

Capítulo 8.

Comparación de levantamientos topográficos georreferenciados y sin georreferenciar realizados con drones

Esp. Carlos Mauricio Mosquera Pérez
Universidad del Valle
carlos.mosquera@correounivalle.edu.co

M.Sc. Diego Fernando Cabezas Alzate
Universidad Santiago de Cali
<https://orcid.org/0000-0003-0250-6980>
esp.aplitecnodrones@usc.edu.co

Cita este capítulo:

Mosquera Pérez, C. M. y Cabezas Alzate, D. F. (2022). Comparación de levantamientos topográficos georreferenciados y sin georreferenciar realizados con drones. En: Ortiz Ayala, R.; Valencia Pérez, L. R.; Valencia Pérez, H. F.; Escobar Soto, J. F.; Flórez Zuluaga, J. A.; Quintero Quiceño, S.; Riaño Cubillos, J. S.; Falla Rubiano, A.; Barros Ochoa, A. I.; Salazar Ospina, F. A.; Morante, D.; Cárdenas, P. A.; Cajiao Pardo, L. M.; Giraldo Martínez, G. A.; Ortega Madroñero, M. S.; La Rivera Muñoz, F.; Castillo García, J. F.; Mosquera Pérez, C. M.; Cabezas Alzate, D. F.; (...) y Ordóñez-Castaño, I. A. *Gestión, tecnología y logística empresarial aplicado al sector aeroespacial y otros estudios prospectivos en tendencia* (pp. 213-241). EMAVI Sello Editorial y Editorial Universidad Santiago de Cali.

Resumen

Los vehículos aéreos no tripulados (UAV), comúnmente conocidos como drones, se han convertido en una enorme ayuda para los profesionales en el campo de la topografía y la ingeniería, puesto que es posible llevar a cabo levantamientos topográficos de la misma calidad que aquellos realizados de manera tradicional recopilando medidas de alta precisión siempre y cuando se utilicen junto a tecnologías GNSS, aunque en una fracción de tiempo mucho menor; esto reduce considerablemente el costo de la topografía y del volumen de trabajo sobre el terreno. A esta metodología, la cual permite la realización de topografía con UAVs, se le conoce como fotogrametría con drones. Este trabajo, permitió comparar el desplazamiento entre un ortomosaico georreferenciado mediante puntos de control (GCPs) y un ortomosaico sin georreferenciar, ambos obtenidos mediante fotogrametría con dron, para exponer la necesidad de incluir los GCPs como un producto fundamental al momento de procesar los datos fotogramétricos, con el fin de obtener precisiones por el orden de los centímetros para los productos cartográficos obtenidos. Para este caso se utilizaron dos vuelos fotogramétricos, en distintas ubicaciones de la ciudad de Cali (Colombia), levantados con un dron Phantom 4 Pro V2 y un Phantom RTK, y se compararon los resultados de los ortomosaicos obtenidos mediante el procesamiento con y sin puntos de control (GCPs), obteniendo desplazamientos mayores a 0.50 metros con un UAV con receptor GNSS RTK y desplazamientos mayores de 3.5 metros con UAV con un receptor GNSS normal. De esta manera se pudo concluir que para realizar una buena cartografía de calidad de zonas gran extensión y de pequeña extensión los UAV son de gran ayuda siempre y cuando se complemente las fotografías aéreas con GCPs y estos sean tomados con receptores GNSS de precisión milimétrica o centimétrica de acuerdo a la escala que se vaya a plantear en la cartografía.

Palabras clave: Fotogrametría, levantamiento topográfico, vehículos aéreos no tripulados (VANTs), puntos de control terrestre (GCP).

Abstract

Unmanned Aerial Vehicles (UAV), commonly known as drones, have become a huge help for professionals in the field of surveying and engineering, since it is possible to carry out topographic surveys of the same quality as those carried out in a traditional way, collecting high-precision measurements as long as they are used together with GNSS technologies, although in a much smaller fraction of the time; this considerably reduces the cost of surveying and the volume of work in the field. This methodology, which allows topography to be carried out with UAVs, is known as drone photogrammetry. This work made it possible to compare the displacement between a georeferenced orthomosaic using control points (GCPs) and an ungeoreferenced orthomosaic, both obtained by drone photogrammetry, to expose the need to include GCPs as a fundamental product when processing photogrammetric data. , in order to obtain precision in the order of centimeters for the cartographic products obtained. For this case, two photogrammetric flights were used, in different locations of the city of Cali (Colombia), raised with a Phantom 4 Pro V2 drone and a Phantom RTK, and the results of the orphotomosaics obtained by processing with and without were compared. control points (GCPs), obtaining displacements greater than 0.50 meters with a UAV with a GNSS RTK receiver and displacements greater than 3.5 meters with a UAV with a normal GNSS receiver. In this way it was possible to conclude that to carry out good quality mapping of large and small extension areas, UAVs are of great help as long as aerial photographs are complemented with GCPs and these are taken with millimeter or centimeter precision GNSS receivers. according to the scale to be considered in the cartography.

Keywords: Photogrammetry, topographic survey, unmanned aerial vehicles (UAVs), ground control points (GCP).

Introducción

En la actualidad, con el desarrollo tecnológico, los sistemas aéreos no tripulados de Clase A (UAVs <25 kg) de costo relativamente bajo (< 25.000 USD) han sido utilizados para suplir necesidades en diferentes disciplinas, como por ejemplo aplicaciones en agricultura de precisión, reconstrucción arqueológica, cartografía y modelado 3D, geomorfología, monitoreo ambiental y algunas otras disciplinas más en los que se han explotado los UAVs (Rokhmana et al., 2015; Zanutta et al., 2020; Remondino et al., 2013 y Rodrigues et al., 2021).

