INFORME TECNICO
DE PROCESAMIENTO IMAGEN

LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO UTILIZANDO LIDAR E IMAGEN MONUMENTO NATURAL BARRO COLORADO

Orden de Compra N°23-P0-3400000488220

REV	Fecha	Descripción
0	17/07/2023	EMITIDO COMO ORIGINAL

Elaborado por: STEREOCARTO CENTROAMÉRICA S.A.			
ELABORADO:	M. PASTRANA	Oficina Técnica	17/07/2023
REVISADO y APROBADO:	A. GOMEZ	Coordinador de Proyectos.	18/07/2023

1. TABLA DE CONTENIDO

INDICE

1. TABLA DE CONTENIDO 2

2. INTRODUCCION 4

3. TRABAJOS REALIZADOS 4

3.1. PROCESADO DE IMÁGENES 4

3.2. PROCESADO DE TRAYECTORIAS 5

3.3. ORIENTACIÓN FOTOGRAMÉTRICA 6

4. GENERACIÓN DE PRODUCTOS 9

4.1. ORTOFOTO 9

5. ANEXOS 11

Relación de Figuras

Figura 1: Delimitación área de trabajo 4
Figura 2: Muestra de imagen RGB..... 5
Figura 3: Reseña estación IGN1 y STRI 6
Figura 4: Ortofoto..... 10

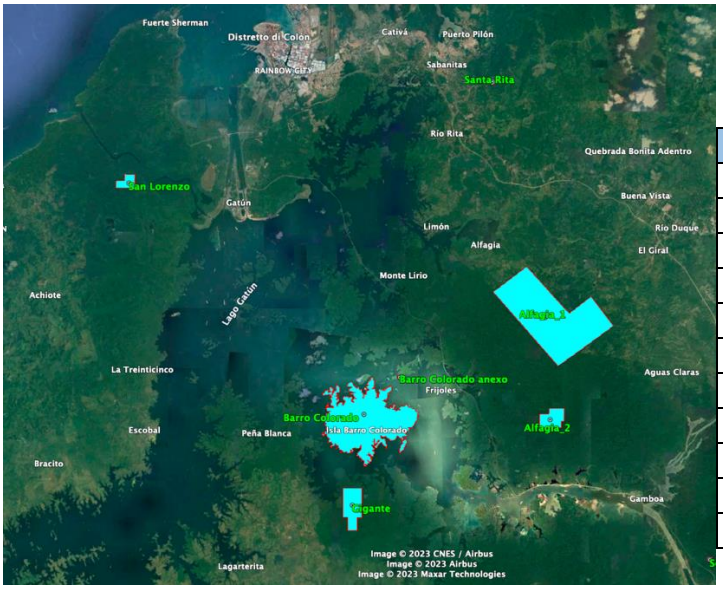
Relación de Tablas

Tabla 1 Parámetros de la aerotriangulación..... 7
Tabla 2 Grupo de Puntos de Control..... 8

2. INTRODUCCION

El trabajo consiste en el levantamiento LiDAR de una superficie de 3825,24 has en varias áreas acerca del canal de Panamá desde el sur hasta la costa Atlántica.

Con este levantamiento se pretende obtener una ortofotografía actualizada, permitiendo tener información valiosa y actualizada que permita la toma de decisiones.



ID	NOMBRE AREA	AREA CONTRATADA (Ha)
1	BARRO COLORADO ANEXO	6,08
2	BARRO COLORADO	1542,50
3	ALFAGIA_1	1775,84
4	ALFAGIA_2	141,33
5	GIGANTE	233,34
6	PANAMA_PACIFICO	8,14
7	SAN_LORENZO	74,16
8	SANTA_RITA	8,14
9	SOBERANIA_1	8,14
10	SOBERANIA_2	8,14
11	METROPOLITANO	19,44
		3825,24

Figura 1: Delimitación área de trabajo

3. TRABAJOS REALIZADOS.

3.1. PROCESADO DE IMÁGENES

Las imágenes provenientes del sensor se encuentran en un formato legible únicamente con los software del fabricante, por lo que en este paso se transforman a .TIFF para que puedan ser utilizadas por los software de fotogrametría y gis.

En este proyecto en total se tomaron 4056 imágenes en los diferentes días de operación que se describieron en el informe de vuelo.

