



Fotogrametría en la generación del modelo digital de un terreno mediante drones

Photogrammetry in the generation of the digital model of a terrain using drones

Fotogrametria na geração de um modelo de terreno digital utilizando drones

Alejandro Martínez Taboada

alejandro.mt93@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-3030-8965>

Universidad del Valle, Sucre - Bolivia

Artículo recibido el 29 de septiembre 2021 / Aceptado el 28 de octubre 2021 / Publicado el 26 de enero 2022

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es aplicar la fotogrametría en la generación del modelo digital de un terreno mediante vehículos aéreos no tripulados, en Bolivia, para una planta de tratamiento de aguas residuales. El plan de vuelo se realiza con GNSS, las fotografías fueron tomadas por un dron DJI Inspire 1, el post proceso de datos fue en Agisoft Metashape y la vectorización en AutoCAD 2018. Se orientaron 448 fotografías, la diferencia de alturas entre el matadero de COPROCACH LTDA y la planta de tratamiento de aguas residuales es 183.16 metros; con un error total de 12.9924 mm. El trabajo cumple con los parámetros de calidad de fotogrametría, se concluye que las nuevas técnicas y software permiten obtener curvas de nivel a cualquier intervalo y cota. Asimismo, el uso de receptores RTK es un complemento de la técnica que ayuda a compensar sus propias deficiencias.

Palabras clave: Fotogrametría; Modelo digital; Terreno; Modelación; Técnica

ABSTRACT

The objective of this research was to apply photogrammetry in the generation of a digital terrain model using unmanned aerial vehicles, in Bolivia, for a wastewater treatment plant. The flight plan was made with GNSS, the photographs were taken by a DJI Inspire 1 drone, the data post-processing was in Agisoft Metashape and the vectorization in AutoCAD 2018. 448 photographs were oriented, the difference in heights between the COPROCACH slaughterhouse LTDA and the wastewater treatment plant is 183.16 meters: with a total error of 12.9924 mm. The work complies with the photogrammetry quality parameters, it is concluded that the new techniques and software allow obtaining contour lines at any interval and elevation. Also, the use of RTK receivers is a complement to the technique that helps to compensate for its own deficiencies.

Key words: Photogrammetry; Digital model; Land; Modeling; Technique

RESUMO

O objetivo desta investigação é aplicar a fotogrametria na geração de um modelo de terreno digital utilizando veículos aéreos não tripulados na Bolívia para uma estação de tratamento de águas residuais. O plano de voo é feito com GNSS, as fotografias foram tiradas por um dron DJI Inspire 1, o pós-processamento de dados foi em Agisoft Metashape e a vectorização em AutoCAD 2018. 448 fotografias foram orientadas, a diferença de alturas entre o matadouro da COPROCACH LTDA e a estação de tratamento de águas residuais é de 183,16 metros; com um erro total de 12,9924 mm. O trabalho obedece aos parâmetros de qualidade da fotogrametria, conclui-se que as novas técnicas e software permitem obter linhas de contorno em qualquer intervalo e elevação. Além disso, a utilização de receptores RTK é um complemento à técnica que ajuda a compensar as suas próprias deficiências.

Palavras-chave: Fotogrametria; Modelo digital; Terreno; Modelação; Técnica; Fotogrametria; Fotogrametria; Modelação digital

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el avance tecnológico ha aumentado a una velocidad vertiginosa. Muchos son los campos beneficiados, entre ellos la ingeniería y por consiguiente el desarrollo de maquinaria, técnicas y herramientas que facilitan el trabajo (OACI, 2019). Los vehículos aéreos no tripulados (UAV, por sus siglas en inglés) más conocidos como drones, se presentan como una alternativa interesante para llevar a cabo levantamientos topográficos mediante la técnica fotogramétrica (Quirós, 2014; Fenercom, 2015).

El uso de drones permite la toma de fotografías aéreas georreferenciadas que sirven para la creación de modelos digitales de terrenos y la representación cartográfica de éstos (OACI, 2019). Este progreso en la forma de obtener fotografías aéreas, sumado al desarrollo de los programas informáticos, permite que la fotogrametría, técnica utilizada desde hace varias décadas, se adapte a la era digital y facilite el trabajo del profesional (Santamaría, 2011).

Sobre todo, se ha popularizado el uso de los sistemas de posicionamiento por satélite, permitiendo que en la actualidad la toma de información en el campo sea cada vez más fácil, segura y genere resultados de mayor calidad en cuanto a la certidumbre de los datos recolectados, así como a que esta recolección masiva de información permita representar en los planos situaciones más fidedignas de un terreno.

En algunos países, entre ellos Bolivia, aún se realizan mediciones con equipos

topográficos convencionales, las jornadas de los levantamientos son largas, requieren de varias personas para su ejecución y pueden presentar situaciones donde el acceso de los topógrafos a los sitios donde se realizará la medición supone riesgos (Vallejos, 2017). Esto supone un problema, pues la importancia de los datos obtenidos a partir de los levantamientos topográficos es notable en la formulación y ejecución de proyectos y existe la necesidad que la obtención de datos confiables en el menor tiempo posible. Otro problema de las técnicas tradicionales es el costo, tanto en la etapa de campo como en la de gabinete, esto a raíz del desplazamiento de personal técnico a campo, así como el personal que realizará el procesamiento (McComarc, 2004).

Frente a esta problemática, el objetivo de esta investigación fue aplicar la fotogrametría en la generación del modelo digital del terreno mediante vehículos aéreos no tripulados. El estudio se desarrolló en Bolivia, para la planta de tratamiento de aguas residuales COPROCACH del municipio de Sucre, ciudad capital del departamento de Chuquisaca. Se presenta en este documento la fundamentación teórica necesaria para la comprensión de la técnica, además de la descripción detallada del proceso de su aplicación, desde la planificación hasta la presentación de resultados.