La fotogrametría con drones se ha constituido como una de las técnicas más usadas al momento de levantar y procesar la información espacial que se deriva en la obtención de productos cartográficos como ortomosaicos georreferenciados, modelos de elevación digital (DEM), modelos digitales de superficie (MDS), curvas de nivel, entre otros (Syetawan et al., 2020). Estos productos fotogramétricos, generalmente son utilizados para extraer información como distancias, cotas de alta precisión o mediciones volumétricas, que requieren datos muy precisos en cuanto a su referencia espacial (coordenadas). (Barry y Coakley. 2013).

Para que la fotogrametría con dron se constituya como una herramienta clave al momento de generar productos cartográficos de precisión, es necesario que las metodologías usadas para la captura y generación fotogramétrica, cuenten con los estándares mínimos de calidad, los cuales contemplan tener puntos de control terrestre (“Ground Control Point” GCP) con coordenadas conocidas, para poder ser establecidos como puntos de referencia y, de esta manera, calibrar mejor el proceso fotogramétrico (Kalacska et al., 2020; Xu Wang et al., 2021; Chudley et al., 2019). Generalmente estos GCP se colocan en sitios visibles por el UAV y son georreferenciados por receptores GNSS ya sea de forma estática o cinemática, obteniendo precisiones de 0.005m a 0.015m dependiendo del tipo y configuración del receptor (McMahon et al., 2021; Stott et al., 2020).

Algunos UAVs incorporan sistemas de posicionamiento GNSS propios, los cuales ayudan, en gran medida, a obtener resultados mucho más fiables en cuanto a la precisión espacial de los datos capturados (Mian et al., 2016). Esto ha permitido que, bajo condiciones ideales, estos drones permitan obtener resultados fotogramétricos con precisiones que están por el orden de los decímetros e incluso centímetros (Mulakala, 2020 y Kitlin

2021). A pesar de esto, esta tecnología por sí sola no supe las necesidades de calidad fotogramétrica que deberían tener los productos obtenidos, siendo estrictamente necesario, la utilización de puntos de control terrestres que permitan realizar ese control fotogramétrico y de calidad, requeridos para esta clase de datos (Syetiawan et al., 2020). El uso desmedido de los drones en la fotogrametría, junto con la omisión en la utilización de GCPs para su control fotogramétrico, se ha constituido como uno de los mayores limitantes al momento de obtener productos fotogramétricos de precisión (Taddia et al., 2020; Samboko et al., 2022 y Long et al., 2016).

Un método convencional utilizado en fotogrametría es tener puntos de control en tierra (GCP), que sean visibles e identificables en las fotografías, cuyas coordenadas se obtienen, por lo general, con métodos de levantamientos GNSS de precisión (PPK, NTRIP, RTK) y que luego se utilizan para trasladar la información espacial levantada, de un sistema de relativo, a un sistema absoluto georreferenciado. (Daakir et al., 2017, Ekaso et al., 2020; Przybilla et al., 2020).

Para hacer la georreferenciación o toma de las coordenadas de los GCPs se utiliza el sistema de configuración diferencial de GPS (DGPS), como cinemático postprocesado (PPK), cinemático en tiempo real (RTK) o NTRIP (Network Transportation of RTCM Vía Internet Protocol), los cuales permiten obtener resultados mucho más precisos (coordenadas con un sistema de referencia definidas). Uno de los métodos mencionados anteriormente, que es usado con mucha frecuencia, es el método RTK, este se basa en utilizar simultáneamente 2 receptores GNSS, uno llamado “Base” y otro “Rover”; el receptor Base permanece estático mientras que el Rover es el que se desplaza a lo largo del terreno, posicionando y obteniendo de forma precisa las coordenadas reales de los puntos donde se posiciona el equipo (Kalacska et al., 2020). Este método de posicionamiento, basa su funcionamiento en la emisión de correcciones diferenciales, generadas por la estación Base, hacia la estación Rover, obteniendo coordenadas corregidas en tiempo real (Seeber, 2003).

Un punto de control en tierra “GCP” es un lugar físico en tierra del cual se conoce su posición respecto a un sistema de coordenadas (x, y, z) y se utilizan como referencia; normalmente los GCPs se establecen con la finalidad de ofrecer información de georreferenciación a objetos espaciales y/o fenómenos de interés de acuerdo a las necesidades o naturaleza específica de cada proyecto (Cruz, 2008; Pérez, 2001).

De las diferentes modalidades de posicionamiento GPS, la técnica diferencial o relativa es la que ofrece hasta ahora los mejores resultados en precisión; este método consiste en dos o más estaciones, observando de forma simultánea hacia los mismos satélites y donde al menos una de ellas presenta coordenadas conocidas y de alta precisión (estación “Base”) (Pratap y Misra, 2006), cuyo objetivo es generar las correcciones diferenciales para las coordenadas tomadas en las demás estaciones. Los más recientes avances en la ciencia y la tecnología llegaron a tener algunos desarrollos como cambios beneficiosos en la metodología observacional, la comunicación a través de la red de redes telefónicas e internet, proporcionan a la comunidad involucrada con las geociencias, una novedosa herramienta para la determinación de posiciones tridimensionales que es llamada “NTRIP” (Networked Transport of RTCM). El método NTRIP consiste en la transmisión de correcciones diferenciales GNSS, originalmente en formato estándar RTCM, mediante el protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP), las cuales son calculadas desde una estación de referencia Base y recibidas por el otro receptor móvil “Rover” vía Internet (Waese, 2006; Márquez, 2007).

Según Pérez (2001), para tener un mayor control en la corrección tanto planimétrica como altimétrica de las imágenes, es necesario el establecimiento de cinco GCPs, distribuidos de la siguiente manera: 2 en cada una las esquinas superiores, 2 en cada una de las esquinas inferiores y uno en el centro, esto con la finalidad de obtener una mayor precisión al momento de efectuar el proceso de restitución, ya que resulta arriesgado realizarla fuera de los límites que encierra el cuadrilátero que une estos puntos, así como poder corregir las inclinaciones longitudinales y transversales de la fase de orientación absoluta.