En cuanto al procesado de las imágenes digitales, el objetivo es disponer de imágenes de la mayor calidad geométrica y radiométrica que facilite su posterior interpretabilidad y se garantice la calidad métrica de las mismas, así como de los productos que se deriven de ellas.

A través de este procedimiento se obtienen imágenes que pueden ser útiles para su posterior explotación.

Teniendo las imágenes en .TIFF y con los eventos procesados se genera la ortofoto 3 bandas.

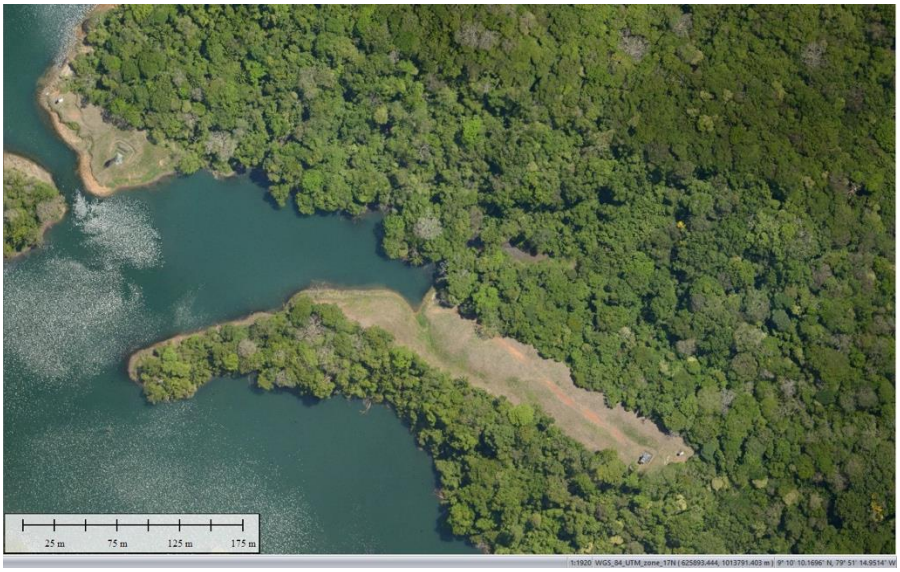


Figura 2: Muestra de imagen RGB

3.2. PROCESADO DE TRAYECTORIAS

Se descargan y verifican los datos de la trayectoria en tiempo real esto para asegurarnos que se cuenta con la información completa. Seguidamente se procede a realizar un ajuste por corrección diferencial para obtener las precisiones según pliego de condiciones técnicas.

El proceso de ajuste de trayectorias se realiza en dos fases.

- **Fase I:** Ajuste de las observaciones registradas por el sistema GNSS aerotransportado con la red de estaciones en tierra o de medición continua.

- **Fase II:** Integración de la observación y el sistema Inercial para obtener la corrección diferencial de las mediciones realizadas.

Para la primera fase, se utiliza el método de corrección diferencial combinado, es decir las observaciones registradas por el sistema de navegación se corrige directa e inversamente (ida y vuelta) con las estaciones en tierra.

En este caso se ha utilizado la estación **IGN1** perteneciente al IGN, la cual es la más cercana al área del proyecto en la zona Sur, y la estación **STRI** comisionada por un proveedor local y puesta aproximadamente en el medio del área total de levantamiento.

REPÚBLICA DE PANAMÁ
Autoridad Nacional de Administración de Tierras
Instituto Geográfico Nacional "Tommy Guardia"
Departamento de Geodesia y Astronomía

FICHA TÉCNICA
ESTACIÓN GNSS DE OPERACIÓN CONTINUA "IGN1"

ID: IGN1
Nombre: CORSIGN1
Orden de la Estación: CORS GNSS
Hoja IGNTG: 4242-I, 1:50 000
Ubicación: IGN "Tommy Guardia"
Localidad: Viejo Veranillo
Corregimiento: Curundú
Distrito: Panamá
Provincia: Panamá
Establecido por: IGNTG
Fecha de instalación: 2008

VISTA GENERAL:

DATOS DE ANTENA Y RECEPTOR
Receptor: Trimble Net R9
Antena: Zephyr Geodetic II
Máscara de Elevación: 0° Sobre el horizonte
Altura de Antena: 0,00 m
Punto de Medición: ARP(Antenna Reference Point)