METODOLOGÍA

El diseño metodológico se desarrolla bajo el paradigma positivista, con alcance aplicado. El procedimiento consiste en: (1) Revisión del soporte científico; (2) Reconocimiento del

terreno; (3) Plan de vuelo mediante imágenes satelitales. (4) Levantamiento topográfico. El soporte científico se basó en: Jiménez (2007); Agisoft. (2019); Anderson (1988); Franquet y Querol (2010); Jiménez (2007). Los manuales consultados fueron: Manual de Pix4D (2019); Agisoft. (2019); DJI (2016).

El reconocimiento del terreno implica una evaluación visual de posibles obstáculos tales como torres de energía eléctrica y diferencia de alturas significativas en las montañas del entorno. El plan de vuelo a su vez requirió aplicar los siguientes pasos: (a) Puntos de control con GNSS RTK; (b) Vuelo con dron y adquisición de fotografías; (c) Post proceso de datos en Agisoft Metashape; (d) Control de calidad; (e) Informe de procesamiento de productos finales a partir del levantamiento fotogramétrico, mediante vectorización en AutoCAD 2018.

Para determinar los puntos de control se require de sistemas globales de navegación por satélites, los usados fueron: GPS. - Sistema estadounidense; GLONASS - Sistema ruso y; GALILEO. - Sistema europeo. La obtención de los datos se realizó con el equipo Topcon GR-5 (en modo de trabajo RTK), debido a las precisiones centimétricas que ofrece. El equipo utilizado está compuesto por una base, un rover, el colector de datos y los accesorios. Asimismo, se usó un *drone DJI Inspire 1* para el levantamiento fotogramétrico.

Se realizaron iteraciones de vuelo hasta obtener un resultado aceptable de por lo menos GSD de 5 cm/pix; a una altura de vuelo de 120; plan de adquisición tipo rejilla; traslape de 90% frontal y 80% transversal, referido a la

dimensión vertical de la fotografía (debido a las limitaciones de la aplicación); tiempo de vuelo no mayor a 11 minutos.

Las fórmulas que se aplicaron fueron las siguientes:

Ecuación 1: Distancia cubierta

$$d = \text{Ancho}_{\text{imagen}} \times \text{GSD}$$

Ecuación 2: GSD

$$\text{GSD} = \frac{H \times Sw \times 100}{fc \times \text{Ancho}_{\text{imagen}}}$$

Ecuación 3: Recubrimiento longitudinal

$$B = \text{Alto de foto}(1 - p) = \text{Alto de foto}\left(1 - \frac{p\%}{100}\right)$$

Dónde: p% = Recubrimiento longitudinal expresado en porcentaje.

Ecuación 4: Porcentaje de carga útil consumido durante la misión

$$P_B = \frac{t_P}{\left(\frac{t_{M\acute{a}x}}{N_{m\acute{a}x}}\right) \times N_{\acute{u}til}}$$

PB: Porcentaje de carga útil consumido durante la misión (%).

tP: Tiempo de Vuelo Propuesto (min)

tMáx: Tiempo de Vuelo Máximo (min)

NMáx: Nivel de la batería Máximo (%)

NÚtil: Nivel de la batería Útil (Nivel Real – 20%) (%)

RESULTADOS

Reconocimiento del terreno

La zona en estudio fue Khora Khora, ubicada en el distrito 6 del municipio de Sucre, provincia Oropeza, departamento de Chuquisaca (Bolivia). A 7 km de la zona de Rumi Rumi, Salida a Tarabuco, con coordenadas UTM: Norte 7888356.496; Este 266520.931; Elevación 2925 msnm. Zona definida por serranías bajas y colinas de suaves ondulaciones que combinan con planicies de cumbre o altas. Los suelos del área de emplazamiento se caracterizan por ser mayormente rocosos, con poca actividad agrícola. La pendiente superior es más plana, mayor profundidad y capa arable predispuesta al cultivo. Suelos poco profundos con débil a moderada pedogénesis, estructuralmente poco desarrollados, en bloques subangulares de clases finas, con una consistencia ligeramente adherente y plástica en mojado, muy friable en húmedo y blanda en seco y cuyas características físicas están relacionadas con la clase textural y contenido de grava y piedra.

Las cimas de la serranía son subredondeadas y elongadas, con algunas áreas de cultivo, que mayormente son a secano. Las cimas están cubiertas por gramíneas en macollo con poca sinusia arbustiva, en partes producen maíz y trigo para subsistencia. En general el área antrópica se halla en las pendientes superiores y cimas con cultivos a secano. Taxonómicamente los suelos de los piedemontes están clasificados como: *Litic Ustorthent* y *Typic Ustochrept*. Los de las pendientes inferiores están representados

en el subgrupo de: *Litic Ustorthent*. Los de las pendientes medias, taxonómicamente, se hallan clasificados como: *Litic Ustorthent* y *Typic Ustochrept*. Finalmente, los suelos de las pendientes superiores y de las cimas, se hallan clasificados como: *Litic Ustorthent*. El Matadero se halla emplazado entre la pendiente superior y la cima de la serranía media.

Según el análisis geológico: el área tiene sedimentos de edad ordovícica y sedimentos sueltos del Cuaternario. El ordovícico que constituye la parte estratigráfica basal, está conformada por una serie de lutitas y limolitas amarillo verdosas en superficie fresca a pardo amarillentas cuando están meteorizadas, ligeramente friables, algo micáceas, a las que suprayace otro horizonte lutítico amarillo verdoso, intercalado con limolitas de tonalidad similar, con estratificación en bancos delgados, intercaladas con areniscas verde grisáceas en frescas y verde amarillentas cuando están alteradas, con granulometría fina a media.

Todo el material suelto o escasamente consolidado que se encuentra formando la cubierta sobre las rocas ordovícicas, constituyen los sedimentos cuaternarios, presentándose los siguientes tipos de material: (a) Los depósitos aluviales, originados en las partes altas del paisaje y depositados en la parte inferior de los mismos por acción de la gravedad. El material está conformado por gravas y guijarros de formas semiredondeadas a subredondeadas; (b) Los depósitos aluviales que han sido acumulados por el desarrollo de las pequeñas quebradas transversales que fluyen en él; (c) Litológicamente se hallan

conformados por arenas, limos y arcillas de formas subangulares, debido al escaso transporte que han tenido; (d) El cuadro tectónico está constituido por pliegues pequeños y por fallas locales, y hacia el Este del área de estudio, se presentan fallas inversas de mayor desarrollo y longitud.