En la actualidad la fotogrametría con drones es uno de los métodos más utilizados al momento de realizar levantamientos topográficos, obteniendo significativas reducciones de costos, tiempos, equipos y personal, obteniendo resultados muy precisos, siempre y cuando se tengan en cuenta los requerimientos y procedimientos de calidad mínimos para la captura y el procesamiento de los datos fotogramétricos.

Por eso la razón de este estudio para poder comparar los desplazamientos de un ortomosaico georreferenciado con puntos de control (GCPs) tomados con receptores GNSS con el método de RTK y un ortomosaico sin georreferenciar el cual se utiliza la precisión del receptor GNSS de cada uno de los drones, este estudio se realizó en 2 zonas distintas con 2 drones con

características distintas en cuanto al receptor GNSS, y poder compararlo con un ortomosaico como fuente primaria para saber si es aceptada en instituciones públicas y pasan los controles de calidad.

Materiales y métodos/metodología

Materiales

Para el desarrollo de este estudio se tuvieron un total de 456 fotografías tomadas con UAVs 95 se tomaron con el DRONE Phamton 4 Pro V2.0 y 361 fotos se tomaron con el DRONE Phamton Topografic RTK ambos drones de la casa fabricante de DJI (ver Figura 1), la zona de estudio fue la ciudad de Santiago de Cali con coordenadas geográficas 3°26'24"N, 76°31'11"O. También se tiene una ortofoto de Santiago de Cali del año 2010 como fuente primaria. Para el tratamiento de las imágenes se utilizaron principalmente los softwares Agisoft Metashape Professional 1.7.0 y Qgis 3.22.5.

Figura 1

Equipos UAVs utilizados

(a) Phantom 4 Pro V2



(b) Phantom RTK



Fuente: Página oficial fabricante (DJI), 2022.

El ortomosaico suministrado de Cali (2010) tiene los siguientes aspectos técnicos:

Tabla 1
Aspectos técnicos de ortomosaico Cali 2010

Información	Ortomosaico Cali 2010
Sistema de Referencia	Magna Sirgas Cali
Municipio	Santiago de Cali
Departamento	Valle del Cauca
Resolución Espacial	0,299 m de píxel
Resolucion Espectral	4 Bandas (RGB)
Resolucion Radiometrica	8 Bits
No. De Columnas	100253
No. De Filas	108589

Fuente: elaboración propia.

Figura 2
Ortomosaico de Cali año 2010



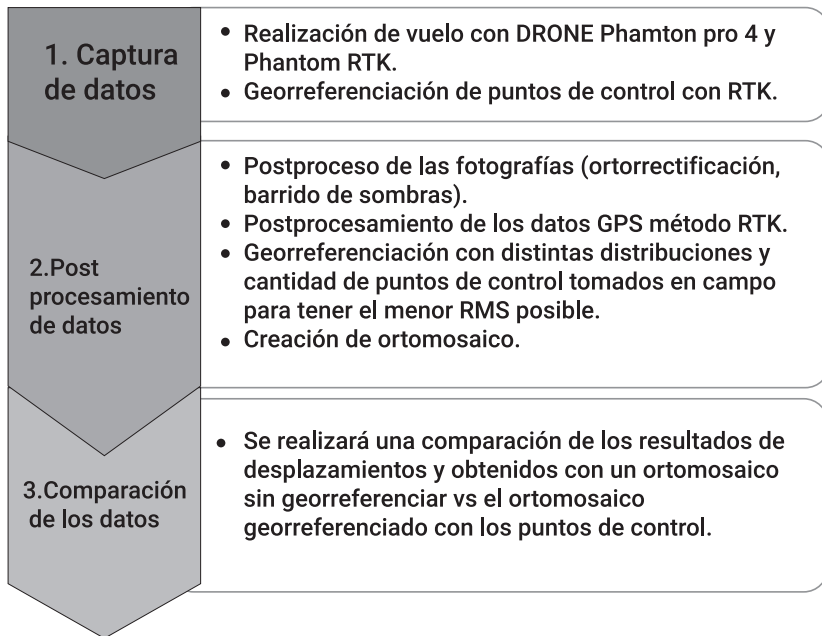
Fuente: Alcaldía De Santiago de Cali, 2022.

Metodología

Como esquema metodológico, se plantearon 3 pasos principales; la recolección de los datos, su procesamiento fotogramétrico mediante la utilización y la no utilización de los GCPs y, finalmente, la comparación de los resultados obtenidos para ambos casos (Ver Figura 3).

Figura 3

Esquema metodológico general



Fuente: elaboración propia.

Para la captura de datos, se realizaron dos (2) vuelos en dos (2) zonas distintas de la ciudad de Santiago de Cali en su casco urbano. Ambas zonas se describen a continuación junto con los parámetros de vuelo establecidos para cada una.

Vuelo fotogramétrico No. 1

Zona de Estudio Carrera 66 con Calle 13 (3°23'53.4"N, 76°32'13.3"W). Se realizó el vuelo a una altura de 100 metros, para un área de estudio de 6.87 Ha, como resultado se obtuvieron 361 fotografías tomadas con el DRONE

Phamton RTK, para esta zona se colocaron 8 puntos de control marcados en zona libres de vegetación y que fueran fácilmente identificables en las imágenes capturadas por el dron, para ello se utilizó una marca en acetato con forma de una “L” con medidas de 40cm X 30cm y se pintó con pintura de aceite color blanco y fueron georreferenciados con 2 receptores (uno se utilizó como Base y el otro como Rover) GNSS doble frecuencia multi-constelaciones con el método de posicionamiento RTK, cada punto georreferenciado fue la parte interna de la “L”; dejando una interacción mínima de 30 segundos por punto en el tipo de solución “Fijo” o “Fix”.