SISTEMA GEODÉSICO
Marco de Referencia: SIR11P01 ≡ ITRF2008
Elipsoide: WGS84
Modelo Geoidal: EGM08
Época de Referencia: 2011,8
Fecha del Procesamiento: Octubre de 2011

CROQUIS DE UBICACIÓN (Imagen de Google Earth):

COORDENADAS GEOCÉNTRICAS
X geocéntrica: 1144297,140 m
Y geocéntrica: -6195649,800 m
Z geocéntrica: 989518,572 m

COORDENADAS GEODÉSICAS
Latitud (N): 08° 59' 05,58877"
Longitud (W): 79° 32' 08,71731"
Altura elipsoidal: 47,581 m

COORDENADAS U.T.M.
Norte: 993502,461 m
Este: 660964,482 m
Altura geoidal: 34,700 m
Altura nivelada: 34,320 m
Zona: 17 N

VELOCIDADES (Coordenadas Geocéntricas)
VX: 0,0173 ± 0,0003 m/a
VY: 0,0054 ± 0,0003 m/a
VZ: 0,0120 ± 0,0003 m/a

VELOCIDADES (Coordenadas U.T.M.)
V Norte: 0,0122 ± 0,0011 m/a
V Este: 0,0180 ± 0,0009 m/a
V Up: -0,0003 ± 0,0018 m/a

OBSERVACIONES IMPORTANTES
1. La antena está instalada en un mástil de acero galvanizado que se encuentra montado sobre una losa de concreto, en la parte superior de edificio de dos plantas, localizado en el área frontal del IGNTG.
2. El procesamiento y ajuste de la red se realizó con el software Bernese, versión 5.0.

ROBERTO RESTREPO TOPÓGRAFO

DESCRIPCIÓN DE PUNTOS DE CONTROL

FECHA 26/05/2023
Hoja 1 de 1

Proyecto: BARRO COLORADO		Empresa: STEREOCARTO		Superficie número: ESTACIONAMIENTOS	
País: PANAMÁ	Provincia: COLON		Localizacion: GAMBOA	Codigo STRI	

Fotografía de los puntos de control — SUR — OESTE
Croquis General (Puntos de apoyo y superficie)

INSTRUMENTO: RTK: [ ] GPS estático: [X] Estación Total: [ ]
TIPO DE SUPERFICIE (marcar con X): Pavimento: [ ] Asfalto: [ ] TERRENO NATURAL [ ] CONCRETO: [X]
Marca: SOUTH Antena: Modelo G7 Serial: S910BA148510501

STRI			SISTEMA DE REFERENCIA		ESTACION DE CONTROL	PMEC	UBICACIÓN DE CORS	PENONOME
UTM			DATUM	WGS84	Tipo de solución:	Phase Fixed		PDOP:
NORTE	ESTE	Elevación(Ortho)	UTM Zona	17 Norte	SD ΔX:	0.0001m		1.2 - 2.3
1008231.5830m	641229.5284m	28.1907m	Modelo Geoidal	EGM2008 (Global) 5X5	SD ΔY:	0.0002m		GDOP:
Global			Frequency:	L1/L2/L5	SD ΔZ:	0.0001m		1.5 - 3.2
Latitud	Longitud	Altura	Observaciones:					
9° 07' 07.48794" N	79° 42' 53.17793" W	40.3789 m	CLAVO DE ACERO, DE 2.5" INCRUSTADO SOBRE LA ACERA DE CONCRETO DEL ESTACIONAMIENTO DEL MUELLE,A 5 METROS DE A LA CERCA FRONTAL					
Tecnico responsable:								
TOPOGRAFO ROBERTO RESTREPO			Empresa contratista:	STEREOCARTO		Fecha de captura:	26/05/2023 6:43:57 a. m.	

Figura 3: Reseña estación IGN1 y STRI

El objetivo de esta primera fase es lograr la solución en tres dimensiones de la trayectoria de la aeronave, para el caso una vez damos como válida dicha solución porque los errores obtenidos se encuentran dentro de las precisiones del fabricante. Por último, se debe verificar que la solución ida y vuelta está dentro de los parámetros de la contratación, que la calidad de la trayectoria luego de la corrección diferencial sea "**Quality 1**" y que la misma sea una solución **fixed**. Una vez se cumplen estas condiciones se exporta la solución para ser leída y corregir los giros.

