

# LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO TRADICIONAL Y AEROFOTOGRAMETRÍAS DESDE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT- DRONES), COMPARACIÓN DE COORDENADAS HORIZONTALES Y VERTICALES

TRADITIONAL TOPOGRAPHIC LIFTING AND AEROPHOTOGRAPHY FROM UNTRIPULATED AIR VEHICLES (UAV-DRONES), COMPARISON OF HORIZONTAL AND VERTICAL COORDINATES

Huber Augusto Mamani Gutiérrez\*

## RESUMEN

A partir de dos levantamientos topográficos, uno con estación total y el otro utilizando aerofotogrametrías proporcionadas por dos vant-drones, se efectuó una comparación de coordenadas verticales y horizontales para un mismo polígono (sector Laikacota, parque urbano central, ciudad de La Paz).

Las coordenadas horizontales de ambos levantamiento topográfico están cercanas a valores definidos por los fabricantes y el software de procesamiento. Respecto a la precisión vertical, no se alcanzaron los valores teóricos esperados, influyendo factores como la elección de una sola altura de vuelo para una topografía con variados desniveles, uso de modelos geoidales para el DEM, algoritmos aun no consolidados para la determinación de modelos digitales del terreno DEM, posibles errores en las alturas niveladas M7-245 y LAIK obtenidos desde la Red Geodésica de La Paz.

**PALABRAS CLAVE:** Estación total, vant-drones de uso topográficos, modelos digitales de terreno DEM.

## ABSTRACT

From two topographic survey works, one with a total station and the other using aerial photography provided by two vant-drones, a comparison of vertical and horizontal coordinates was made for the same polygon (Laikacota sector, parque urbano central, ciudad de La Paz).

The horizontal coordinates of both topographic surveys are close to values defined by the manufacturers and the processing software.

Regarding vertical accuracy, the expected theoretical values were not reached, influencing factors such as the choice of a single flight height for a topography with varied slopes, use of geoid models for the DMT, algorithms not yet consolidated for the determination of DMT digital models of the terrain, possible errors in the M7-245 and LAIK level heights obtained from the Geodetic Network of La Paz.

**KEYWORDS:** Total station, topographic vant-drones, DTM digital models terrain.

## RESUMO

De dois levantamento topográfico, um com uma estação total e o outro usando fotografia aérea fornecida por dois drones, foi feita uma comparação das coordenadas verticais e horizontais para o mesmo polígono (setor Laikacota, parque urbano central, ciudad de La Paz).

As coordenadas horizontais de ambas as pesquisas topográficas estão próximas dos valores definidos pelos fabricantes e pelo software de processamento. Em relação à precisão vertical, os valores teóricos esperados não foram atingidos, influenciando fatores como a escolha de uma única altura de voo para uma topografia com declives variados, uso de modelos geóides para o DMT, algoritmos ainda não consolidados para a determinação de modelos digitais do terreno MDT, possíveis erros nas alturas dos níveis M7-245 e LAIK, obtidos na Rede Geodésica de La Paz.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estação total, Drones panorâmicos topográficos, modelos digitais de terreno MDT.

**History of the article:** Received 01/11/2019. Style review 08/11/2019. Accepted 12/11/2019.

## INTRODUCCIÓN

Una de las aplicaciones que se le está dando a los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT), comúnmente denominados drones<sup>1</sup> es la aerofotogrametría<sup>2</sup> a través de modelos 3D, ortomosaicos y ortofotos.

En consecuencia, el uso de drones para levantamientos topográficos, permite efectuar la siguiente comparación: con la topografía clásica, 100 ha, pueden cubrirse durante tres a cuatro semanas. Sin embargo, utilizando un dron (en este caso el eBee), en 40 minutos se estaría cubriendo esas 100 ha, reduciendo significativamente el tiempo de trabajo y además obteniendo un modelo digital completo de ese terreno en 24 horas.

Si bien la asistencia que prestan los vant-drones, en aerofotogrametría y su aplicación en levantamientos topográficos proporciona ventajas en tiempo, precisión, seguridad industrial, etc. Se observa, que su aplicación puede resultar a veces limitada para estudios que de acuerdo a sus características, necesitan precisiones que solamente un levantamiento topográfico tradicional puede ofrecer.

Por lo tanto, es importante establecer mediante el análisis comparativo las diferencias que puedan existir en coordenadas horizontales y verticales de un terreno, entre los levantamientos obtenidos a través de vant-drones y el topográfico convencional.