Figura 4

Marcas de los puntos de control de la primera zona de estudio



Fuente: elaboración propia.

Tabla 2

Coordenadas de los puntos de control en el sistema de referencia Magna Sirgas Cali de la primera zona de estudio

Nombre	Coordenadas		
	Este	Norte	Altura
PC1	1060169,23	867533,263	988,633
PC2	1060010,02	867533,009	988,285
PC3	1060019,51	867613,572	987,529
PC4	1060087,8	867779,521	987,629
PC5	1060183,94	867768,905	986,826
PC6	1060325,37	867726,12	986,289
PC7	1060306,08	867532,751	985,554
PC8	1060054,94	867544,428	988,066

Fuente: elaboración propia.

Todas las fotos se cargaron en el software Agisoft Metashape, primero se realizó la orientación de las fotos en calidad máxima, seguidamente se georreferenciaron las imágenes con los 8 puntos de control teniendo un RMS de desplazamiento de 0.024 metros, luego se realizó la nube de puntos densa en calidad alta, posteriormente se creó la malla en calidad alta y finalmente el ortomosaico georreferenciado, para el otro ortomosaico se realizaron los mismos pasos en la misma calidad solamente se omitió el paso de la georreferenciación de las fotos antes de la creación de la nube de puntos densa y así obtener un ortomosaico georreferenciado solo con las coordenadas tomadas por el dron.

Figura 5

Ortomosaico obtenido de las 365 fotografías de la primera zona de estudio



Fuente: elaboración propia.

Los aspectos técnicos de los 2 ortomosaicos es la misma debido a que se hizo con los mismos parámetros, algunos de ellos se pueden visualizar en la Tabla 3.

Tabla 3

Aspectos técnicos de los ortomosaicos de la primera zona de estudio

Información	Con Puntos de Control	Sin Puntos de Control
Sistema de Referencia	Magna Sirgas Cali	Magna Sirgas Cali
Municipio	Santiago de Cali	Santiago de Cali
Departamento	Valle del Cauca	Valle del Cauca
Resolución Espacial	0,021m de píxel	0,021m de píxel
Resolución Espectral	3 Bandas (RGB)	3 Bandas (RGB)
Resolución Radiométrica	8 Bits	8 Bits
No. de Columnas	25399	25399
No. de Filas	23228	23228

Fuente: elaboración propia.

Vuelo fotogramétrico No. 2

Zona de estudio Carrera 52 con Calle 2 (3°24'52.7"N, 76°33'08.1"W). Se realizó el vuelo a una altura de 100 metros, para un área de estudio de 0.87 Ha, como resultado se obtuvieron 95 fotografías tomadas con el DRONE Phanton 4 Pro V2.0, para esta zona se colocaron 3 puntos de control donde se puede abordar toda el área a cartografiar, a diferencia de la primera zona de estudio en esta zona se colocaron "Dianas" en tela de color rojo y negro de 50cm X 50cm, y fueron georreferenciados con 2 receptores (uno se utilizó como Base y el otro como Rover) GNSS doble frecuencia multi-constelaciones con el método de posicionamiento RTK, cada punto georreferenciado fue el centro de la "Diana"; dejando una interacción mínima de 30 segundos por punto en el tipo de solución "Fijo" o "Fix".

Tabla 4

Puntos de Control en el sistema de referencia Magna Sirgas Cali de la segunda zona de estudio

Nombre	Coordenadas		
	Este	Norte	Altura
PC1	1058367,240	869387,728	972,279
PC2	1058460,148	869363,305	971,517
PC3	1058374,969	869296,493	973,303

Fuente: elaboración propia.

Figura 6

Puntos de control con “Dianas” de la segunda zona de estudio



Fuente: elaboración propia.

Para estas fotos se realizó el mismo proceso mencionado anteriormente con la primera zona de estudio, igual se obtuvieron 2 ortomosaicos; un ortomosaico georreferenciado con los puntos de control tomados con el receptor GNSS en campo y el otro ortomosaico georreferenciado con el receptor GNSS del dron.

Figura 7

Ortomosaico obtenido de las 95 fotografías de la segunda zona de estudio



Fuente: elaboración propia.

En cuanto a los aspectos técnicos de los 2 ortomosaicos son los mismos parámetros, algunos de ellos se pueden visualizar en la siguiente Tabla 5.

Tabla 5

Aspectos técnicos de los ortomosaicos de la segunda zona de estudio

Información	Con Puntos de Control	Sin Puntos de Control
Sistema de Referencia	Magna Sirgas Cali	Magna Sirgas Cali
Municipio	Santiago de Cali	Santiago de Cali
Departamento	Valle del Cauca	Valle del Cauca
Resolución Espacial	0,020m de píxel	0,020m de píxel
Resolucion Espectral	3 Bandas (RGB)	3 Bandas (RGB)
Resolucion Radiometrica	8 Bits	8 Bits

Información	Con Puntos de Control	Sin Puntos de Control
No. De Columnas	20732	20732
No. De Filas	17277	17277

Fuente: elaboración propia.

Luego de tener cada uno de los ortomosaicos se marcaron puntos homólogos en todos los ortomosaicos y en la ortofoto de Cali 2010 suministrada como fuente primaria, para ello se utilizaron esquinas de techos, bordes de piscinas, bordes de vía y reductores de velocidad, se eligieron estos puntos porque no se encontraron variación de ellos en el tiempo debido a que la fuente primaria es del 2010 y las fotos tomadas fueron del año 2021. Para la primera zona de estudio que fue la Carrera 66 con Calle 13, se realizaron 16 puntos donde se calculó en cada uno de los puntos las coordenadas Estes y Nortes como se puede apreciar en la siguiente Tabla 6.