Plan de vuelo

Se calcula la altura de vuelo según la ecuación del GSD, para lo que se hicieron iteraciones hasta obtener un resultado aceptable (GSD de por lo menos 5 cm/pix).

Ecuación 2

$$GSD = \frac{120m \times 6.31748mm \times 100cm/m}{3.61mm \times 4000px} = 5.2499 \text{ cm/pix}$$

Se seleccionó una altura de vuelo de 120 m por posibles variaciones con un GSD estimado de 5,25 cm/pix; plan de adquisición.

Se determinó el tiempo de vuelo con la ecuación 5.

Ecuación 5

$$\left(\frac{T_{M\acute{a}x}}{N_{M\acute{a}x}}\right) \times N_{\acute{u}til} = \left(\frac{18min}{100\%}\right) \times 80\% = 14.4min$$

Se determina el porcentaje del nivel útil de batería.

Ecuación 4

$$P_B = \frac{T_p}{\frac{T_{M\acute{a}x}}{N_{M\acute{a}x}} \times N_{\acute{u}til}} = 100\% = \frac{11min}{\frac{18min}{100\%} \times 80\%} \times 100\% = 76.39\%$$

En consecuencia, se realizaron 3 vuelos para poder cubrir toda la zona. Asimismo, se definió una proporción de 4:3 para cada misión. El modelo básico de cada misión fue definido a partir de las siguientes ecuaciones:

Ecuación 1

$$\text{Ancho de foto} = 4000px \times 5.2499 \frac{cm}{pix} = 209.99m$$

$$\text{Alto de foto} = 3000px \times 5.2499 \frac{cm}{pix} = 157.49m$$

Ecuación 3

$$B = S1 \left(1 - \frac{p\%}{100}\right) = 157.49 \left(1 - \frac{90}{100}\right) = 15.749m$$

Por limitante de Pix4D Capture.

$$A = 2 \times B = 2(15.749) = 31.498 \text{ m}$$

En la Figura 1 se esquematiza el modelo básico para la misión de vuelo y los elementos que la definen. Siendo: M-1 = Misión uno, M-2 = Misión dos, M-3 = Misión tres

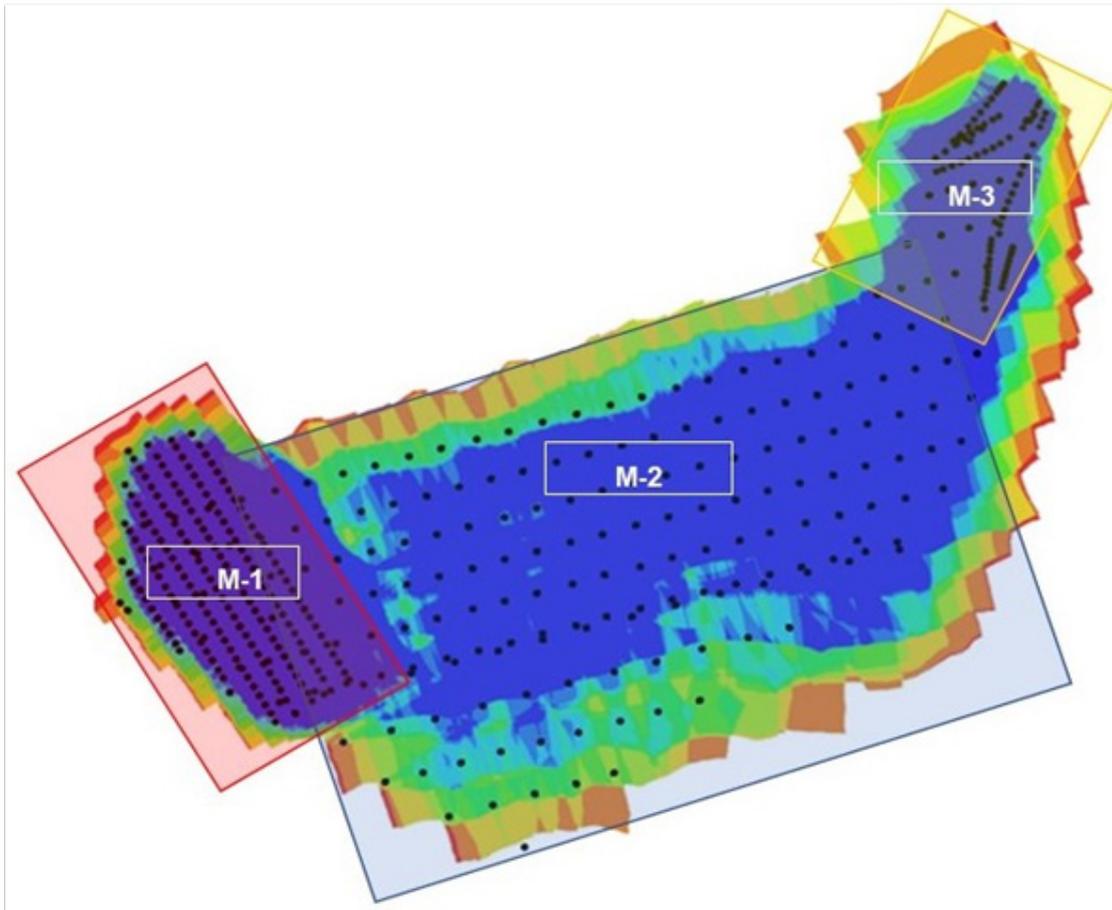


Figura 1. Distribución de misiones de vuelo.

Las misiones se desarrollaron en el transcurso de dos (2) día de trabajo, considerando horas útiles de vuelo (altura del sol sobre el horizonte, función de la latitud, de la fecha y la hora). Las tres (3) misiones se ejecutarán de forma autónoma (preprogramadas), el plan de vuelo queda definido por: recubrimiento transversal = 26,678 m; recubrimiento longitudinal= 13,339 m; escala final de la fotografía aérea horizontal = 209,99 m; escala final de la fotografía aérea vertical = 157,49 m; traslape transversal= 80%; traslape longitudinal = 90%; velocidad de vuelo = 13,0 m/s; distancia focal = 3,61 mm.