Una vez se completa la fase del ajuste de las observaciones del sistema de navegación con las estaciones en tierra, se pasa a la fase II y final donde procedemos a importar el archivo de correcciones generado en la fase I y a calcular la nueva trayectoria aplicando dichas correcciones al inercial.

Posteriormente exportamos la solución en formato .csv que contiene las coordenadas X,Y,Z y Omega, Phi, Kappa de cada uno de los fotocentros. A este informe se adjunta listado de fotocentros.

3.3. ORIENTACIÓN FOTOGRAMÉTRICA

A partir de las imágenes digitales, los parámetros de orientación exterior obtenidos Con la fase de cálculo de trayectoria se busca orientar el vuelo, es decir, reconstruir la geometría de los

fotogramas en el momento de su toma. Así, al poder materializar los haces de rayos del bloque fotogramétrico, se logra un doble objetivo: la visión estereoscópica veraz es posible, así como también es posible la medición de magnitudes métricas sobre los modelos.

Determinamos los parámetros de orientación del sensor a parir de una ISO u Orientación Integrada con Sensores (ISO - Integrated Sensor Orientation), o lo que es lo mismo AT+GPS+INS, incluyendo de este modo en el ajuste las observaciones directas de la actitud de la cámara (INS) y los datos GPS, mejorando la calidad y la fiabilidad de los resultados de orientación.

Las condiciones impuestas por el pliego de condiciones y que fueron aplicadas en la planificación de la aerotriangulación y consecuentemente durante su realización quedan resumidas en el siguiente cuadro:

Tabla 1 Parámetros de la aerotriangulación

Fase o parámetro	Especificaciones
Método	Completamente digital, utilizando parámetros GPS/IMU de vuelo
Medición puntos de enlace	Mínimo de 12 puntos de enlace: 2 en cada zona de Von Grüber, garantizando que al menos un punto enlace modelos entre pasadas
Ajuste del bloque	Ajuste simultáneo por haces de rayos con parámetros GPS/IMU
Desviación estándar a priori de los puntos de apoyo y centros de proyección	P.A entre 1/3 y ½ del tamaño de píxel Centros de proyección entre 0.10 y 0.15 m
Precisión interna del ajuste del bloque	RMSE menor de 1/2 del tamaño de píxel del sensor
Precisión en planimetría y altimetría	RMSE < 1.5 veces el GSD en planimetría y RMSE < 1.5 veces el GSD nominal en altimetría

El software utilizado para la realización de la aerotriangulación, en todas sus fases, ha sido Metashape. Se trata de un software de fiabilidad altamente demostrada en el campo de la fotogrametría, que permite obtener precisiones internas de cálculo inferiores a 5 micras.

El cálculo de los parámetros de orientaciones externas de los fotogramas que componen cada bloque se ha llevado a cabo en dos pasos:

- La primera etapa consiste en el ajuste en relativa del bloque. Esta fase es simultánea al control de calidad de la correlación automática y medición, en su caso, de puntos manuales, y consiste en el aseguramiento de la robustez del cálculo y la bondad de las coordenadas imagen medidas, sin influencia de coordenadas terreno. Con esto se obtiene un bloque coherente y fiable internamente, de tal modo que si en la siguiente etapa, en la que entran en juego las coordenadas del apoyo topográfico y del apoyo aerocinemático, se detectará algún error, éste vendrá provocado por algún tipo de fallo en las coordenadas del apoyo (error en la introducción de los datos, error de medida, etc.)

- En el segundo y último paso, se introducen en el proceso de ajuste las coordenadas del apoyo, de manera que el bloque coherente obtenido en la fase anterior es trasladado a su posición real en el terreno y los parámetros reales de orientación externa quedan calculados.

La medición y transferencia de puntos se ha realizado por correlación automática (búsqueda automática de puntos homólogos en dos o más fotogramas). Posteriormente, se pasa un control de calidad manual para asegurar el correcto enlace entre fotogramas y entre pasadas, introduciendo puntos manualmente en aquellas zonas que han quedado vacías de puntos de enlace. Asimismo, se identifican aquellos puntos mal correlados, o simplemente con residuos excesivamente elevados para las exigencias de precisión del proyecto, procediéndose a su eliminación y sustitución por nuevos puntos manuales.