Tabla 6

Puntos homólogos de la primera zona de estudio de los ortomosaicos obtenidos y el ortomosaico Cali 2010

Nombre	Georreferenciado		Sin Georreferenciar		Ortomosaico Cali 2010	
	Este	Norte	Este	Norte	Este	Norte
Control 1	1060029,949	867563,647	1060030,648	867563,704	1060030,353	867563,716
Control 2	1060082,549	867629,370	1060083,159	867629,400	1060082,308	867629,439
Control 3	1060086,782	867604,234	1060087,341	867604,247	1060086,845	867604,545
Control 4	1060142,411	867748,763	1060143,117	867748,329	1060142,725	867748,717
Control 5	1060106,030	867773,370	1060106,678	867772,946	1060106,158	867773,455
Control 6	1060135,664	867800,225	1060136,296	867799,788	1060135,749	867800,375
Control 7	1060163,842	867761,331	1060163,918	867760,986	1060164,791	867761,350
Control 8	1060301,770	867777,021	1060301,934	867776,936	1060301,908	867777,186
Control 9	1060318,319	867764,050	1060318,121	867763,539	1060318,104	867764,314
Control 10	1060331,120	867719,949	1060330,867	867719,528	1060331,081	867720,103
Control 11	1060340,063	867643,254	1060339,789	867642,566	1060340,102	867643,719

Cap. 8: Comparación de levantamientos topográficos georreferenciados y sin georreferenciar realizados con drones

Control 12	1060336,716	867571,287	1060336,822	867571,267	1060336,706	867571,662
Control 13	1060247,763	867474,489	1060247,534	867475,399	1060247,578	867475,324
Control 14	1060308,897	867530,369	1060308,911	867530,386	1060309,345	867530,530
Control 15	1060125,355	867500,419	1060126,022	867501,018	1060125,020	867500,830
Control 16	1059971,583	867506,306	1059972,791	867506,553	1059971,873	867506,720

Fuente: elaboración propia.

Figura 8

Localización de los puntos homólogos, zona de estudio 1



Fuente: elaboración propia.

Para la segunda zona de estudio se realizó lo mismo se marcaron de igual forma puntos homólogos, pero por ser un área más pequeña se obtuvieron

12 puntos, para ello se utilizaron bordes de escaleras, bordes de vía, borde de gradería, esquinas de construcción que hay en el Skyte Park, se eligieron estos puntos porque no se encontraron variación de ellos en el tiempo debido a que la fuente primaria es del 2010 y las fotos tomadas fueron del año 2021.

Tabla 7
Puntos homólogos de la segunda zona de estudio de los ortomosaicos obtenidos y el ortomosaico Cali 2010

Nombre	Georreferenciado		Sin Georreferenciar		Ortomosaico Cali 2010	
	Este	Norte	Este	Norte	Este	Norte
Control 1	1058524,000	869318,776	1058522,033	869321,705	1058523,858	869318,319
Control 2	1058491,291	869302,399	1058489,423	869305,528	1058491,173	869302,208
Control 3	1058405,500	869270,748	1058403,913	869274,074	1058404,845	869270,823
Control 4	1058491,111	869376,532	1058489,500	869379,233	1058491,435	869376,286
Control 5	1058481,649	869267,487	1058480,054	869270,537	1058481,592	869267,515
Control 6	1058424,383	869398,100	1058423,053	869401,003	1058424,372	869398,308
Control 7	1058481,710	869311,309	1058479,902	869314,337	1058481,704	869311,307
Control 8	1058448,227	869322,427	1058446,480	869325,617	1058448,315	869322,299
Control 9	1058398,154	869378,221	1058396,812	869381,251	1058398,236	869378,311
Control 10	1058396,534	869373,061	1058395,066	869376,210	1058396,548	869372,556
Control 11	1058365,445	869383,115	1058364,189	869386,410	1058364,832	869383,143
Control 12	1058243,201	869331,083	1058238,630	869334,962	1058243,256	869331,083

Fuente: elaboración propia.

Figura 9

Localización de los puntos homólogos, zona de estudio 2



Fuente: elaboración propia.

Resultados y Discusión

Cálculo del desplazamiento entre los puntos de control de los ortomosaicos obtenidos de las fotografías tomadas en campo

Como primer resultado se obtuvo el desplazamiento entre los puntos de control que se colocaron al momento de realizar el vuelo, el desplazamiento se calculó con la fórmula general que es la siguiente:

$$S = \sqrt{(X2 - X1)^2 + (Y2 - Y1)^2}$$

(1)

Donde:

S = Desplazamiento entre 2 puntos.

X2 = Coordenada Este del ortomosaico georreferenciado.

X1 = Coordenada Este del ortomosaico sin georreferenciar.

Y2 = Coordenada Norte del ortomosaico georreferenciado.

Y1 = Coordenada Norte del ortomosaico sin georreferenciar.

Obteniendo así, los siguientes resultados para la primera zona de estudio.

Tabla 8

Desplazamiento entre los puntos de Control del ortomosaico georreferenciado us el ortomosaico sin georreferenciar de la primera zona de estudio

Nombre	Georreferenciado		Sin Georreferenciar		Desplazamiento (m)
	Este	Norte	Este	Norte	
PC1	1060169,234	867533,263	1060169,661	867533,519	0,498
PC2	1060010,022	867533,009	1060011,078	867533,237	1,080
PC3	1060019,508	867613,572	1060020,387	867613,503	0,881
PC4	1060087,803	867779,521	1060088,389	867779,005	0,781
PC5	1060183,937	867768,905	1060184,247	867768,399	0,592
PC6	1060325,372	867726,120	1060325,143	867725,751	0,435
PC7	1060306,085	867532,751	1060306,199	867532,869	0,164
PC8	1060054,936	867544,428	1060055,783	867544,656	0,877
Promedio					0,664

Fuente: elaboración propia.