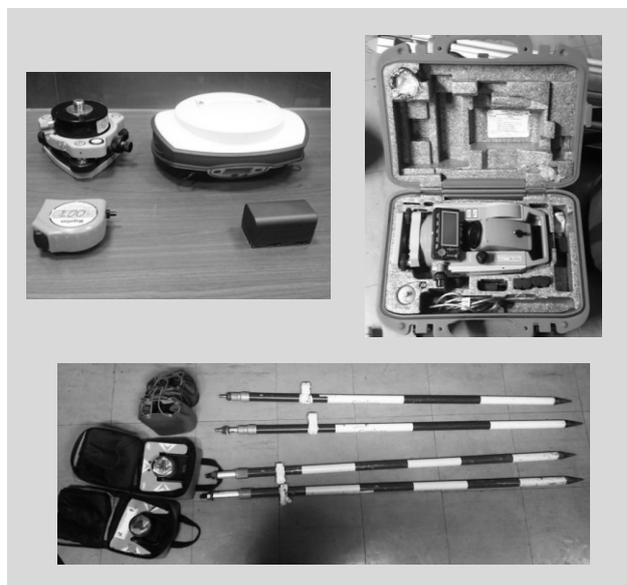
<sup>1</sup> Palabra del idioma inglés que significa zángano y hace referencia al zumbido del aparato.

<sup>2</sup> Obtención de las características métricas, geométricas y topográficas de terrenos fotografiados desde vehículos aéreos.

## DESARROLLO

### 1) Equipos de mensura, Puntos de Apoyo Fotogramétrico PAF y levantamiento con estación total:

- GPS Sokkia simple frecuencia, Mod. Stratus
- GPS Magellan doble frecuencia, Mod.ProMark 500
- 1 Estación Total Sokkia SET 520
- 1 Estación Total Leica TC605
- Trípodes, bases niveladoras, prismas y jalones
- Radio comunicadores portátiles (walkie talkie)



## 2) Software:

- GNSS Solutions 3.50.02 (Ashtech)
- LEICA Geo Office Combinado 7.0.0.0.
- RINEX Converter 4.2.5 (Spectra Trimble Navigation Limited)
- ArcGIS 10.4.1 – ArcMap (ESRI) – 3D Analyst
- Pix4Dmapper Pro, Versión 4.0.25
- Agisoft PhotoScan Professional, Versión 1.2.7

## 3) Información recopilada:

- Imágenes dron multirrotor (Hexacoptero V6 Geon Map), sector Laikacota (Topografía y Geodesia–UMSA)
- Imágenes dron ala fija (eBee senseFly) – sector Laikacota y Miraflores (Empresa Terratec SRL.)
- Fortalecimiento y actualización base catastral y geodésica municipio ciudad de La Paz, Red Geodésica 2013

### Delimitación del área de estudio

Polígono Laikacota, parque urbano central, municipio de nuestra señora de La Paz, Departamento La Paz, estableciendo esta área por la disponibilidad de imágenes eBee de senseFly y multirrotor – Hexacoptero V6 Geon Map.

### Obtención de imágenes aéreas

#### eBee senseFly de ala fija (Terratec SRL<sup>3</sup>.)

##### Característica:

**Fecha de captura:** 31 de marzo 2016  
**Altura media de vuelo:** 236 metros  
**Número de imágenes:** 24 imágenes geolocalizadas  
**Superficie aproximado de recubrimiento:** 0,286 km<sup>2</sup>  
**Resolución en terreno:** 6 cm/pix  
**Resolución de imagen:** 4896 x 3672 píxeles  
**Cámara:** SONY DSC-WX220  
**Distancia focal:** 4 mm  
**Tiempo de exposición:** 1/640 s  
**Velocidad ISO:** ISO-100

#### Multirrotor Hexacoptero V6, empresa Geon Map – materia Fotogrametría<sup>4</sup>

##### Características:

**Fecha de captura:** 09 de diciembre 2016  
**Altura media de vuelo:** 91,8 metros  
**Número de imágenes:** 50 imágenes  
**Superficie aproximado de recubrimiento:** 0,0605 km<sup>2</sup>  
**Resolución en terreno:** 2,17 cm/pix  
**Resolución de imagen:** 6000 x 4000 píxeles  
**Cámara:** SONY ILCE-6000  
**Distancia focal:** 16 mm  
**Tiempo de exposición:** 1/200 s  
**Velocidad ISO:** ISO-100

### Puntos de apoyo fotogramétrico PAF

Se planificó la salida de campo para demarcar los puntos de apoyo fotogramétrico PAF, esenciales para procesar las aerofotografías.

<sup>3</sup> Proveedora de equipos y anexos de Geodesia, Topografía, GIS/Mapping, Hidrometría y Geofísica. Efectúa además levantamientos topográficos asistidos por vant-drones. Al respecto, se gestionó con esta empresa para fines académicos, la utilización de imágenes adquiridas con el dron de ala fija eBee de la línea senseFly, durante su vuelo demostrativo realizado sobre el parque urbano central de la ciudad de La Paz.

