

Tecnología e Innovación

Technology and Innovation

Tecnologia e Inovação



ESTUDIO COMPARATIVO DE APLICACIONES MÓVILES (APP), EN EL ERROR DE MEDICIÓN CON AERONAVES PILOTADAS A DISTANCIA (RPA)¹

COMPARATIVE STUDY OF MOBILE APPLICATIONS (APP), IN THE MEASUREMENT ERROR WITH REMOTELY PILOTED AIRCRAFT (RPA)²

ESTUDO COMPARATIVO DE APLICAÇÕES MÓVEIS (APP), NO ERRO DE MEDIÇÃO COM AERONAVE PILOTO REMOTA (RPA)³

Juan Francisco Guzmán Zabala⁴

Jorge Mario Paternina⁵

Julián Andrés Rodríguez Cárdenas⁶,

Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). Bogotá, Colombia.

CIENCIA Y PODER AÉREO

ISSN 1909-7050 / E- ISSN 2389-9468 / Volumen 13 / Número 2 / julio-diciembre de 2018 / Colombia /pp. 78-88

Recibido: 28/01/2018

Aprobado por evaluador: 29/04/2018

Doi: 10.18667/cienciaypoderaereo.603



Para citar este artículo:

Guzmán, J. F., Paternina, J. M., y Rodríguez, J. A. (2018). Estudio comparativo de Aplicaciones Móviles (APP), en el error de medición con Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPA). *Ciencia y Poder Aéreo*, 13(2), 78-88. doi: 10.18667/cienciaypoderaereo.603

¹ Este artículo es producto de una investigación terminada y los resultados fueron tomados de la ejecución del proyecto: "Caracterización e implementación de tecnologías de aeronaves remotamente tripuladas para levantamiento topográfico inspección de redes eléctricas e inspección de fachadas y terrazas". El proyecto se inició el 20 de marzo de 2017 y finalizó el 20 de diciembre de 2017, fue financiado y ejecutado por el SENA.

² This article is the product of a completed research and the results were taken from the execution of the project: "Characterization and implementation of remotely manned aircraft technologies for topographic survey, inspection of electrical networks and inspection of facades and terraces." The project began on March 20, 2017 and ended on December 20, 2017, was financed and executed by SENA.

³ Este artigo é o produto de uma investigação concluída e os resultados foram retirados da execução do projeto: "Caracterização e implementação de tecnologias de aeronaves tripuladas remotamente para levantamento topográfico de redes elétricas e inspeção de fachadas e terrazas". O projeto teve início em 20 de março de 2017 e terminou em 20 de dezembro de 2017, e foi financiado e executado pelo SENA.

⁴ Ingeniero forestal. Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Centro de Tecnologías para la Construcción y la Madera. Grupo de Investigación CTCM SENA Bogotá. Bogotá D. C., Colombia. Correo electrónico: jfguzmanz@sena.edu.co

⁵ Ingeniero civil. Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Centro de Tecnologías para la Construcción y la Madera. Grupo de Investigación CTCM SENA Bogotá. Bogotá D. C., Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2303-9149>. Correo electrónico: jmpaternina@sena.edu.co

⁶ Ingeniero aeronáutico, piloto comercial de avión. Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Centro de Tecnologías para la Construcción y la Madera. Grupo de Investigación CTCM SENA. Bogotá, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5862-9045>. Correo electrónico: julianr5827@hotmail.com

Resumen: En la topografía actual se vienen incorporando las nuevas tecnologías de RPA para la medición de áreas, reduciendo los tiempos de toma de datos e incorporando las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) a través de las APP, facilitando su control y operación, haciendo hoy en día la toma de datos sistemática e intuitiva. En el presente artículo se reportan las 5 principales APP usadas en el mercado de fotogrametría, con el objetivo principal de evaluar el error de medición asociado a cada una de ellas, a través de la construcción de ortomosaicos con la cámara ZENMUSE X3 (FC350) de resolución de 12 Mp del dron DJI Inspire 1, estableciendo puntos de control a través de estaciones topográficas con precisión al milímetro, con la finalidad de hallar el error asociado a cada uno de los ortomosaicos construidos con las diferentes APP. Se encontró que el margen de error promedio para todas las APP es de 1.11 %, de igual manera, se pudo determinar que la altura mínima para marcación de puntos de control con cámara de 12 Mp es de 60 m, la precisión en la medición mejora en 0.35 %, siendo la mejor APP DroneDeploy, con un error promedio de 0.66 %. Ofreciendo una alternativa tecnológica importante para mejorar el desempeño en servicios topográficos.

Palabras clave: Altura de vuelo, APP, error de medición, fotogrametría, RPA.

Abstract: The current topography incorporates the new RPA technologies for measuring areas, reducing data collection times and incorporating Information and Communication Technologies (ICT) through PPPs, facilitating their control and operation, making today systematic and intuitive data collection. This article reports the 5 main APPs used in the photogrammetry market, with the main objective of evaluating the measurement error associated to each one of them, through the construction of ortho-mosaic with the ZENMUSE X3 camera (FC350) of 12 Mp resolution of the drone DJI Inspire 1, establishing control points through topographic stations with millimeter precision, in order to find the error associated to each one of the ortho-mosaic built with the different APPs. It was found that the average margin of error for all APPs is 1.11 %, likewise, it could be determined that the minimum height for marking Control Points with 12 Mp camera is 60 m, the accuracy in the measurement improves by 0.35 %, being the best APP DroneDeploy with an average error of 0.66 %. Offering an important technological alternative to improve performance in topographic services.

Keywords: Flight height, APP, measurement error, photogrammetry, RPA.