Figura 10

Desplazamiento de cada uno de los puntos de control de la primera zona de estudio



Fuente: elaboración propia.

Para la primera zona de estudio se obtuvo un desplazamiento promedio entre los puntos de control colocados el día del vuelo de 0.664 metros.

Para la segunda zona de estudio se realizó el mismo procedimiento obteniendo un promedio de desplazamiento fue de 3.460 metros, como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9

Desplazamiento entre los puntos de Control del ortomosaico georreferenciado vs el ortomosaico sin georreferenciar de la segunda zona de estudio

Nombre	Georreferenciado		Sin Georreferenciar		Desplazamiento (m)
	Este	Norte	Este	Norte	
PC1	1058367,240	869387,728	1058365,970	869390,820	3,343
PC2	1058460,148	869363,305	1058458,526	869366,230	3,345
PC3	1058374,969	869296,493	1058373,440	869299,853	3,692
Promedio					3,460

Fuente: elaboración propia.

Figura 11

Desplazamiento de los puntos de control de la segunda zona de estudio



Fuente: elaboración propia.

Cálculo del desplazamiento entre los puntos homólogos del ortomosaico georreferenciado, ortomosaico sin georreferenciar y el ortomosaico de Cali 2010

Para realizar este cálculo se utilizó la misma ecuación 1; para comparar cada uno de los ortomosaicos obtenidos y el ortomosaico suministrado de Cali 2010 como fuente primaria; esto con la finalidad de comparar que tanta precisión se puede obtener de cada uno de los ortomosaicos creados a partir de las fotografías del dron y si son o no aceptados en cualquier entidad pública por control de calidad, como insumos de cartografía y con ellos realizar planos topográficos.

Para la primera zona de estudio se obtuvo un desplazamiento promedio entre el ortomosaico georreferenciado vs sin georreferenciar de 0.553 metros, el ortomosaico georreferenciado vs el ortomosaico de Cali 2010 de 0.268 metros y el ortomosaico sin georreferenciar vs el ortomosaico de Cali 2010 de 0.677 metros. En la Tabla 9 se pueden apreciar estos resultados.

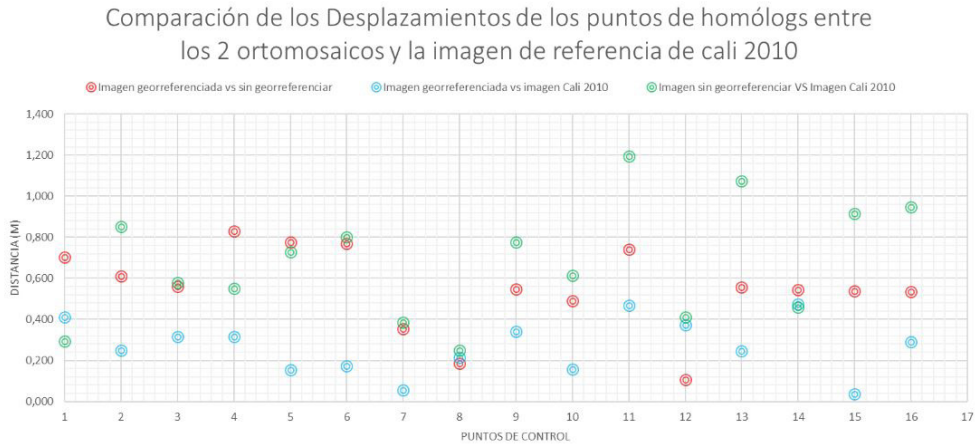
Tabla 10
Desplazamiento entre cada uno de los ortomosaicos de la primera zona de estudio

Nombre	Georreferenciado		Sin Georreferenciar		Ortomosaico Cali 2010		georreferenciada vs sin georreferenciar	Desplazamiento georreferenciar vs Cali 2010	Sin georreferenciar vs Cali 2010
	Este	Norte	Este	Norte	Este	Norte			
Control 1	1060029,949	867563,647	1060030,648	867563,704	1060030,353	867563,716	0,701	0,410	0,295
Control 2	1060082,549	867629,370	1060083,159	867629,400	1060082,308	867629,439	0,611	0,251	0,852
Control 3	1060086,782	867604,234	1060087,341	867604,247	1060086,845	867604,545	0,559	0,317	0,579
Control 4	1060142,411	867748,763	1060143,117	867748,329	1060142,725	867748,717	0,829	0,317	0,552
Control 5	1060106,030	867773,370	1060106,678	867772,946	1060106,158	867773,455	0,774	0,154	0,729
Control 6	1060135,664	867800,225	1060136,296	867799,788	1060135,749	867800,375	0,769	0,173	0,803
Control 7	1060163,842	867761,331	1060163,918	867760,986	1060163,791	867761,350	0,353	0,055	0,385
Control 8	1060301,770	867777,021	1060301,934	867776,936	1060301,908	867777,186	0,185	0,215	0,251
Control 9	1060318,319	867764,050	1060318,121	867763,539	1060318,104	867764,314	0,547	0,341	0,775
Control 10	1060331,120	867719,949	1060330,867	867719,528	1060331,081	867720,103	0,491	0,158	0,613
Control 11	1060340,063	867643,254	1060339,789	867642,566	1060340,102	867643,719	0,741	0,467	1,195
Control 12	1060336,716	867571,287	1060336,822	867571,267	1060336,706	867571,662	0,108	0,374	0,411
Control 13	1060247,663	867474,489	1060247,534	867475,399	1060247,578	867474,324	0,556	0,247	1,075
Control 14	1060308,897	867530,369	1060308,911	867530,386	1060309,345	867530,530	0,544	0,476	0,458
Control 15	1060125,355	867500,419	1060126,022	867501,018	1060125,320	867500,430	0,538	0,038	0,916
Control 16	1059971,583	867506,306	1059972,791	867506,553	1059971,873	867506,320	0,536	0,291	0,947
					Promedio		0,553	0,268	0,677

Fuente: elaboración propia.