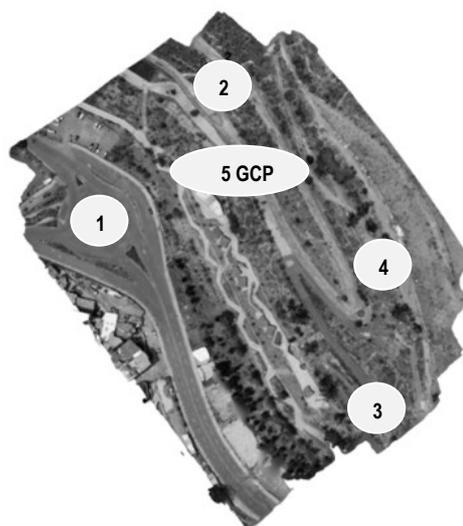
<sup>4</sup> Imágenes tomadas con el dron Hexacoptero - V6, (Geon Map, empresa distribuidora y de servicios Lima, Perú), gentilmente proporcionadas por el docente de la materia de fotogrametría, carrera de Geodesia, Topografía y Geomática, Facultad de Tecnología – UMSA.

## Ubicación PAF

Considerando el carácter demostrativo y promocional de las imágenes, se establecieron los PAF del trabajo fotogramétrico. Efectuando inicialmente el mosaicado preliminar de imágenes obtenidas con el dron V6 de Geon Map, que en comparación con las imágenes del dron eBee de senseFly, recubren en menor superficie el área de estudio, por lo tanto éstas, fijaron el área definitiva de estudio.

Según recomendaciones realizadas por Pix4D<sup>5</sup>, el área de trabajo se considera como una mesa grande, y los puntos de control de tierra GCP, equivalentes en la fotogrametría tradicional a los puntos de apoyo fotogramétrico PAF, deben ser representados como los apoyos que soportan la mesa, por lo tanto, su distribución debe ser uniforme. Además, es necesario un GCP en el centro del área para aumentar aún más la calidad de la reconstrucción<sup>6</sup>, según los siguientes requerimientos:

- Mínimo tres GCP para la reconstrucción.
- De cinco a 10 GCP son suficientes para proyectos grandes. Un mayor número de GCP no incrementa la precisión.
- Para áreas de compleja topografía, un mayor número de GCP, permitiría una reconstrucción más precisa.
- Se recomienda utilizar al menos cinco GCP, cada uno de los cuales se identifica en cinco imágenes, que minimiza las imprecisiones de la medición y ayuda a detectar errores accidentales al insertar los GCP.
- Para que los puntos PAF sean fotos identificables en las imágenes y remarquen una delimitación<sup>7</sup>, se buscaron elementos existentes en el terreno que sean fácilmente observables, que sirvieran de señales o dianas sobre las cuales se determinó la posición GPS, estableciendo cinco puntos de apoyo fotogramétrico lo más coherentes y cercanos a todas las recomendaciones. Ver imagen 1.



Fuente: Imagen producida por V6 de Geon Map y sobre la cual se demarcaron los PAF

**Imagen 1:** Puntos de apoyo fotogramétrico PAF, área de estudio

<sup>5</sup> Software de fotogrametría para mapeo asistido por vant-drones.

<sup>6</sup> Número y distribución GCP, Pix4D Support, 2017 (<https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557489>).

<sup>7</sup> Para este caso se tomaron antes las imágenes y no se pueden marcar en el terreno, tal como es el procedimiento normal y correcto.

**Mensura, procesamiento y ajuste GPS de los PAF**

Para las observaciones, se usó equipos GNSS de simple frecuencia para líneas base hasta 30 km, aplicando el método de medición GPS diferencial en modo estático, de acuerdo a las siguientes condiciones: Sesiones conjuntas de tres y dos receptores GPS (Una Base y tres - dos Rover), con tiempo de medición de una hora.

SESIÓN	HORA INICIO	HORA FINAL
1	13:50	14:50
2	14:55	15:45

**Parámetros básicos para la observación de datos GPS:**  
 Mínimo cinco satélites observados. PDOP y GDOP ≤ 4. Intervalo grabado de datos 15 s. Máscara de elevación 15 grados (ángulo de corte).