Resumo: Na topografia atual eles estão incorporando novas tecnologias RPA para medir áreas, reduzindo a coleta de dados de tempo e incorporando Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) a través da APP, facilitando o controle e operação, fazendo hoje no dia coleta de dados sistemática e intuitiva. Neste artigo relatou a 5 maior APP usado na fotogrametría mercado, com o objetivo principal de avaliar o erro de medição associado a cada, a través da construção de ortomosaicos com X3 cámara ZENMUSE (FC350) de resolução Dron 12 Mp DJI Inspire 1, estabelecendo postos de controle por meio de estações de pesquisa com precisão milimétrica na ordem de encontrar o erro associado a cada ortomosaicos construídos com APP diferente. Verificou-se que a margem de erro médio para todos APP é 1.11 %, da mesma forma, foi determinado que a altura mínima para traçando cámara de control 12 é 60 m Pf, a precisão da medição melhora em 0.35 %, sendo o melhor APP DroneDeploy com um erro médio de 0.66 %. Oferecendo uma importante alternativa tecnológica para melhorar o desempenho em serviços topográficos.

Palavras-chave: Altura do vôo, APP, erro de medição, fotogrametría, RPA.

Introducción

El smartphone (término en inglés), también llamado teléfono inteligente, es un término comercial para denominar a un teléfono móvil que ofrece más funciones que un teléfono móvil común. Soportan al menos un correo electrónico y la función de un organizador de aplicaciones. Los smartphones permiten la instalación de programas o aplicaciones (De Luca, 2017, pp. 1-2).

De acuerdo a De Luca, (2017), el término APP es una abreviatura de la palabra en inglés *application*. Es decir, una APP es un programa, pero con unas características especiales. Características desarrolladas por el fabricante del móvil, por el sistema operativo del móvil o por un tercero.

Siendo el principal objetivo de este estudio evaluar el error de medición asociado a las 5 APP (ver tabla 1) más co-

merciales del mercado, disponibles para smartphone con sistemas operativos Android e IOS.

Teniendo como las principales variables del estudio: Altura de captura de fotografía para la construcción de los ortomosaicos, el error sin puntos de control de tierra o por sus siglas en inglés Ground Control Points (GCP) y el error con GCP. Dichas variables medidas y analizadas en las 5 APP. Variables igualmente usadas por Aira y Ferreira (2015), Perdomo et al. (2016) y Sáez y Beltrán (2015).

Esta evolución tecnológica de acuerdo a INCAE (2017), ha crecido a un ritmo exponencial y no lineal en los últimos 10 años, su avance tan acelerado no da oportunidad a que se incorpore a la formación profesional con la misma velocidad, igualmente la Aeronáutica Civil de Colombia (2015) y Ramírez (2015) manifiestan que la expedición de norma-

Tabla 1. Detalle de prestaciones ofrecidas por las APP

APP	CARACTERÍSTICAS	PRECIO (COP)	SISTEMA OPERATIVO	DRONES COMPATIBLES	LOGO APP	LENGUAJE
DroneDeploy	NDVI + capas de elevación Medida de volumen Mapa + 3D Exportar Shapefile + Contour Export RTK + Coordenadas personalizadas Puntos de control de tierra Modelos digitales del terreno	\$ 8 531 645 / año	Aplicación móvil Android IOS	Mavic Pro - Phantom 4 Pro - Phantom 4 - Phantom 4 Advanced - Phantom 3 Pro - Phantom 3 Advanced - Inspire 1 and Inspire 1 Pro - Inspire 2 (including support for the Zenmuse x5 camera) - Matrice 100 - Matrice 200 - Matrice 600		
Pix4D	Orthomosaics Modelos digitales de elevación (DSM / DTM) Mapas de índice (por ejemplo, NDVI) Medir distancias, superficies y volúmenes No evita obstáculos automáticamente	\$24 750 021/perpetuidad	OS: Windows 7, 8, 10 64 bits, Mac OS (Beta), Linux (Enterprise only)	• DJI - Phantom 4 Pro - Phantom 4 - Mavic Pro - Inspire 2 - Inspire 1 (Pro) - Phantom 3 Professional - Phantom 3 Advanced - Phantom 3 Standard - Matrice 100 - Spark • Parrot - Bebop 2 with Skycontroller 2 - Bluegrass		English, Spanish, Mandarin (zh-CN, zh-TW), Russian, German, French, Japanese, Italian and Korean
PrecisionFlight	CON CONEXIÓN Y SIN CONEXIÓN Ortomosaicos Modelos 3D Herramientas de análisis Mediciones de Volumen nubes de puntos y modelos de superficie digital de datos aéreos MAPAS DE LÍNEAS DE CONTORNO INSPECCIÓN DE FACHADAS	\$ 537 000	Aplicación móvil Android	Phantom 3 Standard Phantom 3 Advanced Phantom 3 Professional Phantom 3 4K Phantom 4 Pro Inspire 1 Inspire 2 Matrice 100 Matrice 600 Pro Mavic Pro		
ALTIZURE	modelos 3D y ortofotos de fotogrametría	free	Aplicación móvil Android IOS	Mavic Pro Inspire 1 (X3 / X5 / X5R) Phantom 4 Series (4 / 4 Pro) Phantom 3 Series (Professional / Advanced / 4K / Standard) M600, M100 A3 / A2 + LB2 (Testing) Inspire 2 (Testing) N3 + LB2		
MAP PILOT	calcular áreas	\$144 000	IOS	Phantom 4 Pro Phantom 4 Mavic Pro Phantom 3 Professional Phantom 3 Advanced Phantom 3 Standard Inspire 1 Inspire 1 Pro Matrice 100 Matrice 600		

Fuente: elaboración propia



tiva sobre el uso de RPA no es acorde con los avances tecnológicos, requiriendo tiempo para la implementación de la norma.