Figura 12

Desplazamiento de los puntos homólogos comparados entre cada uno de los ortomosaicos y el ortomosaico de referencia de la primera zona de estudio



Fuente: elaboración propia.

Para la segunda zona de estudio se obtuvo un desplazamiento promedio entre el ortomosaico georreferenciado vs sin georreferenciar de 3.676 metros, el ortomosaico georreferenciado vs el ortomosaico de Cali (2010) de 0.291 metros y el ortomosaico sin georreferenciar vs el ortomosaico de Cali 2010 de 3.733 metros. En la Tabla 11 se pueden apreciar estos resultados.

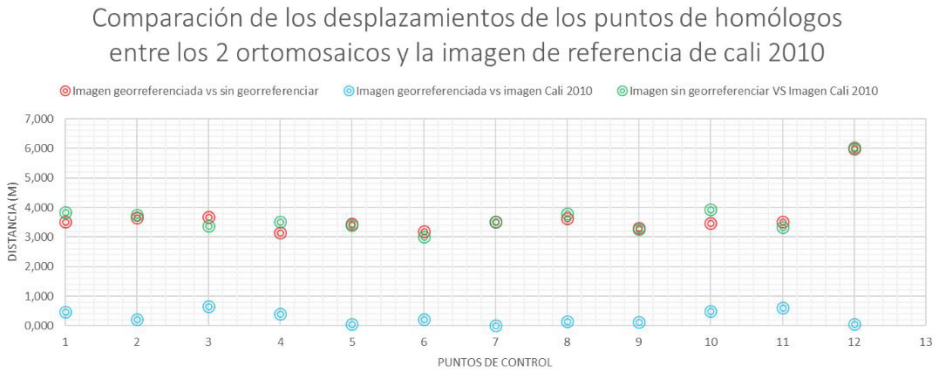
Tabla 11
Desplazamiento entre cada uno de los ortomosaicos de la segunda zona de estudio

Nombre	Georreferenciado		Sin Georreferenciar		Ortomosaico Cali 2010		georreferenciada vs sin georreferenciar	Desplazamiento	
	Este	Norte	Este	Norte	Este	Norte		georreferenciado vs Cali 2010	Sin georreferenciado vs Cali 2010
Control 1	1058524,000	869318,776	1058522,083	869321,705	1058523,858	869318,319	3,528	0,479	3,846
Control 2	1058491,291	869302,399	1058489,423	869305,528	1058491,173	869302,208	3,644	0,224	3,754
Control 3	1058405,500	869270,748	1058403,913	869274,074	1058404,845	869270,823	3,685	0,659	3,383
Control 4	1058491,111	869376,532	1058489,500	869379,233	1058491,435	869376,286	3,145	0,407	3,526
Control 5	1058481,649	869267,487	1058480,054	869270,537	1058481,592	869267,515	3,442	0,063	3,391
Control 6	1058424,383	869398,100	1058423,053	869401,003	1058424,372	869398,308	3,193	0,208	3,001
Control 7	1058481,710	869311,309	1058479,902	869314,337	1058481,704	869311,307	3,527	0,006	3,526
Control 8	1058448,227	869322,427	1058446,480	869325,617	1058448,315	869322,299	3,637	0,155	3,792
Control 9	1058398,154	869378,221	1058396,812	869381,251	1058398,236	869378,311	3,314	0,122	3,266
Control 10	1058396,584	869373,061	1058395,066	869376,210	1058396,548	869372,556	3,474	0,505	3,943
Control 11	1058365,445	869383,115	1058364,189	869386,410	1058364,832	869383,143	3,526	0,613	3,330
Control 12	1058243,201	869331,083	1058238,630	869334,962	1058243,256	869331,083	5,994	0,055	6,037
						Promedio	3,676	0,291	3,733

Fuente: elaboración propia.

Figura 13

Desplazamiento de los puntos homólogos comparados entre cada uno de los ortomosaicos y el ortomosaico de referencia de la segunda zona de estudio



Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Al realizar la comparación entre los ortomosaicos georreferenciados y el ortomosaico como fuente primaria de Cali del año 2010 no se obtuvieron desplazamientos promedios mayores a 0.30 metros que son bastante buenos y aceptables al momento de realizar una cartografía y posteriormente realizar un plano topográfico, debido a que este error de desplazamiento se puede atribuir a que la resolución espacial (tamaño de píxel) del ortomosaico de Cali es de 0.299 metros, un tamaño mayor que el de cada uno de los ortomosaicos obtenidos con los UAVs.

Al realizar la comparación entre el ortomosaico georreferenciado y el ortomosaico sin georreferenciar de la primera zona de estudio se obtuvo un desplazamiento promedio de 0.553 metros, un desplazamiento alto debido a que la casa fabricante de este dron estima que la precisión de desplazamiento es de 0.030 metros, pero para poder llegar a esta precisión se necesita del apoyo de los puntos de control y de una Base de referencia para que el receptor GNSS que tiene este dron pueda hacer unas mejores correcciones al momento de la toma de las fotografías.

Cuando se comparó el ortomosaico georreferenciado y sin georreferenciar de la segunda zona de estudio se obtuvo un desplazamiento promedio de 3.676 metros, que demasiado grande y no serviría si este insumo va

hacer utilizado para cartografía georreferenciada o ser utilizada para levantamientos topográficos, este error de desplazamiento se debe a que el receptor GNSS del Phantom 4 Pro V.20 no realiza correcciones y es de precisión métrica y más si estamos en una zona tropical donde la señal GNSS es afectada por varios factores y uno de los más importantes es la ionosfera. Por eso si se va a utilizar este tipo de dron se debe utilizar GCPs para garantizar la precisión.