**Llenado de planillas GPS para PAF elegidos**

PUNTO DE APOYO FOTOGRAMETRICO (PAF2)				
PROYECTO DIAS "DETERMINACION DE LA VARIACION EN COORDENADAS HORIZONTALES Y VERTICALES, ENTRE LEVANTAMIENTOS TOPOGRAFICOS, MODELOS DIGITALES DE ELEVACION Y PRODUCTOS GENERADOS POR DRONES"				
Nro. DE PUNTO	ALT. INSTRUMENTO(m)	FECHA	SESION	
PAF2	1.477	23/03/17	00	
COORDENADAS GEODESICAS - WGS84		COORDENADAS UTM / ZONA 19 / WGS-84		
LATITUD	LONGITUD	ESTE	NORTE	ALTURA(m)
		993286.00 m E	8175086.00 m S	
IDENTIFICACION DEL PUNTO EN LAS IMÁGENES DIGITALES DSC0117				
IMAGEN DE GOOGLE EARTH		UBICACIÓN EN LA FOTOGRAFIA AEREA		
FOTO PANORAMICA	FOTO DEL PUNTO			
DESCRIPCION				
PARQUE URBANO CENTRAL DE LAIKACOTA				
Hora de inicio de sesión: 13:30		Hora final de sesión: 14:30		

**Procesamiento y ajuste de datos GPS**

1. Estructurar y ordenar archivos de datos provenientes de las observaciones realizadas
2. Transformación de datos crudos a datos RINEX
3. Proceso y ajuste de datos programa GNSS Solutions
4. Generación de los reportes de proceso y ajuste

Estación Base continúa empresa Geosystems ciudad de La Paz.

**Archivo PAF**

Archivo \*.txt, que incluye los campos; identificación del punto, coordenada Este, coordenada Norte y Altura.<sup>8</sup>

<sup>8</sup> Es importante considerar para las alturas que tanto Pix4Dmapper como Agisoft PhotoScan incluyen en sus manuales la recomendación de utilizar alturas elipsoidales:

	Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
1	593287.496	8175088.216	3517.732		
2	593359.172	8175186.420	3553.387		
3	593454.218	8174969.763	3533.753		
4	593455.210	8175064.668	3557.159		
5	593367.891	8175123.583	3538.864		

**Procesamiento imágenes**

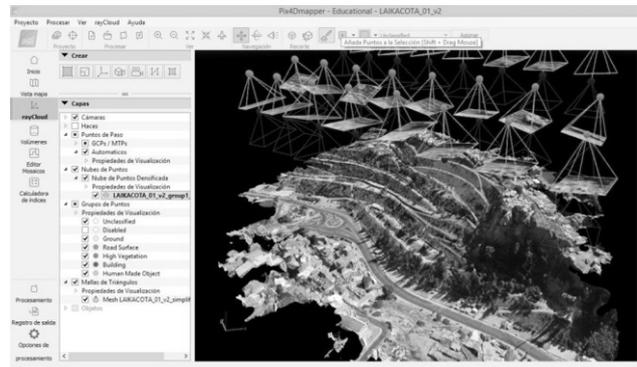
Para el procesamiento de las imágenes provenientes de los vant-drones, se utilizó dos programas especializados:

- Pix4Dmapper Pro, versión 4.0.25
- Agisoft PhotoScan Professional, versión 1.2.7

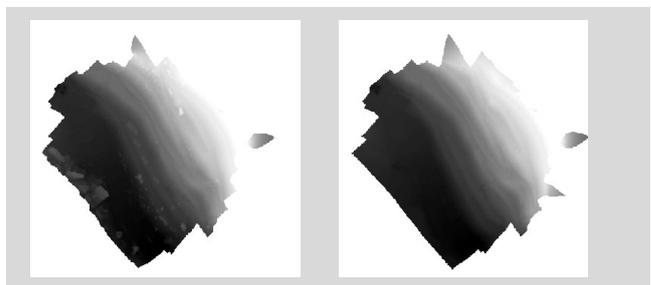
El procesamiento en ambos programas sigue un flujo común de trabajo principal el cual incluye:

- Crear nuevo proyecto, estableciendo sistema de referencia y proyección
- Añadir o almacenar imágenes vant-drones
- Inspección imágenes obtenidas, eliminación imágenes innecesarias
- Orientación o alineación de imágenes
- Construcción de nube de puntos densa
- Construcción de la malla (modelo poligonal 3D)
- Generación de textura
- Construcción de modelo digital de elevación (además de la clasificación de la nube de puntos densa)
- Construcción del ortomosaico
- Exportar resultados finales

**Procesamiento programa Pix4DMapper**



**Imágenes MDS y MDT:**



**Levantamiento topográfico con estación total**

Para determinar las variaciones en cuanto a coordenadas horizontales y verticales de las imágenes obtenidas desde los vant-drones, se realizó un levantamiento topográfico utilizando equipos GPS para el establecimiento de puntos de control horizontal y vertical (estación y referencia), además de la estación total (relleno y determinación de puntos de control):