Las misiones se desarrollaron en el transcurso de dos (2) día de trabajo, considerando horas útiles de vuelo (altura del sol sobre el horizonte, función de la latitud, de la fecha y la hora). La adquisición de las fotografías implica las siguientes actividades; preparación del equipo, movilización a la zona de despegue y aterrizaje, procedimientos de seguridad necesarios para realizar la actividad, procesos de calibración y ajustes básicos de la cámara.

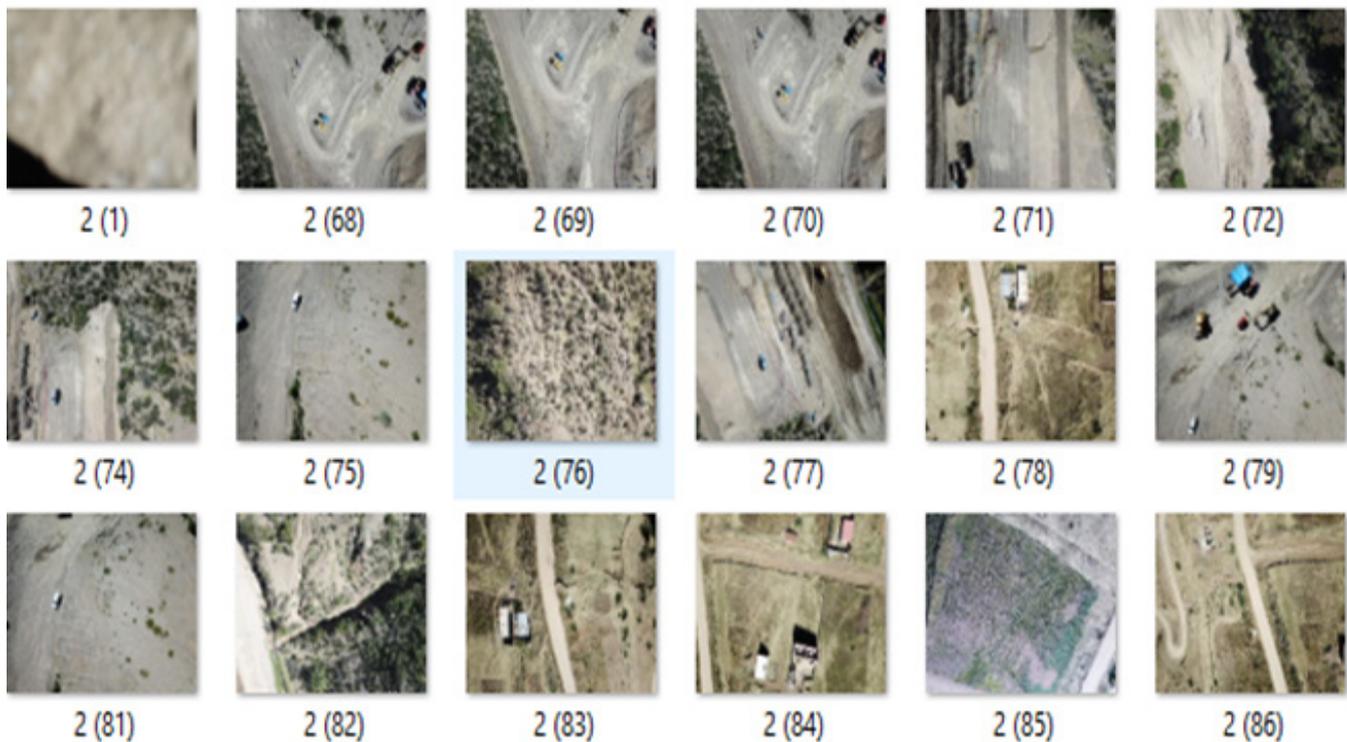


Figura 2. Fotografías obtenidas del área de estudio.

Habiendo obtenido las imágenes presentadas en la Figura 2, se procede al procesamiento de datos. Mediante el uso del software Agisoft Metashape construye un modelo 3D con textura. Se trabaja con un estándar de 5 m en posición horizontal y de 10 m en la vertical. Se selecciona como sistema

de coordenadas de salida y de los puntos de apoyo terrestre WGS84 / UTM zona 20S, proyección UTM, que usa el elipsoide WGS84 como modelo base. En la Figura 3 se presenta la nube de puntos densa generada para el proyecto.