Siendo las primeras tecnologías de punta reportadas tan solo hace 17 años por Cheli (2011) el Sistema de Perfilamiento Terrestre (BLT), que requería igualmente puntos de control terrestre para mejorar su precisión, los BLT median 5000 distancias por segundo contra apenas entre 4 y 5 de las estaciones totales. En poco tiempo se cubre un área con millones de puntos, cuyas coordenadas X Y Z pueden descifrarse y ofrecer una descripción particular de la geometría superficial del elemento.

De 2011 a hoy, Saha et al. (2018) coincide en que los smartphone que incluyen las potentes aplicaciones APP para captura, almacenamiento y procesamiento de datos, en combinación con drones de última generación a bajos costos, ofrecen una alternativa más que considerable para las mediciones y con cada vez menos errores de medida, gracias a que los drones en la actualidad se soportan en el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), así mismo, las tecnologías relacionadas con la configuración de la aeronave constituyen la tendencia con mayor actividad inventiva con 779 invenciones a 2015 (CIGEPI, 2015, p. 32).

Según Putch (2017), los drones se están convirtiendo rápidamente en los medios de referencia para la colección de fotografías aéreas a pedido de sectores productivos, tales como la construcción y la topografía. La capacidad de capturar rápidamente imágenes generadas por drones y el uso de APP de fotogrametría basadas en la nube para procesar mapas ortomosaicos de alta calidad, brinda a los profesionales la capacidad de realizar mediciones lineales punto a punto, sin la necesidad de capturar datos manualmente en áreas peligrosas, incluyendo sitios de trabajo como: vías, minas, terrazas y otras estructuras elevadas, así como de difícil acceso (UPM, 2010, p. 2).

Si bien las técnicas de fotogrametría proporcionan eficiencia y una mayor seguridad, Díaz (2015) opina que se ha cuestionado la precisión de estas medidas planimétricas sin base argumentativa.

Finalmente, cabe destacar que el documento abarca inicialmente en la metodología: el tipo de estudio, los equipos empleados para la captura de datos, las APP empleadas para la captura y procesamiento de datos, las variables a considerar, así como la metodología empleada para establecer los puntos de control. De igual manera los resultados de la investigación, una discusión frente al contexto actual de la tecnología y sus posibles aplicaciones en el ámbito laboral, finalmente las conclusiones obtenidas de

la ejecución del proyecto y referencias bibliográficas respectivas.

Metodología

Tipo de estudio

Estudio de carácter cuantitativo-comparativo, de fuente de datos primaria, transeccional en la recogida de información y cobertura muestral del 100 % para el área total del predio estudiado.

Equipos empleados

En este artículo se empleó la metodología de López (2014) en su tesis de maestría, "Planificación de vuelos fotogramétricos para U.A.V. sobre cliente QGIS". Exploramos la precisión relativa de las mediciones bidimensionales de los modelos generados con imágenes recopiladas del dron DJI Inspire 1 con cámara de 12 Mp ZENMUSE X3 (FC350), que según Winn (2017) la marca DJI y el modelo Inspire, es uno de los modelos de drones más populares en el mercado para mapeo.

Especificaciones técnicas de la cámara

De acuerdo con DJI (2016) la cámara ZENMUSE X3 (FC350), posee un sensor con tamaño de 6.17 x 4.55 mm, Tipo CMOS, Pixeles efectivos 12.4 M, rango de ISO entre 100 a 3200 y un lente con óptica de 20 mm (35 mm formato equivalente) f/2.8 aumentos at ∞ , iris F/2.8, diagonal FOV 94, rango equivalente a 20 mm, distorsión del 0.90 %, rango de enfoque infinito (DJI, 2016).

La tecnología más puntera de DJI ha sido implementada en la rótula de estabilización de la cámara Zenmuse X3, para mantener la cámara bien estabilizada en el cielo, asegurando conseguir una fotografía estable y profesional todas las veces (DJI, 2016).

La rótula de estabilización en 3 ejes recibe un flujo continuo de datos del mando de control inteligente, así sabe en todo momento los parámetros de vuelo de la aeronave y calcula la corrección de movimiento necesaria al milisegundo. La velocidad angular, el momento, la fuerza inercial, e incluso los datos de GPS permiten al estabilizador aplicar la potencia y fuerza correctas en cada situación para mantener la cámara perfectamente nivelada sin importar cómo vuele (DJI, 2016).

Captura de la información

La información se capturó utilizando las 5 APP más reconocidas en el mercado: DroneDeploy, Pix4D, PrecisionFlight, Altizure y Map Pilot. Los datos resultantes fueron procesados en la versión desktop de cada APP correspondientemente, versiones de prueba gratuita por periodo de 30 días, con apoyo de equipos topográficos para los GCP, em-

pleados en las instalaciones del SENA, Centro de Diseño y Metrología, ubicado en el municipio de Bogotá D. C.

De igual manera, la información resultante se validó con los informes técnicos correspondientes de Putch (2017), Küng et al. (2011), Bernard (2017) y Madawalagama (2016).

Variables a considerar

Las principales variables a considerar en el estudio comparativo fueron: Altura de captura de fotografía para la construcción de los ortomosaicos, el error sin GCP y el error con GCP.

No se contemplaron otras variables como velocidad del viento, ya que la cámara posee estabilizador de alta precisión, tampoco temperatura, ni humedad, en vista de que no se reportan estudios que demuestren que la variación en la temperatura o humedad afectan las variables que generan el error de muestreo.

Tamaño de la muestra

Se consideró el 100 % del área del predio como tamaño de la muestra equivalente a 20 282.96 m² al poseer como línea base los planos originales de las instalaciones del SENA, Centro de Diseño y Metrología, ubicado en el municipio de Bogotá D. C.