## Determinación puntos de control horizontal y vertical

Para la determinación de los puntos de control horizontal y vertical se utilizó equipos de doble frecuencia Magellan ProMark 500, determinándose los puntos DR-01 y DR-02 a partir de las estaciones activas del Instituto Geográfico Militar, BLPZ (INGA) y EMIB, método de medición GPS diferencial modo estático, con aplicación de parámetros de observación en cuanto a número de satélites, intervalo de grabación, concluyendo con el procesamiento y ajuste según el programa Leica Geo Office. Para la asignación de alturas niveladas (m.s.n.m), se utilizó la nivelación trigonométrica con estación total, realizando lecturas de ida y vuelta, partiendo del punto M7-245 Red Geodésica del Gobierno Autónomo de La Paz, (cercano a la cinemateca Boliviana), corroborándose las lecturas mediante apoyo del punto LAIK red geodésica sector Laikacota.

## Levantamiento con estación total

Se utilizó el equipo Sokkia Set520, que registró las coordenadas de cada uno de los puntos en detalle, coordenadas PCT<sup>9</sup> puntos control terrestre, establecidos en campos para realizar la verificación y determinación de diferencias de coordenadas.

Los puntos de control y orientación son los determinados por GPS (DR-01 y DR-02), que además sirvieron de: (estación – referencia y viceversa para un cambio de estación.



Levantamiento de puntos de control terrestre PCT

## Modelo digital de elevación

Se generó el archivo shape file (shp) con todos los puntos levantados en la estación total, coordenadas (Este, Norte, Altura nivelada), coordenadas UTM Zona 19, sistema de referencia WGS84. Archivo shape, utilizado para crear el DEM modelo digital del terreno, considerando para cada punto la altura sobre el nivel medio de los mares y la cobertura de superficie TIN<sup>10</sup> a partir de los puntos levantados con estación total (resoluciones espaciales de 5 y 50 cm) módulo 3D Analyst del programa ArcGIS, que sirvió para la comparación con los perfiles topográficos obtenidos desde imágenes vant-drones.

## Análisis de resultados

### a) Variación horizontal, lugares geográficos y puntos de control terrestre

Considera los PCT de la estación total y medidas GPS, determinando así, variaciones en los puntos de control al comparar los ortomosaicos<sup>11</sup> Pix4Dmapper y Agisoft PhotoScan, con la imagen proporcionada por los vant-drones eBee y V6.

<sup>9</sup> Los PCT correspondieron a puntos foto identificables imágenes vant-drones, incluyendo además en las planillas de levantamiento la asignación del número de punto, instrumento utilizado, fecha de mensura, coordenadas en UTM-Z19 WGS84, toma de fotografía panorámica y descripción del punto.

<sup>10</sup> La comunidad SIG ha utilizado las redes irregulares de triángulos (TIN), durante muchos años y son un medio digital para representar la morfología de la superficie. Las TIN son una forma de datos geográficos digitales basados en vectores y se construyen mediante la triangulación de un conjunto de vértices (puntos), ArcGIS 10.0.

<sup>11</sup> Composición de imágenes sin errores geométricos y posibilidad de observación en perspectiva perpendicular. La resolución está entre 2 a 20 cm.píxel<sup>-1</sup>, dependiendo de la altura del vuelo y la elección de escala.

La determinación de variación horizontal en los ortomosaicos con los diferentes puntos de control terrestre PCT por levantamiento en estación total incluyendo además máximos, mínimos y promedios, se presentan en la tabla 1.

**Tabla 1**  
Comparativo de variación horizontal

PROGRAMA	PIX4D	PIX4D	AGISOFT	AGISOFT
DRON	eBee**	V6***	eBee**	V6***
Resolución	5 cm	3 cm	6 cm	3 cm
PCT* 018	23	21	12	20
PCT* 009	21	16	11	16
PCT* 011	21	17	7	16
PCT* 012	12	8	12	5
PCT* 013	5	6	21	7
PCT* 016	9	12	11	11
PCT* 018	19	20	12	19
PCT* 023	10	13	19	11
PCT* 025	11	9	7	10
Valor máx.	23	21	21	20
Valor mín.	5	6	7	5
Promedio	14,6	13,6	12,4	12,8

\* Punto de Control Terrestre, \*\* Ala fija, \*\*\* Multirrotor

El programa Agisoft PhotoScan presenta mejores resultados en comparación con el programa Pix4 Dmapper, explicándose este aspecto por los algoritmos que cada programa utiliza.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados mostrados en la tabla 1, establecen que las coordenadas horizontales en función de los ortomosaicos elegidos son variables. Sin embargo cambia esta condición comparando con el otro ortomosaico, aspecto que puede ser asumido por la disposición de los puntos de apoyo fotogramétrico PAF, (considerando que las áreas extremas siempre tendrán mayor distorsión de procesamiento por lo cual también generan diferencias en cuanto a la precisión horizontal).