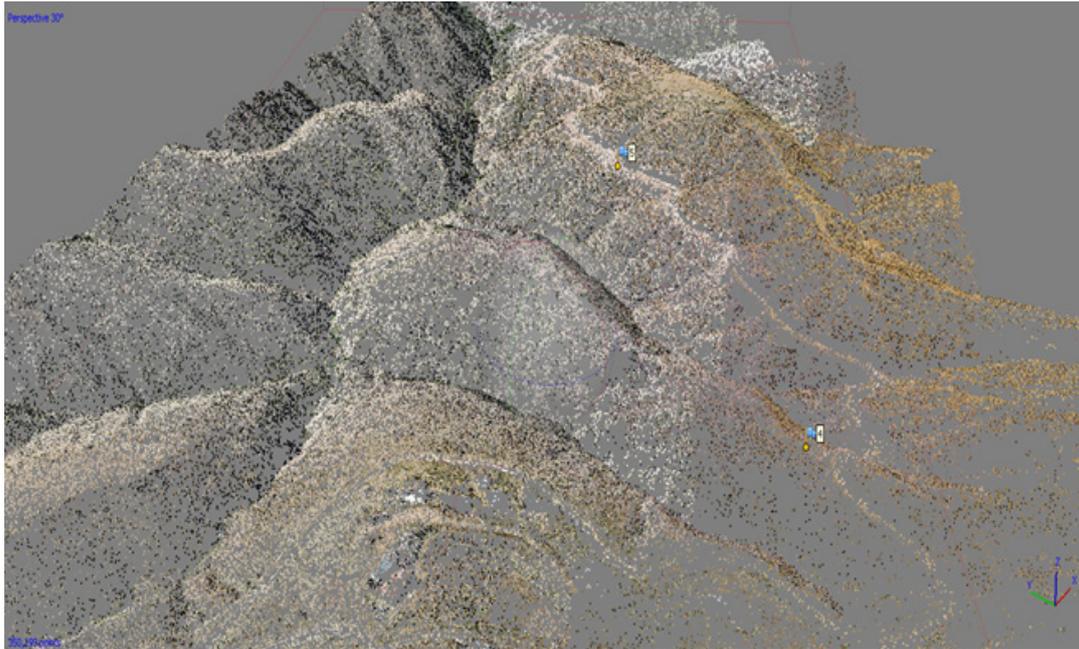


Figura 3. Nube de puntos densa

Una vez generada la nube de puntos densa se ubicaron los puntos de control de manera visual con banderines en el software Agisoft Metashape. La cantidad de puntos fue 45,206,557, con tres (3) bandas de colores.

Asimismo, los parámetros de reconstrucción fueron: cantidad media; filtrado de profundidad agresivo; tiempo de generación de mapas de profundidad 52 min y 35 s.



Figura 4. Distribución de puntos de control en el proyecto.

Como se observa en la Figura 3, una vez ubicados los puntos de control se generarán banderines de color azul. Posteriormente se posicionó de manera manual los banderines generados en cada foto que contenga puntos de control de manera visual, obteniendo así la posición correcta. Posteriormente, se procedió a la vectorización en ortomosaico, para así extraer información topográfica y conocer

a detalle los componentes del terreno (ver Figura 5). Los parámetros fueron: tamaño 36,007 x 32,419; sistema de coordenadas WGS 84 / UTM zone 20S (EPSG:32720); tres (3) bandas de colores, unit8. Los parámetros de reconstrucción fueron: modo mezcla mosaico; superficie modelo digital de elevaciones; si se realizó el relleno de agujeros; el procesamiento duró 17 min y 40 s.



Figura 5. Vectorización en AutoCAD a partir del ortomosaico.

En la Figura 5 se observa la vectorización del ortomosaico en AutoCAD 2018

Control de calidad de resultados

El informe de resultados del proyecto muestra un resumen de las características del proyecto, vistas del ortomosaico y el DSM, y detalles de la calibración y geolocalización de las imágenes, entre otros. Es importante revisar los resultados prestando atención a los

parámetros de control de calidad, que son los siguientes.

Imágenes, una marca de verificación verde indica que las imágenes tienen suficiente contenido visual para ser procesadas. Una advertencia amarilla o roja indica que no hay mucho contenido visual que podría ser extraído de las imágenes. Esto puede conducir a un bajo número de coincidencias en las

imágenes y una reconstrucción incompleta o resultados de baja calidad.

Conjunto de datos, una marca de verificación verde indica que más del 95% de las imágenes habilitadas fueron calibradas en un bloque. Una advertencia amarilla indica que entre el 60% y el 95% de las imágenes habilitadas fueron calibradas o que más del 95% de las imágenes habilitadas fueron calibradas en varios bloques. Una advertencia roja indica que menos del 60% de las imágenes habilitadas fueron calibradas.

Optimización de la cámara, una marca de verificación verde indica en lentes con control de perspectiva que el porcentaje de la diferencia entre la longitud focal inicial y la optimizada es menor que 5%, mientras que en lentes de ojo de pez indica que el porcentaje de diferencia entre los parámetros iniciales y optimizados de transformación afines a C y F es menor que 5%. Una advertencia en color amarillo indica que el porcentaje de diferencia entre los parámetros mencionados anteriormente se encuentra entre 5% y 20%, mientras que una advertencia en color rojo indica que este valor es mayor que el 20%, lo que produce un error en el procesamiento.

Pareo, una marca de verificación en color verde indica que los resultados son susceptibles a ser de alta calidad en las áreas calibradas. Una señal de advertencia en color amarillo o rojo indica un bajo número de pareos entre las imágenes calibradas, lo que indica que los resultados podrían no ser muy fiables.

Georreferenciación, una marca de verificación en color verde indica que han sido usados Puntos de control y el error de estos es menor que el GSD promedio. Una advertencia en color amarillo indica que se han usado Puntos de control con un error menor a dos veces el GSD promedio o que no han sido usados Puntos de control en el proyecto. Una advertencia en color rojo indica que han sido usados Puntos de control, pero su error es mayor que dos veces el GSD promedio.

Informe fotogramétrico de planta de tratamiento de aguas residuales COPROCACH LTDA.

A continuación, se presentan los datos del levantamiento. En la Figura 6 se observa las posiciones de las cámaras y el solapamiento de imágenes.