Numero de muestras

El número de muestras se determinó con base a la metodología empleada por López (2014) en su tesis de maestría "Planificación de vuelos fotogramétricos para U.A.V. sobre cliente QGIS", haciendo una correlación respecto al área empleada por López (2014) y el tamaño del área de 20 282.96 m² reportada por los planos de línea base.

Puntos de control

Para probar la precisión de dos mediciones dimensionales, se estableció un GCP en el techo de las oficinas del SENA, Centro de Diseño y Metrología. Esto se muestra en la figura 1. Además de los GCP, este sistema de control definió las distancias de control con longitudes conocidas, proporcionadas por los planos originales de la sede. Estas distancias de control se compararon con mediciones realizadas con las APP de fotogrametría a través de fotografías capturadas con el dron.

Para los GCP se usaron 110 marcadores que se colocaron en los vértices de las edificaciones. Las distancias de control entre cada marcador se midieron manualmente usando una cinta métrica de metal, y se verificaron con el equipo Leica Laser Distance Meter.

Recolección de datos aéreos

Posteriormente, se recopilaron datos aéreos en más de 80 vuelos individuales utilizando el dron DJI inspire 1 con cámara de 12 Mp ZENMUSE X3 (FC350) y las APP: DroneDeploy, Pix4D, PrecisionFlight, Altizure y Map Pilot. Se llevaron a cabo 4 vuelos para cada una de las siguientes alturas: 20 metros, 30 metros, 60 metros y 120 metros sobre la superficie del predio y para cada una de las aplicaciones, con un total de 16 vuelos por APP, 80 vuelos en total para las 5 APP, sin sobrepasar los 152 metros de altura como lo estipula el numeral 7.3, inciso (f) de la Circular Reglamentaria expedida por la Aeronáutica Civil de Colombia n.º 002 de 2015: "requisitos generales de aeronavegabilidad y operaciones para RPAS (numeral 4.25.8.2)".

Captura de datos del punto de control terrestre

Para recolectar los datos del punto de control de tierra, se colocaron 4 objetivos adicionales en los vértices de la terra-

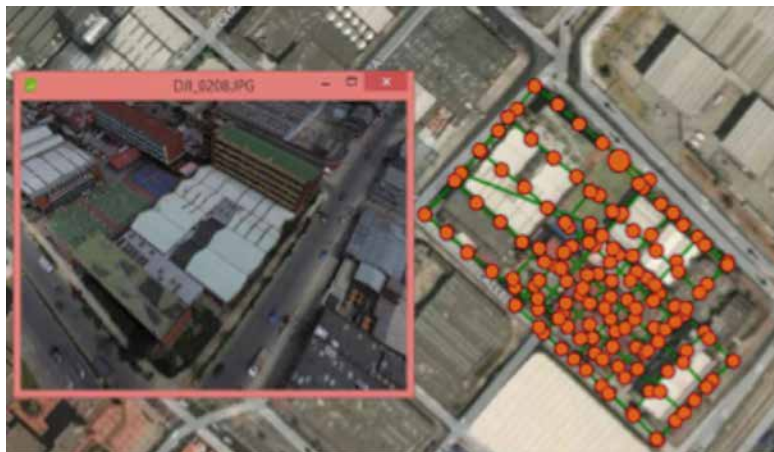


Figura 1. Puntos establecidos para el GCP
Fuente: elaboración propia



za del edificio principal del Centro de Diseño y Metrología. Las ubicaciones geográficas del centro de estos objetivos más grandes se registraron con los equipos: Emlid Reach RS y Trimble Catalyst.

En la figura 2 se puede ver un mapa aéreo procesado de la configuración del GCP. Una vez que se configuró la estación de tierra, se usó un DJI Inspire 1 para mapear el techo una vez más a elevaciones de 20 metros, 30 metros, 60 metros y 120 metros.

Para comprender mejor la desviación estándar y el margen de error promedio, se tomó una muestra estadística utilizando el Dji Inspire 1, volando planes de misión idénticos con captura de GCP a una altura de 20 metros, se completaron un total de 6 vuelos adicionales. De manera similar, se creó un conjunto de datos final sin GCP al volar el Dji Inspire 1 a 20 metros, 10 veces más. Este método se adoptó para aproximar la variación presente en la precisión de medición lineal al mapear una ubicación en las mismas condiciones.

Análisis estadísticos de los errores en las mediciones

Para el estudio se calculó la media aritmética (fórmula 1), desviación de la media (fórmula 2), desviación promedio (fórmula 3), desviación estándar (fórmula 4) y error probable (fórmula 5).

Fórmula 1

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_N}{n} = \frac{\sum X}{n}$$

\bar{X} : Media aritmética

X_1, X_2, X_N : Lecturas tomadas

n : Número de lecturas tomadas

Fórmula 2

$$d_i = X_i - \bar{X}$$

d_i : Desviación de la media

X_i : Lecturas tomadas

Fórmula 3

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n |d_i|}{n}$$

D: desviación promedio

n : Numero de lecturas tomadas

Fórmula 4

$$\sigma = \sqrt{\frac{d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + \dots + d_n^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{\sum d_n^2}{n - 1}}$$