Por otra parte, los valores mínimos, máximos y promedios de los PCT, se aproximan al valor teórico para precisiones horizontales, (igual a dos o tres veces la resolución espacial que presenta el ortomosaico, ejemplo: si la resolución es cinco entonces la precisión horizontal deberá estar en el rango de 10 a 15 cm, los cuales son afectados también en su precisión por las características topográficas con un considerable desnivel.

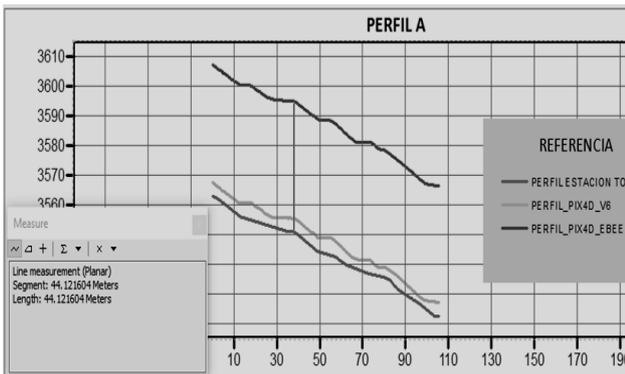
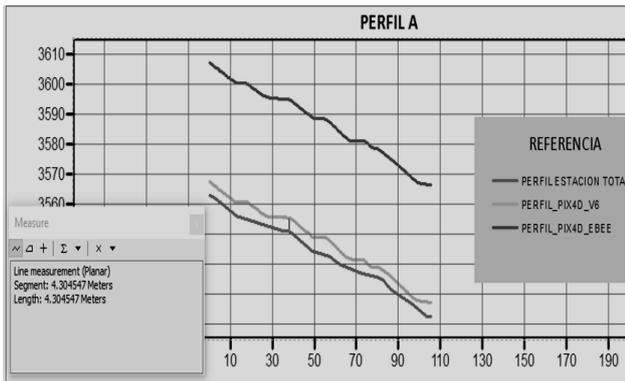
Influyendo también el tipo de levantamiento, que para este caso consideró una misma altura de vuelo, obligando a los programas durante el procesamiento a promediar las resoluciones espaciales, que sin duda, afectan también a la precisión.

### b) Variación vertical, lugares geográficos y puntos de control terrestre

Considerando los modelos digitales del terreno obtenidos mediante el procesamiento de imágenes. Se determinaron dos líneas de corte: Perfil A y B, con diferentes longitudes y dirección, designando el perfil generado mediante el DEM<sup>12</sup> – estación total, como verdadero y que muestra la realidad del terreno, llegando hacer el patrón de comparación.

<sup>12</sup> DEM, modelo digital del terreno

**Comparación y construcción de perfiles**



**Perfil A: Variaciones en altura (ET – Pix4D)**

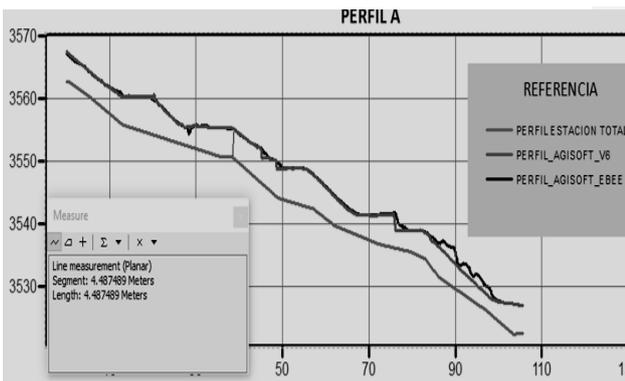
Variación respecto a la ET (m)	eBee	V6
	44,12	4,30

**Análisis:**

Resultados exagerados, por lo cual habrá que considerar el algoritmo de procesamiento que utilizan los programas, siendo que no guarda relación con la precisión teórica vertical, que debería estar entre uno a tres veces la resolución espacial (para el perfil del eBee deberíamos estar aproximadamente entre 15 cm de diferencia considerando que su resolución es de cinco cm).

La variación correspondiente al eBee de 44,12 m, está referida a alturas elipsoidales, siendo que la ondulación geoidal para estas posiciones se aproxima a 45 m, además en el procesamiento se usó imágenes vant-drones con y sin geolocalización.