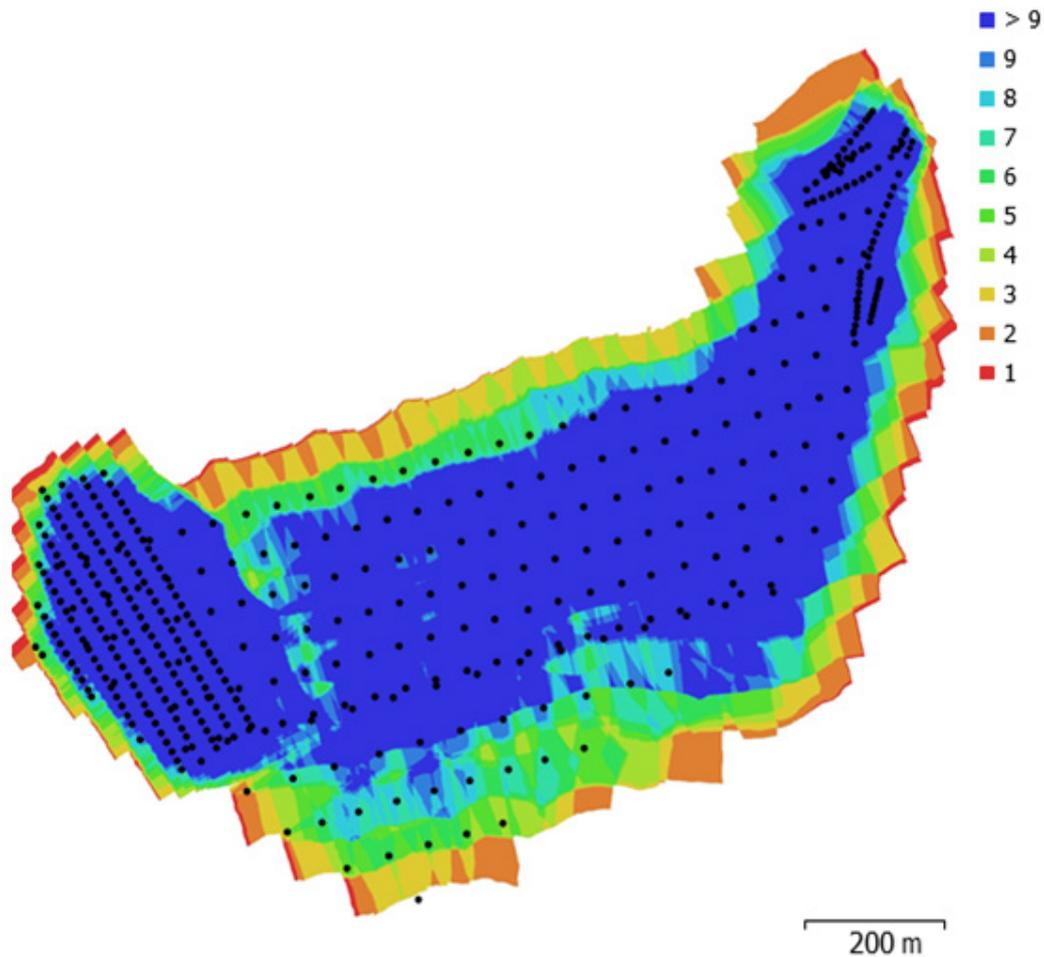


Figura 6. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

El resumen del vuelo con dron es el siguiente: 449 imágenes; 120 m de altitud media de vuelo; 5.25 cm/pix de resolución en terreno; 0.813 km² superficie cubierta; 448 posiciones de cámara; 350,199 puntos de enlace; 1,710,093 proyecciones; se considera un 1,84 pix error de reproyección. Dichos

parámetros corresponden a las siguientes características técnicas del dron usado: modelo de cámara FC350 (3.61mm); 4000 x 3000 de resolución; 3.61 mm distancia focal; 1.56 x 1.56 micras de tamaño de píxel; no precalibrada. La calibración de la cámara fue graficada según se muestra en la Figura 7.

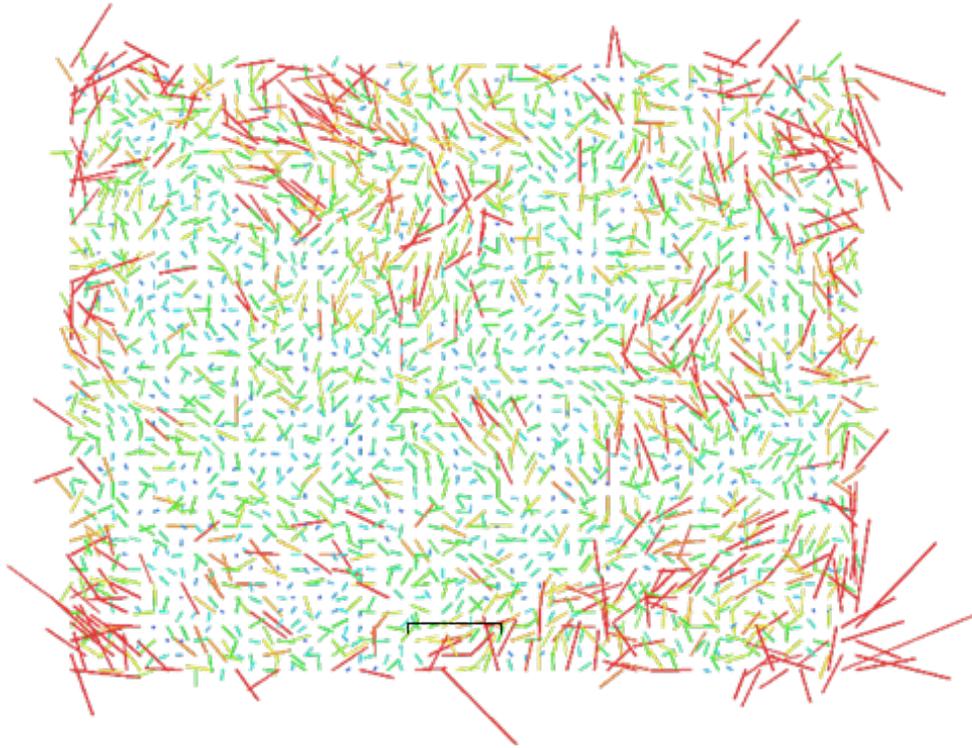


Figura 7. Gráfico de calibración residuales para FC350 (3,61 mm).

Los coeficientes de calibración y matriz de correlación se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

	Valor	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
F	2326.33	0.63	1.00	0.32	0.21	-0.11	-0.05	-0.33	0.23	-0.15	0.14	-0.08	0.01
Cx	-30.1613	0.11		1.00	-0.08	-0.05	-0.07	-0.11	0.08	-0.06	0.06	0.46	-0.03
Cy	-7.67073	0.087			1.00	0.11	-0.07	-0.01	-0.01	0.03	-0.03	-0.06	0.48
B1	0.686978	0.057				1.00	-0.08	0.02	-0.02	0.01	-0.01	-0.04	-0.05
B2	-3.98312	0.052					1.00	0.01	0.00	-0.01	0.01	0.04	-0.05
K1	-0.134767	0.00036						1.00	-0.97	0.92	-0.88	-0.00	0.04
K2	0.122362	0.0012							1.00	-0.99	0.96	0.01	-0.04
K3	-0.0358586	0.0016								1.00	-0.99	-0.02	0.04
K4	0.0106699	0.00069									1.00	0.02	-0.03
P1	0.000335945	1.3e-05										1.00	0.01
P2	6.88586e-05	1.2e-05											1.00

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY. Posiciones estimadas de puntos

de apoyo se indican con los puntos negros, puntos de control - con cruzamiento.