σ : Desviación estándar

n : Numero de lecturas tomadas

Fórmula 5

$$r = \pm 0.6745 \times \sigma$$

r : Error probable

σ : Desviación estándar

Resultados

En promedio, las medidas lineales son precisas dentro del 1.11 %

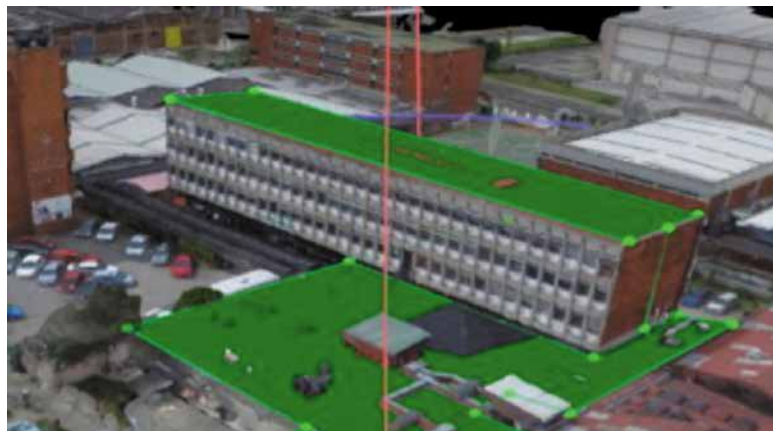


Figura 2. Vista aérea del GCP

Fuente: elaboración propia

Al comparar los datos recopilados en todas las aplicaciones móviles incluidas en el estudio, se encontró que el margen de error promedio para todas las APP es de 1.11 %. Resultado que infiere que el valor del error de medición promedio fue 1.11 % del valor de la longitud de control. Por lo tanto, cuando se mide una longitud de 100 metros, el error promedio será de 1.11 metros. Estos resultados se pueden encontrar en la tabla 2.

Tabla 2. Margen de error sin GCP para las APP

Factor de correlación de altura/ APP	medición 1 (12 m) Error (m)	medición 2 (15m) Error (m)	medición 3 (30 m) Error (m)	Promedio (m)
ALTIZURE	0,142	0,128	0,138	0,14
Pix4D	0,108	0,172	0,102	0,13
PrecisionFlight	0,167	0,246	0,156	0,19
DroneDeploy	0,108	0,115	0,090	0,10
MAP PILOT	0,117	0,121	0,092	0,11
TOTAL				0,13
Error promedio medición (m)	0,129	0,156	0,116	0,13
Error promedio medición (%)	1,1	1,3	1,0	1,11

Fuente: elaboración propia.

De igual manera, se encontró que las APP con el menor % de error son: DroneDeploy con un 0.66 %, seguido de Map Pilot con 0.7 %. Por el contrario, las APP Precision-Flight y Altizure obtuvieron los mayores % de error con 1.18 % y 0.83 % respectivamente.

Volando bajo la precisión de medición se mejora en 0.35 %

Los datos sugieren que los planes de vuelo realizados con altitudes más bajas producirán mapas con mayor precisión que los que vuelan a elevaciones más altas. Los errores de medición promedio mostraron que el error aumentaría proporcionalmente a la altitud de vuelo con un coeficiente de correlación promedio de 0.99. Esta correlación se visualiza en la tabla 2.

Se encontró una mejora del 0.35 % en la precisión de la medición para los mapas con vuelos a alturas de 20 metros de elevación, en comparación con los vuelos a alturas de: 30 m, 60 m o 120 m (ver tabla 3).

Tabla 3. Coeficiente de correlación de errores de medición asociados a la altitud de vuelo

Altura de vuelo (m)	Medición 1 (12 m) Error (m)	Medición 2 (15m) Error (m)	Medición 3 (30 m) Error (m)
20	0,08	0,08	0,16
30	0,11	0,12	0,26
60	0,17	0,24	0,41
120	0,20	0,27	0,44
Error promedio medición (m)	0,14	0,18	0,32
Error promedio medición (%)	1,16	1,18	1,06

Fuente: elaboración propia.

La altitud de vuelo es el factor clave para la resolución de las fotos

Se encontró que la altura mínima para la marcación del centro de cada GCP de dimensiones 1 m x 1 m durante el procesamiento de datos del mapa es 60 m con cámara de 12 Mp (figura 3).

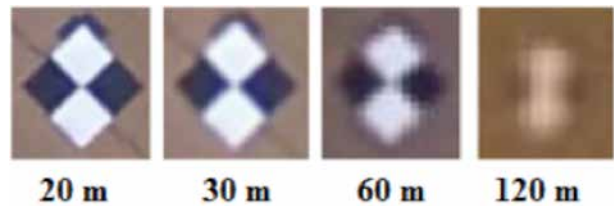


Figura 3. Resolución del mapa visualizada por altitud

Fuente: elaboración propia.

Los GCP mejoran la precisión de trazado 10 veces

En los 10 mapas procesados con GCP, el error promedio de medición se redujo a 0.012 metros (1.21 centímetros). A diferencia de los mapas que fueron procesados sin GCP, el error promedio no depende de la magnitud de la longitud de control. La longitud de control de 30 metros, que siempre produjo el mayor margen de error cuando se midió en los mapas sin GCP (ver tabla 2), fue la más precisa con un error promedio de 0.32 metros (32 centímetros). Estos pequeños errores también son consistentes y tienen muy poca varianza.

La desviación estándar promedio (σ_x) de los errores de medición en los mapas con GCP fue $\sigma_x = 0.02$, que fue 10 veces menor que los mapas sin GCP, como se muestra en la figura 4.