Por otro lado, es necesario realizar la verificación de las alturas geométricas de los puntos M7-245 y LAIK de la Red Geodésica de La Paz, que fueron considerados para el arrastre de cotas para los puntos de control horizontal y vertical del área de estudio (DR-01 y DR-02), siendo que las campañas de establecimiento de la mencionada red geodésica, en sus versiones 2005 y 2013, fueron observadas en una serie de puntos por inconsistencias de sus coordenadas tanto horizontales como verticales. Posible causa para no alcanzar las precisiones teóricas esperadas.



**Perfil A: Variaciones en altura (ET – AGISOFT)**

Variación respecto a la ET (m)	eBee	V6
	≈ 4,87	≈ 4,87

**Análisis:**

Los perfiles generados con el levantamiento con estación total y las imágenes procesadas por Agisoft PhotoScan, presentan variaciones de altura que están alrededor de 4,87 m, valor que se aproxima con uno de los DEM anteriores procesados con Pix4DMapper.

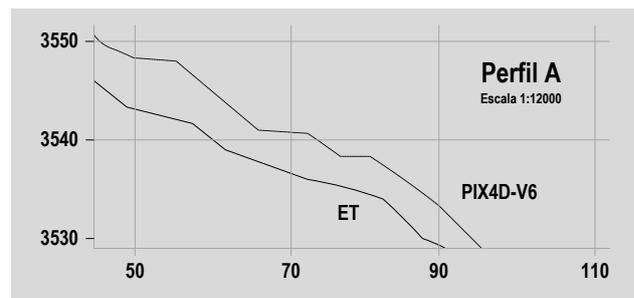
El programa Agisoft PhotoScan utiliza para las alturas el modelo geoidal EGM96, y considerando las observaciones realizadas a algunos puntos de la red geodésica de La Paz.

En consecuencia, esta diferencia respecto al valor teórico puede deberse a la suma de las precisiones del modelo geoidal y una posible inconsistencia de la coordenada vertical de los puntos M7-245 y LAIK.

**Nivel de detalle generado en los perfiles topográficos**

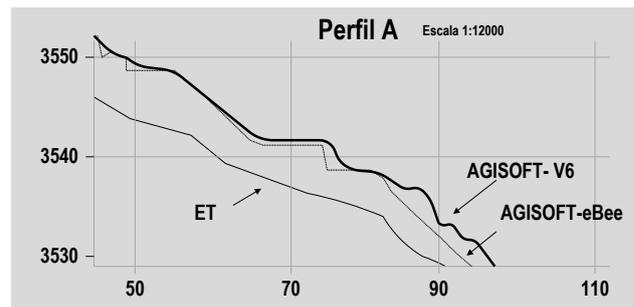
Aprovechando la comparación de perfiles, se procedió a identificar el nivel de detalle que ofrecen los DEM con relación al terreno, generándose los siguientes perfiles comparativos:

**Perfil A, comparación de detalle del terreno ET – Pix4D V6**



Fuente: Elaboración propia.

**Perfil A, comparación detalle del terreno ET – AGISOFT– V6 y ET – AGISOFT– eBee**



Fuente: Elaboración propia.

Los perfiles creados a partir de los modelos de elevación, resultantes del procesamiento con el programa Agisoft PhotoScan ofrecen una mayor precisión en la forma real del terreno.

En este caso, las diferencias de detalle, podrían deberse a los algoritmos propios de los programas, para generar modelo digital del terreno. Al respecto Agisoft PhotoScan tiene su algoritmo de procesamiento total; mientras que Pix4D presenta esta opción en un modo de prueba (Beta). En consecuencia, el procesamiento de las imágenes tomadas con el dron V6 multirrotor, permiten generar un DEM con un mayor detalle del terreno, en comparación a las tomadas por el dron eBee de ala fija.

## CONCLUSIONES

Se determinó las variaciones de coordenadas horizontales y verticales según el siguiente detalle:

- Estación total – DEM generados por vant-drones: 13 cm promedio general (variación horizontal).
- Estación total – DEM generados por vant-drones: 4,5 m promedio general (variación vertical).
- Entre el levantamiento topográfico con estación total ET y levantamiento con vant-drones, hay pequeñas variaciones en las coordenadas horizontales, y se acercan a las coordenadas horizontales establecidas por los fabricantes y el software de procesamiento.
- Respecto a la precisión vertical, no se alcanzan los valores teóricos esperados, pudiendo influir muchos factores como la elección de una sola altura de vuelo para una topografía con variados desniveles, el uso de modelos geoidales para el DEM, algoritmos aun no consolidados para la determinación de modelos digitales del terreno, posibles errores en los valores de coordenadas verticales puntos de control, alturas niveladas M7-245 y LAIK obtenidos desde la Red Geodésica de La Paz.
- Las precisiones horizontales<sup>13</sup> obtenidas con vant-drones, dependerá de la altura de vuelo, resolución espacial de las imágenes, puntos de apoyo fotogramétrico PAF, características topográficas del área levantada y condiciones de nubosidad, viento, clima, etc., durante el vuelo.
- Para obtener coordenadas verticales precisas, los PAF puntos de apoyo fotogramétrico, deben tener cotas niveladas, incrementando significativamente el presupuesto del levantamiento topográfico.
- Por otra parte, en la bibliografía de soporte de los programas Pix4Dmapper y Agisoft PhotoScan, se sugiere la aplicación de alturas elipsoidales para el establecimiento de PAF, y a la vez aplicar modelos geoidales que por sus condiciones de recubrimiento global mantienen un error sistemático de precisión, o cuando el procesamiento pueden generar alturas elipsoidales sin considerar ninguna referencia vertical de algún modelo geoidal.
- Para coordenadas verticales, los vant-drones, pueden ser usados en levantamientos preliminares, generales y de prefactibilidad, y no así, para levantamientos topográficos de diseño, que exigen mayor precisión.
- La aerofotogrametría desde vant-drones ofrece un mayor detalle del terreno, sin embargo, se debe tener cuidado con las precisiones alcanzadas, las

mismas que están en función de una serie de factores a considerar antes de iniciar el levantamiento.

- Finalmente, la investigación efectuada representa un inicio para analizar las variaciones de coordenadas horizontales y verticales dentro del uso de productos generados por vant-drones. Considerando que recién en nuestro medio se van usando estos vehículos en trabajos topográficos, razón por la cual aun no existen normativas concretas para su uso y aplicación competitiva con los levantamientos topográficos georeferenciados estación total, nivel y otros.

## BIBLIOGRAFÍA

Agisoft PhotoScan Help. 2017, Manual de contenidos de ayuda – Utilización de diferentes referencias verticales,

Asociación Española de RPAS – AERPAS, 2017, Tipos de drones aéreos, Madrid – España,

Delgado, J. L., 2005, SIG, Percepción Remota, sistemas de posicionamiento global, La Paz – Bolivia,

Dueñas, J. M., 2009, Topografía técnicas modernas, Lima – Perú,

Drone Spain, Ventajas y desventajas de los drones, AERPAS, Madrid – España,

Fariás, M., 2009, Levantamientos topográficos,

Gutiérrez, J. A., 2016, Trabajos de fotogrametría a pequeña escala, Puno – Perú,

ICGEO, 2017, Seminario virtual: Fotogrametría aérea con UAS/Drones, aplicado a la Topografía, Lima – Perú,

Instituto Geográfico Nacional y Ministerio de Fomento de España, 2011, Apuntes Curso Avanzado de Posicionamiento por Satélite, Madrid – España,

Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015, Norma Técnica Complementaria 001-2015 DCA/DGAC, Lima – Perú,

Ministerio de Transporte e Infraestructura División General de Planificación, 2008, Manual para la revisión de estudios topográficos, Managua – Nicaragua,

Pix4D, 2017, Pix4Dmapper Guía de inicio,

Rodríguez E., CS Morris, JE., Belz, EC., Chapin, JM., Martin, W., 2005, Evaluación de productos topográficos SRTM – Jet Propulsion Laboratory NASA, Pasadena California – USA,

Rubio, S. A., 2015, Uso de drones para topografía, Tecnitop, Madrid – España,

Vera, M. A., 2009, Introducción a la geodesia, Universidad Loyola, La Paz – Bolivia.

<sup>13</sup> Por sus precisiones, los levantamientos topográficos apoyado con vant-drones pueden ser utilizados en: actualización cartográfica, catastro rural y delimitación de linderos, generación de topografía tridimensional, inventarios de carreteras, cálculo de volúmenes, levantamiento de parcelas agrícolas, forestales y ganaderas, actualización catastral urbana, levantamientos para cálculos de avance en la construcción de vías, etc. Considerando además, que el levantamiento con vant-drones permite obtener grandes detalles de la superficie topográfica representada por los miles de puntos levantados, en comparación de unos cientos de la topografía convencional.

(\*) Licenciado en Topografía y Geodesia, MSc. Ciencias Geomáticas aplicadas a la Gestión Territorial, Recursos Naturales y Medio Ambiente. Docente Investigador Centro de Investigaciones y Aplicaciones Geomáticas CIAG – Carrera de Topografía y Geodesia, Facultad de Tecnología – UMSA.