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Nombre	Error X (mm)	Error Y (mm)	Error Z (mm)	T otal (mm)	Imagen (pix)
1	16.3456	-6.88078	-2.76648	17.9493	0.405 (21)
2	-24.2128	-6.59259	4.12809	25.4315	0.393 (22)
3	1.88828	13.6224	-0.859627	13.7795	0.385 (20)
4	1.19457	2.94906	-1.43909	3.49213	0.155 (8)
5	6.47653	-2.5513	0.606183	6.98727	0.295 (12)
6	0.282725	-4.54238	2.21315	5.06075	0.597 (24)
7	-4.1976	-7.06691	3.17117	8.81007	0.987 (18)
8	-5.76922	-3.29646	-6.91686	9.59133	1.163 (16)
9	-6.57987	7.39723	0.408535	9.90861	1.019 (11)
10	-3.75781	12.7311	-1.77604	13.3924	1.317 (12)
11	2.00829	0.71288	1.94331	2.88407	0.650 (13)
12	16.877	-6.10896	1.60785	18.0205	0.592 (19)
T otal	10.3989	7.23217	2.89183	12.9924	0.725

En cuanto a los puntos de control terrestres, las posiciones de puntos de apoyo y estimaciones de errores se presentan en la Figura 8.

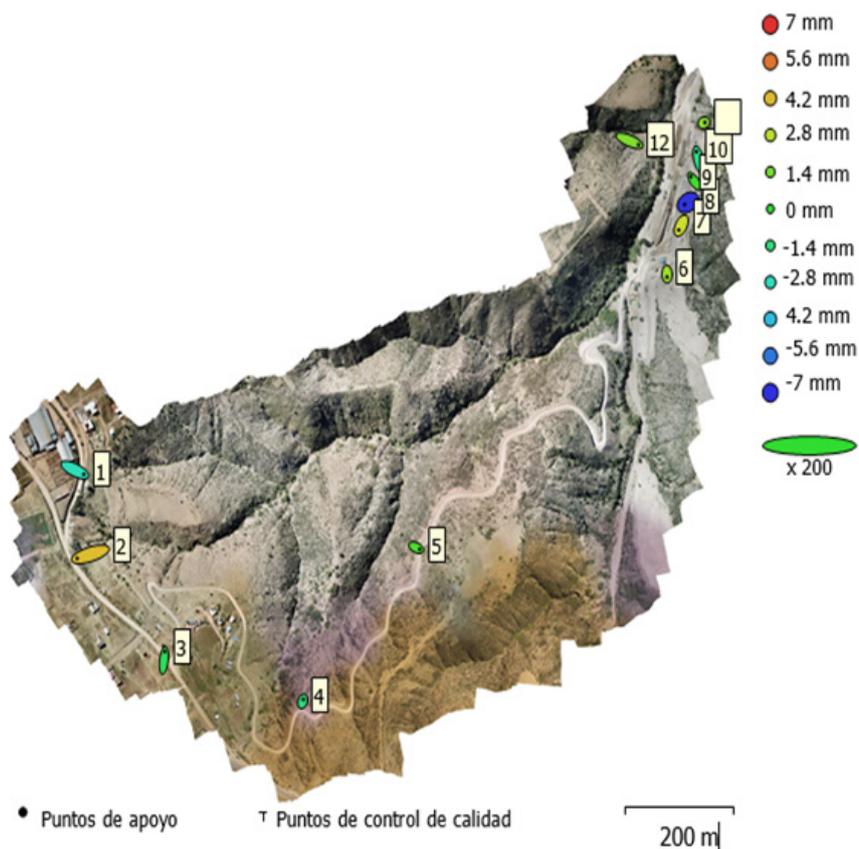


Figura 8. Posiciones de puntos de apoyo y estimaciones de errores.

En cuanto al modelo digital de elevaciones, la Figura 9 permite visualizar la degradación de colores generada. Asimismo, esta misma

figura muestra las curvas de nivel en cada metro.

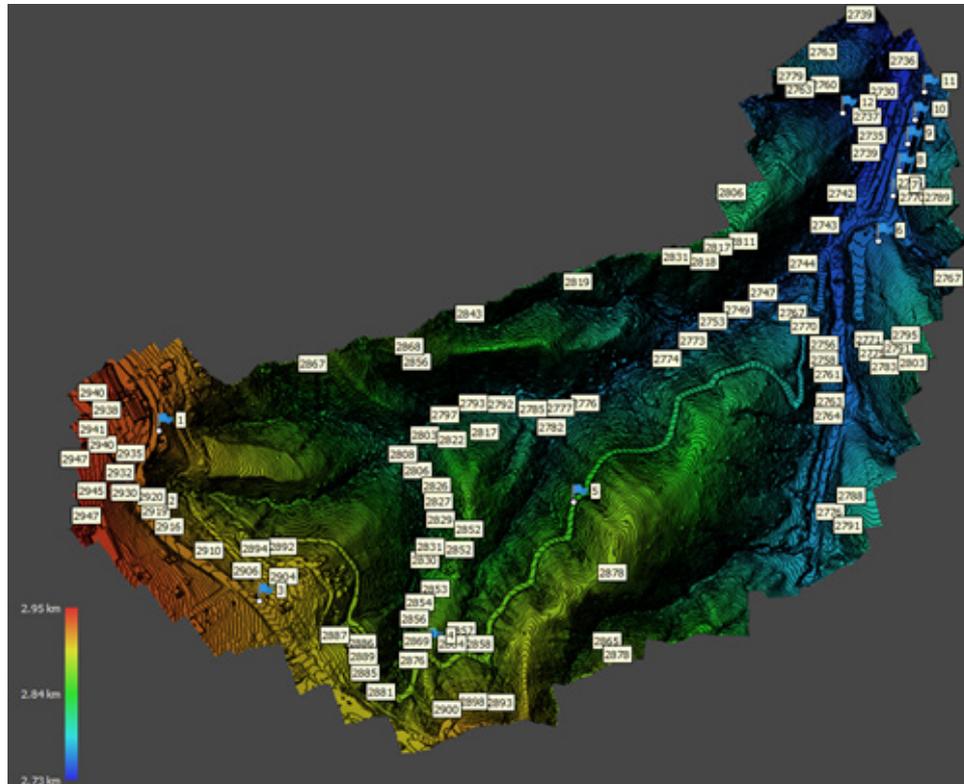


Figura 9. Modelo digital de elevaciones (DEM) y curvas de nivel en cada metro.