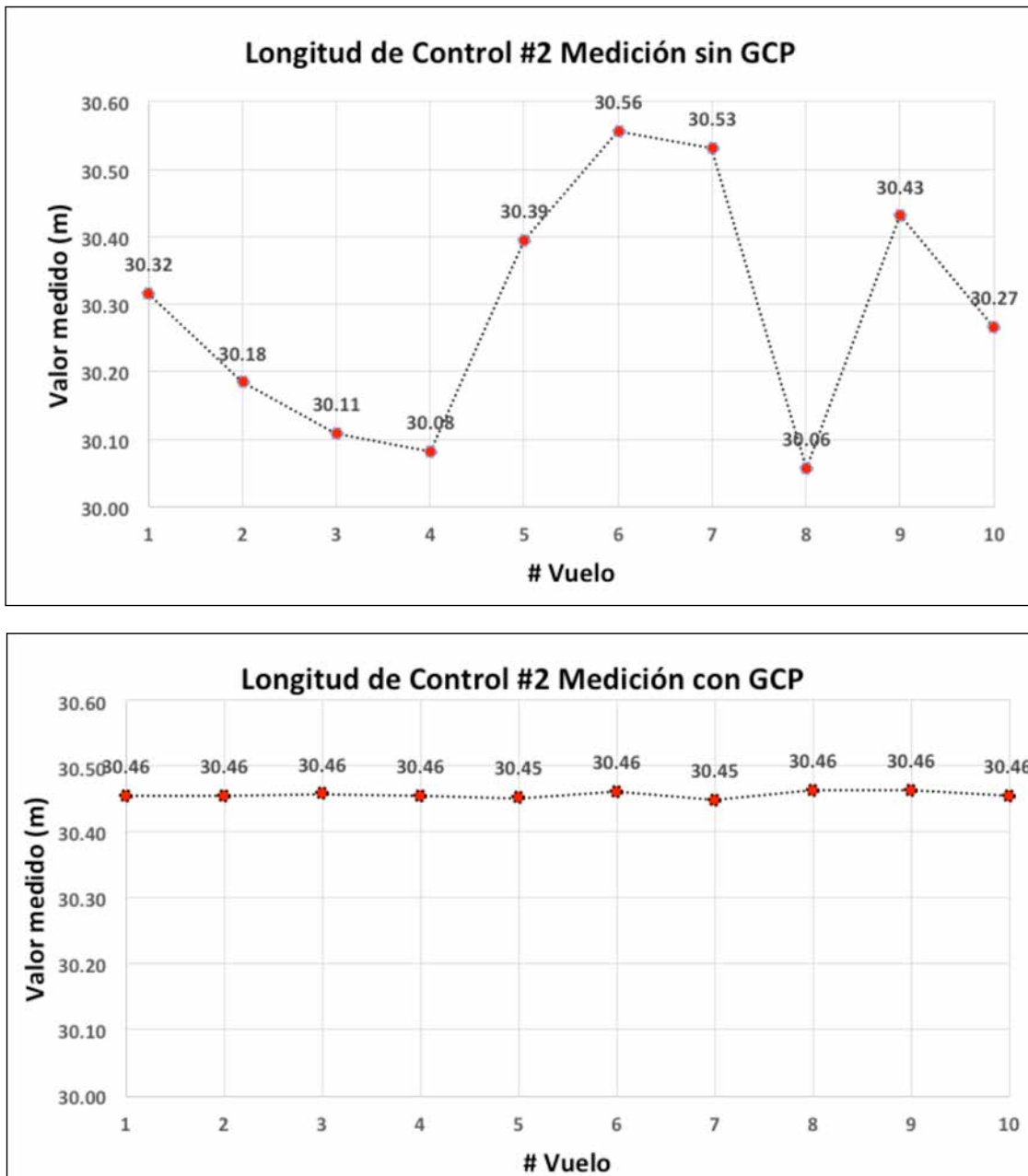


Figura 4. Dji Inspire 1, varianza de medición
Fuente: elaboración propia.

Discusión y análisis

De acuerdo con Rojas (2017), en el mundo aproximadamente 260 000 nuevas versiones de APP o nuevas APP se crean en un mes para sistemas Android, siendo las herramientas que hoy en día facilitan las labores cotidianas de trabajo. Esta competencia de mercado es la que genera mejores desarrollos con mejores precisiones cada día.

Se concluye que la APP con el menor margen de error para el cálculo de áreas superficiales a través de fotogrametría con dron es DroneDeploy, APP que tiene un costo

promedio anual de \$8 531 645 COP/ año, descargable para sistemas operativos Android e iOS.

Drone Deploy es adecuada si no se está planeando usar GCP y no requiere un aprendizaje avanzado del software. Básicamente, hace todo el procesamiento por sí solo y un poco de limpieza del aspecto 3D.

Se tiene mucho más control sobre los proyectos con Pix4D desde el inicio en el establecimiento de GCP, incluyendo una gran cantidad de productos adicionales como

curvas de nivel, Digital Surface Model (DSM), Digital Terrain Model (DTM), nubes de puntos, entre otras cualidades.

Sin embargo, Pix4D (versión de escritorio) es más sofisticada y requiere de mayor aprendizaje en el uso del software, pero las exportaciones para incorporar a otro software como Revit o CAD son bastante similares, aunque la versión de la nube de Pix4D cargada desde la versión de escritorio carece de algunas herramientas que posee DroneDeploy como el volumen, por ejemplo, no está disponible en la versión de la nube Pix4D, pero está en la implementación de Drone, solo en la vista 2D, lo que dificulta saber si el usuario está haciendo clic en los puntos correctos para obtener el volumen correcto. En el escritorio de Pix4D, los volúmenes se pueden hacer en 3D para que pueda ver lo que realmente está obteniendo.

Con la realización de los productos cartográficos, se puede observar una opción real del uso de drones en la elaboración de cartografía, no exenta de limitaciones de altura y calidad de las imágenes en lo cual coincide Santos (2014).

Es útil para extensiones de terreno pequeñas y es una opción a tener en cuenta a la hora de realizar levantamientos fotogramétricos rápidos y fiables, sin embargo, Quintero (2012) ha demostrado la factibilidad de llevar a cabo levantamientos aéreos en amplias zonas pequeñas (e.g. 3600 km²) utilizando cámaras de formato pequeño, con un tamaño de píxel en el terreno de 0.5 m, un error cuadrático medio (RMS) de posicionamiento en horizontal de 5 a 6 m, incrementándose de manera sensible en zonas montañosas, que permite mejorar la precisión en comparación con las fotografías satelitales y reduce significativamente el coste de la operación (Mitsikostas, 2017).