Al comparar los ortomosaicos sin georreferenciar con el ortomosaico de Cali del año 2010 se encontraron desplazamientos promedio en la primera zona de estudio de 0.677 metros y en la segunda zona de estudio de 3.733 metros siendo estos insumos más como informativos sin llegar hacer aceptados por entidades públicas para cartografía o como fuente de topografía.

Realizar un levantamiento topográfico con apoyo de UAVs y combinado con receptores GNSS es de gran ayuda ya que nos permite economizar tiempo al momento de realizar captura de la información haciendo que los costos sean menores si se hace de la manera convencional.

Referencias

- Álvarez, J. A. (2001). Apuntes de fotogrametría III. Mérida, España. Ingeniería Técnica en Topografía. p. 242. Mérida, España.
- Barry, P. y Coakley, R. (2013). "Field Accuracy Test of RPAS Photogrammetry". The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. pp. 27-31.
- Chudley, T. R., Christoffersen, P., Doyle, S. H., Abellan, A., & Snooke, N. (2019). High-accuracy UAV photogrammetry of ice sheet dynamics with no ground control. *The Cryosphere*, 13(3), 955-968.
- Cunha, R. R., Arrabal, C. T., Dantas, M. M., & Bassanelli, H. R. (2022). Laser scanner and drone photogrammetry: A statistical comparison between 3-dimensional models and its impacts on outdoor crime scene registration. *Forensic Science International*, 330, 111100.
- Daakir, M.; Pierrot-Deseilligny, M.; Bossier, P.; Pichard, F.; Thom, C.; Rabot, Y.; Martin, O. (2017). "Lightweight UAV with on-board

- photogrammetry and single-frequency GPS positioning for metrology applications”. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. 2017, 127, 115–126.
- Ekaso, D., Nex, F., Kerle, N. (2020). “Accuracy assessment of real-time kinematics (RTK) measurements on unmanned aerial vehicles (UAV) for direct geo-referencing”. *Geo-spatial Information Science*, Volume 23, p. 165-181.
- Hubert T. Samboko, S. Schurer, Hubert H. G. Savenije H. Makurira, K. Banda, H. Winsemius (2022). “Evaluating low-cost topographic surveys for computations of conveyance”. *Copernicus GmbH in Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems*. Volume 11, pp 1-23.
- Kaitlin. (2021). “Mapeo RTK con el DJI Phantom 4 RTK”. *Enterprise Solutions Engineer | DroneDeploy*.
- Kalacska, M., Lucanus, O., Arroyo-Mora, J. P., Laliberté, É., Elmer, K., Leblanc, G., & Groves, A. (2020). Accuracy of 3d landscape reconstruction without ground control points using different uas platforms. *Drones*, 4(2), 13.
- Long, N., Millescamp, B., Pouget, F., Dumon, A., Lachaussée, N., Bertin, X. (2016) “Accuracy Assessment of Coastal Topography Derived from Uav Images”. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, pages 1127-1134.
- Martínez, M. F. C. (2008). *Caracterización de puntos de control en teledetección: aplicación a la corrección geométrica automática de imágenes (Vol. 111)*. Universidad Almería.
- Márquez, A. (2007). *NTRIP Herramienta Indispensable para la Cartografía y el Catastro. II Jornadas Nacionales de Geomática*.
- McMahon, C., Mora, O. E., & Starek, M. J. (2021). Evaluating the performance of sUAS photogrammetry with PPK positioning for infrastructure mapping. *Drones*, 5(2), 50.
- Mian, O., Lutes, J., Lipa, G., Hutton, J. J. , Gavelle, E. y Borghini, S. (2016). “Accuracy Assessment of Direct Georeferencing for Photogrammetric Applications On Small Unmanned Aerial Platforms”. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Pages 77-83.

- Mulakala, J. (2019). Measurement accuracy of the DJI Phantom 4 RTK & photogrammetry. DroneDeploy, Published in Partnership with DJI.
- Pratap, M. y Misra, E. (2006) .“GPS: Signals, Measurements and Performance”, 2nd Ed.Ganga-Jamura. pp 148-155. Lincoln-Massachusetts, EEUU.
- Przybilla, H.-J., Bäumker, M., Luhmann, T., Hastedt, H., Eilers, M. (2020). “Interaction Between Direct Georeferencing, Control Point Configuration and Camera Self-Calibration for RTK-Based UAV Photogrammetry”. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Pages 485-492.
- Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M. y Sarazzi, D. (2011). UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling–current status and future perspectives. International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, 38(1), C22.
- Seeber, G. (2008). Satellite geodesy. In Satellite Geodesy. de Gruyter.
- Stott, E., Williams, R. D. y Hoey, T. B. (2020). “Ground Control Point Distribution for Accurate Kilometre-Scale Topographic Mapping Using an RTK-GNSS Unmanned Aerial Vehicle and SfM Photogrammetry”. Drones, Volume 4.
- Syetiawan, A., Gularso, H., Kusnadi, G. y Pramudita, G. (2020) “Precise topographic mapping using direct georeferencing in UAV”. Earth and Environmental Science, Volume 500.
- Waese, C. (2006). “NTRIP purposes and perspectives”. 2nd Trimble GPSnet Users Seminar. München, Alemania.
- Y. Taddia, L. González García, E. Zambello, A. Pellegrinelli. (2020). “Quality Assessment of Photogrammetric Models for Façade and Building Reconstruction Using DJI Phantom 4 RTK” Remote Sensing. Volume 12.
- Zanutta, A.; Lambertini, A.; Vittuari, L. (2020) “UAV Photogrammetry and Ground Surveys as a Mapping Tool for Quickly Monitoring Shoreline and Beach Changes”.

