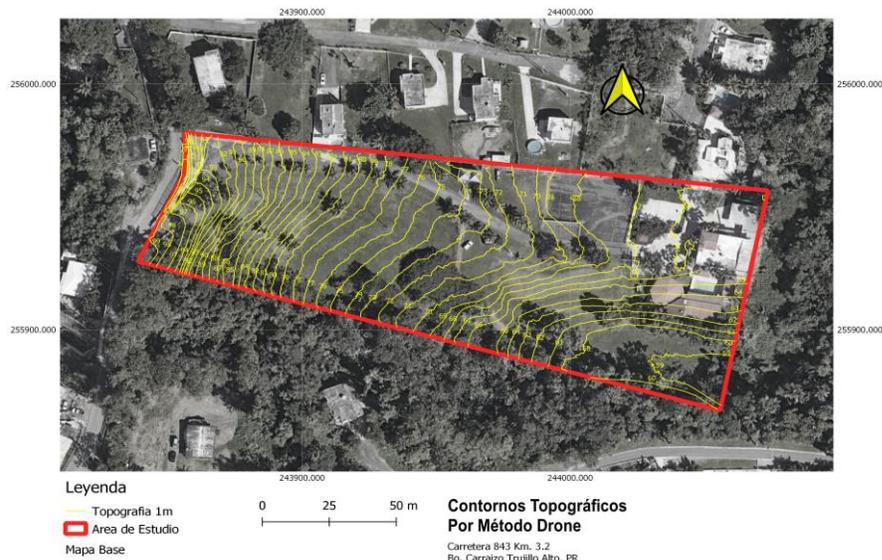


Figura 8
Resultado de la Topografía por Método de “Drone”

Si hacemos una comparación del tiempo que se demoró, el personal que fue necesario, y el costo de equipo para cada una de las dos aplicaciones, este sería desglosado en las tablas 1, 2 y 3.

Tabla 1
Tabla de Comparación de Tiempo

Tabla de comparación de tiempo		
	Modo Convencional	Drone
Dias Campo	2	1
Dias Oficina	2	1
Total	4	2

Tabla 2
Tabla de Comparación de Personal

Tabla de comparación de personal		
	Modo Convencional	Drone
Campo	2	1
Oficina	1	1
Total	3	2

Tabla 3
Tabla de Comparación Costo de Equipos Básicos

Tabla de comparación de costo de equipos basicos		
	Modo Convencional	Drone
Total Station	\$8,000	n/a
GPS	\$10,000	\$10,000
Drone	n/a	\$1,500.00
Accesorios	\$800	\$300
Softwares	\$3,000	\$1,200
Total	\$21,800	\$13,000

Como se puede apreciar en las tablas 1, 2 y 3, existe una gran diferencia a favor del método de “drone” entre todos los factores anteriormente comparados. El resultado desprende que el total de días laborables para el método convencional fue de cuatro, mientras que con el método de “drone” fue solamente la mitad, dos. Respecto al personal para el método convencional fue de 3 personas y para el “drone” fueron 2. Con relación al costo de equipo básico para ejercer las funciones de dichos análisis, el monto total en el método convencional es de \$21,500 dólares, mientras que en el método de “drone” fue solo de \$13,000. Eso si, existen otros factores que están a favor del método convencional, entre estos: el método de “drone” no puede ser utilizado en lugares de vegetación densa, la corrección de los contornos digitales es mayor,

debido a que la nube de puntos no discrimina elementos que no sean parte de la topografía, aun es necesario la utilización de algunos equipos de agrimensura para establecer los puntos de controles y referirlos a un sistema de coordenadas plano estatal, y todavía es una aplicación que no es de mucha confianza para los clientes.

CONCLUSIÓN

La generación de estudios topográficos utilizando la tecnología de “drone” es certera y se puede realizar. La comparación de los resultados entre ambos métodos fue muy similar, no obstante, el factor tiempo es uno que favorece al método de “drone” en su totalidad. Definitivamente esta nueva herramienta es un beneficio para la profesión de la Agrimensura y Ciencia Geoespacial. En lugares idóneos, de poca vegetación, ayuda a agilizar grandemente el levantamiento de topografía, mientras reduce el tiempo y personal necesario para realizar la obra; a la vez es una apuesta a la tecnología y medio ambiente pues no emite CO2 ni contaminan la atmósfera. Espero poder seguir incursionando en esta tecnología a través de mi profesión y poder realizar otras tareas adicionales relacionadas a la práctica profesional.

REFERENCIAS

- [1] J. Villareal. (2015). “Análisis de la precisión de levantamientos topográficos mediante el empleo de vehículos no tripulados (UAV) respecto a la densidad de puntos de control”, *Tesis de Bachillerato, Ingeniería Civil, UTPL, Loja, Ecuador* [En línea]. Disponible: <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/13079>.
- [2] H. Eisenbeiss, “Investigation of UAV Systems and Flight Modes for Photogrammetric Applications”, *Special Issue: ISPRS Commission V Symposium 2010 Close Range Image Measurement Techniques*, vol. 26, issue 136, pp. 400-421, Dic. 2011. [En línea]. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1477-9730.2011.00657.x>.
- [3] D. L. Palacín. (2007). “Representación y edición de un plan de vuelo sobre un modelo digital de elevación en entorno”, *Trabajo Final de Carrera, Ingeniería de Telecomunicación, Universitat Politècnica de Catalunya, España* [En línea]. Disponible: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/4472/lorente.pdf>.

- [4] Federal Aviation Administration. (2016). *Small Unmanned Aircraft Regulations, Part 107* [En línea]. Disponible: <https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=dc908fb739912b0e6dcb7d7d88cfe6a7&mc=true&node=pt14.2.107&rgn=div5>.