Al analizar los resultados y según la opinión de Villareal (2015), la densidad adecuada de puntos es de 4 GCP por hectárea de terreno y el mínimo de puntos de control para realizar un levantamiento topográfico de precisión con drones es de 3 GCP, siendo la morfología tipo cruz con punto céntrico la más adecuada para los GCP.

Se evidencia que para el flujo de trabajo fotogramétrico se requiere del apoyo de equipos terrestres para mejorar los resultados (Coello y Ballesteros, 2015, p. 110), equipos como: GPS, estación total, teodolitos u otros utilizados tradicionalmente en el país, se convierten en un complemento de la técnica. Por lo que la metodología estudiada no constituye una solución definitiva a la necesidad de información topográfica, ni excluye el uso de las técnicas topográficas tradicionales, sino que se apoya en ellas para compensar sus propias deficiencias (Claros et al., 2016, p. 214).

Sin dejar de lado el software de procesamiento de datos - SIG, que ofrecen servicios similares a las APP, software

como ArcGIS (Vázquez y Backhoff, 2017) o QGIS (López, 2014), con los cuales también se pueden procesar los datos obtenidos de drones en campo.

Finalmente, no hay que olvidar que el uso de drones está regulado por la Aeronáutica Civil, y para realzar los vuelos se requiere del cumplimiento de la Circular Reglamentaria expedida por la Aeronáutica Civil de Colombia n.º 002 de 2015, antes mencionada.

Conclusiones

Vuelos a baja altitud para una mayor precisión de medición

Los datos colectados sugieren que la creación de planes de vuelo a 60 metros facilita la identificación de los puntos de control en tierra con cámaras de mínimo 12 Mp.

Las reducciones exactas del error dependen de la cámara utilizada, para lo cual se recomienda que los pilotos creen planes de vuelo que equilibren las necesidades de la misión con la configuración de vuelo.

Volar más bajo, con una mayor superposición y una superposición lateral, si se pretenden realizar mediciones lineales precisas utilizando el mapa ortomosaico generado por el dron. Esto, por supuesto, dará lugar a una carga útil de imagen más grande para ser procesada dentro del motor de mapa de la APP. Este aumento en las imágenes también tendrá un aumento en el tiempo de carga y procesamiento, para lo cual se recomienda el uso de micro SD mínimo clase 10 para su escritura y almacenamiento.

Los GCP producen los resultados más consistentes y exactos

La investigación demuestra que puede haber una amplia gama de errores presentes en los conjuntos de datos recopilados utilizando el modelo DJI Inspire 1 y su cámara asociada. El margen de error de medición lineal promedio sin el uso de puntos de control de tierra fue 1.11 % de la longitud de control, sin embargo, los valores de error individuales cayeron en cualquier rango de 0.003048 metros a 2.13 metros.

Si un proyecto requiere tasas de precisión altamente consistentes, o si es necesario realizar determinaciones de misión crítica a partir del conjunto de datos, entonces se deben usar GCP.

Este estudio encontró que el procesamiento con puntos de control de tierra redujo el error promedio de medición a 1.27 centímetros, una mejora de casi 10 veces, para todas las longitudes de control.

Los errores de medición para los mapas GCP también mostraron una reducción similar de 10 veces en la des-



viación estándar del error, lo que significa que los datos GCP no solo son más precisos, sino que también son más consistentes y confiables para las aplicaciones que requieren una mayor precisión.

La altitud importa al mapear con GCP

Como se mencionó anteriormente, la resolución de la imagen se verá afectada por la altitud. Esto dificultará marcar el centro del GCP cuando se procese el mapa. La precisión no importará si no se puede identificar con precisión el centro del GCP. Los pilotos deben asegurarse de tener esto en cuenta y ajustar la altitud del vuelo para lograr una resolución deseada, que les permita identificar de manera adecuada y confiable el objetivo de GCP dentro de su mapa de drones procesados.

La fotogrametría en el mundo laboral

La evolución continúa en la medida en que el hombre realiza progresos en su cultura. Estos aportes a la topografía no implican ni mucho menos la preocupación de algunos profesionales, de que los drones van a reemplazar su trabajo de campo. Contrariamente, los drones realizarán nuevos aportes laborales, que al igual que el GPS, las estaciones totales y los escáneres enriquecerán su patrimonio profesional y aumentarán sus niveles de conocimiento.