Finalmente, en la Figura 10 se presenta el modelado 3D de la malla.



Figura 10. Modelado 3D (malla).

Los resultados se sintetizan según de la siguiente manera: (a) En el levantamiento fotogramétrico se obtuvo un GSD o resolución espacial por píxel de 5.25 cm, curvas de nivel de la superficie en las zonas descubiertas de vegetación y un ortomosaico actualizado del terreno de COPROCACH LTDA, cubriendo un área de 81.3000 hectáreas, cumpliendo los objetivos propuestos en el estudio; (b) Se obtuvieron un total de 449 fotografías de las cuales se orientaron correctamente 448; (c) La diferencia de alturas obtenidas del DEM entre el matadero de COPROCACH LTDA es de 2929.096 msnm y la planta de tratamiento de aguas residuales se encuentra a 2745.936 msnm cuya diferencia es de 183.16 m; (d) Siendo que, en el flujo de trabajo fotogramétrico se necesita del apoyo terrestre para mejorar los resultados, el uso de GNSS RTK se convierte en un complemento de la técnica que apoya en ellas para compensar sus propias deficiencias.

A continuación (e) El área cubierta por las fotografías debe ser mayor al área de interés, ya que el ortomosaico tiende a deformarse en los extremos; (f) El error total es muy bajo de (12.9924 mm) por lo tanto se puede definir que el trabajo se realizó de manera correcta y cumple con los parámetros de calidad de fotogrametría; (g) Las nuevas técnicas y software permiten obtener curvas de nivel a cualquier intervalo y cota; (h) El error total entre los resultados fotogramétricos y los puntos de control obtenidos con receptor RTK es de (12,99 mm) por lo tanto se puede definir que el trabajo cumple con los parámetros de calidad de fotogrametría;

(i) El uso de receptores RTK se convierte en un complemento de la técnica que ayuda a compensar sus propias deficiencias.

CONCLUSIONES

Se aplicó la fotogrametría aérea digital a través de drones en levantamientos fotogramétricos que permitieron crear modelos digitales del terreno y la representación cartográfica de este. Este progreso apoyado programas informáticos, permitió facilitar el trabajo del ingeniero civil. Como resultado del proyecto se presentó un informe del procesamiento, el modelo digital de elevaciones, ortomosaico, curvas de nivel en AutoCAD 2018 y vectorización del ortomosaico en AutoCAD 2018. Para el éxito del proyecto se consideró los siguiente: todo levantamiento fotogramétrico mediante UAVs requiere levantamientos terrestres para mejorar su precisión; los proyectos pequeños requieren como mínimo tres puntos de control y los grandes deben tener al menos 5; la toma de fotografías aéreas se debe realizar cuando la altitud del sol sea óptima, debe adoptarse una altura mínima de 30° del sol sobre el horizonte y en regiones poco accidentadas puede llegarse a los 20°; usar filtros de la cámara polarizador circular para la fotografía al aire libre da margen de maniobra al tratar con reflexión especular; los puntos de control deben ser tomados con sistema RTK con precisión inferior a 1 cm.

Para la obtención de productos cartográficos mediante esta metodología, es fundamental partir de una buena planificación del proyecto de vuelo fotogramétrico,

considerando la orografía y el contenido visual presente (vegetación densa, cuerpos de agua, campos de agricultura, etc.), corrigiendo la precisión del modelo y los posibles errores que se puedan producir, propios de la técnica digital y del uso software fotogramétrico.

Esta técnica que permite conseguir millones de puntos con color; mientras que antes el topógrafo debía ir observando punto por punto. Además, reduce el tiempo de procesado y, por lo tanto, los costos de trabajo disminuyen, además de tener mucha más información que un levantamiento tradicional.

REFERENCIAS

- Agisoft. (2019). Requerimientos de sistema. Obtenido de <https://www.agisoft.com/downloads/system-requirements/>
- Anderson, J. M. M. E. (1988). Introducción a la topografía. Mexico: Mc Graw Hill.
- DJI. (2016). Especificaciones técnicas Inspire 1. Obtenido de <https://www.dji.com/inspire-1/info>
- Fenercom. (2015). Los Drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil. Obtenido de <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Los-Drones-y-sus-aplicaciones-a-la-ingenieria-civil-fenercom-2015.pdf>
- Franquet, B. J. y Querol, G. A. (2010). Nivelación de terrenos por regresión tridimensional. Obtenido de http://www.mecinca.net/papers/Nivelacion_REGRESION.pdf
- Jiménez, C. G. (2007). Topografía para ingenieros. Bogotá: Universidad del Quindío.
- McComarc, J. (2004). Topografía. México: Limusa Wiley
- OACI. (2019). La Aviación Unida. Obtenido de ORGANISMO ESPECIALIZADO DE LAS NACIONES UNIDAS: https://www.icao.int/about-icao/pages/es/default_es.aspx
- Pix4D. (2019). Herramientas - Calculadora GSD. Obtenido de <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202560249-TOOLS-GSD-calculator>
- Quirós, R. E. (2014). Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil. Madrid: Universidad de Extremadura
- Santamaría, P. A. (2011). La cartografía y las proyecciones cartográficas. Madrid: Universidad de La Rioja
- Vallejos, Z. H. (2017). Delimitación de zonas de manejo en agricultura de precisión a partir de adquisición remota de imágenes mediante vehículos aéreos no tripulados (Doctoral dissertation)