Referencias

- Aeronáutica Civil de Colombia. (2015). *Circular reglamentaria n.º 002: Requisitos generales de aeronavegabilidad y operaciones para RPAS (numeral 4.25.8.2)*. Recuperado de <http://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacion-civil/certificacion-y-licenciamiento/Documents/PROYECTO%20BORRADOR%20CIRCULAR%20RPAS.pdf>
- Aira, V. G., y Ferreira, M. R. (2015). *Aplicaciones topográficas de los drones*. Recuperado de <http://www.bibliotecacpa.org.ar/greenstone/collect/otragr/index/assoc/HASH0159/314a3cb8.dir/doc.pdf>
- Bernard, E., Friedt, C., Marlin, F., Tolle, M., Griselin, A. y Prokop, A. (2017). Investigating snowpack volumes and icing dynamics in the moraine of an Arctic catchment using UAV photogrammetry/photogrammetry and LiDAR. *University of Franche Comté*. 1–11. Recuperado de http://jmfriedt.free.fr/vgc_wiley_small.pdf
- Centro de Información Tecnológica y Apoyo a la Gestión de la Propiedad Industrial - CIGEPI. (2015). *Vehículos aéreos no tripulados, drones y sus sistemas de comunicación*. Superintendencia de Industria y Comercio. Recuperado de http://www.sic.gov.co/recursos_user/documentos/publicaciones/Boletines/Drones.pdf
- Claros, R. A., Guevara, A. E., y Pacas, N. R. (2016). *Aplicación de fotogrametría aérea en levantamientos topográficos mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados*. (Tesis de pregrado). Universidad de El Salvador. Recuperado de <http://ri.ues.edu.sv/14218/1/50108282.pdf>
- Cheli, A. E. (2011). *Introducción a la fotogrametría y su evolución*. La Plata, Argentina: Hespérides.
- Coello, A., y Ballesteros, G. (2015). *Fotogrametría de UAV de ala fija y comparación con topografía clásica*. (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de http://oa.upm.es/34699/1/PFC_ALBA_COELLO_ROMERO.pdf
- De Luca, G. (2017). *Evolución de las aplicaciones para móviles*. Recuperado de <http://empresarias.camara.es/estaticos/upload/0/007/7438.pdf>
- Díaz, C. J. (2015). *Estudio de índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión*. (Tesis de maestría). Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de http://eprints.ucm.es/31423/1/TFM_Juan_Diaz_Cervignon.pdf
- DJI. (2016). ZENMUSE X3 especificaciones. Recuperado de <https://www.dji.com/es/zenmuse-x3/info#faq>.
- INCAE. (2017). *Tecnología Exponencial y la Sociedad 2.0*. Recuperado de http://comunidadilgo.org/back/_lib/file/doc/Tecnologias_Exponenciales_ILGO.pdf
- Küng, O. et al. (2011). *The Accuracy of Automatic Photogrammetric Techniques on Ultra-light UAV Imagery*. Recuperado de <https://infoscience.epfl.ch/record/168806>
- López, A. (2014). *Planificación de vuelos fotogramétricos para U.A.V. sobre cliente QGIS*. (Tesis de maestría). Universidad de Oviedo. Recuperado de digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/28481/3/TFM_LopezDelaSierra.pdf
- Madawalagama, S. L., Munasinghe, N., Dampagama, S., y Samarakoon, L. (2016). *Low cost aerial mapping with consumer-grade drones*. Recuperado de <http://www.geoinfo.ait.asia/downloads/publications/2016-sasanka.pdf>
- Mitsikostas, E. (2017). *Monitorización y optimización de tierras con drones y fotogrametría aérea para aplicaciones de precisión en agricultura*. (Tesis de pregrado). Universitat Politècnica de València. Recuperado de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/86353/MITSIKOSTAS%20-%20Monitorizaci%F3n%20y%20optimizaci%F3n%20de%20tierras%20con%20drones%20y%20fotogrametr%EDa%20a%E9rea%20para%20apli...pdf?sequence=4>
- Perdomo, C., Caicedo, J., Núñez, N., Machado, D., García, J., y Pineda, M. C. (2016). *Establecimiento de puntos de control terrestre para la corrección planialtimétrica de imágenes tomadas por drones*. 1.er Congreso de Geomática. doi: 10.13140/RG.2.1.3415.4640
- Putch, A. (2017). *Linear Measurement Accuracy of DJI Drone Platforms and Photogrammetry*. Informe técnico de DroneDeploy. Recuperado de https://prismic-io.s3.amazonaws.com/drone-deploy-www%2F46e720cd-fb03-41ec-a6a3-09b424d674b8_linear+measurement+accuracy+of+dji+drone+platforms+and+cloud-based+photogrammetry-v11.pdf

- Quintero, J. (2012). *Temas selectos de Geomática: métodos y aplicaciones*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/book/38>
- Ramírez, J. M. (2015). Aspectos reglamentarios. En Consejería de Economía y Hacienda (Eds.). *Los drones y su aplicación en la ingeniería civil*, 33-48. Madrid, España: Arias Montano S. A.
- Rojas, V. N. (2017). Crecimiento de la APP Colombiana en el mercado nacional e internacional. *Uniempresarial*, 1-12. Recuperado de <https://bibliotecadigital.ccb.org.co/bitstream/handle/11520/20220/TMKT%20R741c.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sáez, D., y Beltrán, A. M. (2015). Aplicaciones cartográficas. En Consejería de Economía y Hacienda (Eds.). *Los drones y su aplicación en la ingeniería civil*, 67-76. Madrid, España: Arias Montano S. A.
- Saha, H., et al. (2018). A low cost fully autonomous GPS (Global Positioning System) based quad copter for disaster management: 2018 IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC). Las Vegas, NV, pp. 654-660. DOI: 10.1109/CCWC.2018.8301782
- Santos, D. (2014). *Fotogrametría usando plataforma aérea UAV*. (Tesis de pregrado). Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/41806759.pdf>
- UPM, O. (2010). *Ingeniería cartográfica, geodésica y fotogrametría*. OCW UPM - Open Course Ware de la Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de <http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria>
- Vázquez, J., y Backhoff, M. (2017). *Procesamiento geoinformático de datos generados mediante drones para la gestión de infraestructura del transporte*. Sanfandila, Querétaro, México: Instituto Mexicano del Transporte. Recuperado de <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt490.pdf>
- Villareal, J. (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 pregrado). Universidad Técnica Particular de Loja. Recuperado de <http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/13079/1/Villareal%20Moncayo%20Joffre%20Vicente.pdf>
- Winn, M., Forster, M., Bartlett, C., Cole, H., Engel, S., & Gorrie, J. (2017). *Commercial Drone Industry Trends*. Informe técnico de DroneDeploy. Recuperado de https://prismic-io.s3.amazonaws.com/dronedeploy-www%2F7cfc75ba-3916-405b-b604-af2f538ad0bd_10m_acre_report_2017_.pdf