En la correlación automática se utiliza, en primer lugar, un algoritmo de cálculo que actúa sobre los primeros niveles de la pirámide de imágenes del fotograma. Este primer algoritmo se basa en la extracción de formas características (Feature-Based Matching, FBM) y da una precisión de 0,3 pixels. En los últimos niveles piramidales hasta llegar a la máxima resolución, emplea el método de mínimos cuadrados (Least-Squares Matching, LSM), que permite obtener precisión de 0,1 pixels. Durante todo el proceso, el software aplica una herramienta de detección automática de errores, que elimina del proceso los errores groseros que pudiera estar cometiendo.

En resumen, en este proyecto se alinearon 4.056 fotos, se colocaron 15 puntos de control, obteniendo el siguiente resultando de la aerotriangulación contra los puntos de control en tierra:

Tabla 2 Grupo de Puntos de Control

GROUND CONTROL POINTS		
Average XY error	0.048	m
RMS Z error	0.050	m
Average projection error	0.77	pixels
Standard deviation	0.50	pixels
Number of GCPs	15	

4. GENERACIÓN DE PRODUCTOS

4.1. ORTOFOTO

A partir de las imágenes digitales, los parámetros de orientación exterior obtenidos en la aerotriangulación para cada fotograma y el modelo digital del terreno, consistente en una malla de puntos, se ha generado una ortofoto digital con un tamaño de pixel de 0.06 metros.

Para obtener la ortofoto se requiere de una rectificación diferencial de las imágenes, el mismo se realizó con los módulos del programa Metashape.

Para cada uno de los fotogramas aerotriangulados pertenecientes al área de interés de la que se pretende obtener la ortoimagen se establece su ortoárea, es decir, el área efectiva sobre el que se aplicará el procedimiento de ortorectificación. Este ortoárea es la resultante de descartar para cada fotograma un porcentaje del mismo en los extremos, es decir, el ortoárea corresponde con la zona central del fotograma siendo por tanto la de perspectiva más nadiral y con menor abatimiento de los elementos. La parte de fotograma que se descarta en cada caso depende de los solapes con los que se haya ejecutado el vuelo. A mayores valores de solape se descarta un mayor porcentaje de fotograma. Se realiza este descarte de la imagen para evitar las zonas extremas, ya que es en estas donde se producen las mayores distorsiones de la imagen y mayor abatimiento de los objetos situados sobre el terreno. A pesar de descartar una parte de fotograma siempre se mantiene suficiente área de solape entre ortoáreas contiguas para poder trazar la línea de mosaico de forma que quede lo más disimulada posible.

El programa de rectificación diferencial utilizado asigna un valor dentro de la escala de niveles digitales de cada canal a cada píxel (punto imagen) de la ortofoto definitiva. Para ello calcula a partir de sus coordenadas X e Y terreno (ortofoto), la coordenada Z que le corresponde en el modelo digital del terreno y a partir de ellas tres y los parámetros de orientación exterior del fotograma previamente obtenidos en la fase de aerotriangulación se determinan las coordenadas imagen (x, y) que le corresponden, y por tanto el valor de nivel digital asociado a cada canal.

Complementariamente se ha realizado un ajuste radiométrico de las ortofotos generadas para dar uniformidad al mosaico

Con el fin de mantener con la máxima fidelidad los tonos naturales del terreno, se ha procedido al tratamiento radiométrico de las imágenes rectificadas con el software P-CID.

Para una mejor interpretación de las imágenes finales es necesario también realizar un tratamiento de realce de las mismas que mejore los balances cromáticos, y el contraste de la imagen.

Para este tratamiento se han tenido en cuenta las particularidades del proyecto (escala, características del vuelo, territorio,...) y se ha aplicado globalmente sobre la imagen a partir del análisis de los histogramas radiométricos de las ortofotos digitales.

El ajuste radiométrico realizado a las imágenes ortorrectificadas se ha encaminado a evitar las discrepancias cromáticas entre fotogramas contiguos y conseguir una cobertura radiométricamente homogénea de la totalidad del área del proyecto para asegurando la continuidad radiométrica y cromática dentro del área de interés.

Una vez ortorrectificados los fotogramas iniciales del vuelo y realizado el ajuste radiométrico entre los mismos se llevó a cabo el proceso de mosaico de las imágenes y el corte según la distribución de hojas designada para el proyecto.

El proceso de mosaico consiste en la unión de los diferentes fotogramas ortorrectificados de forma que se obtenga una sensación de imagen única continua dentro de la hoja cartográfica. Este mosaico se realiza aprovechando las zonas de solape entre ortofotografías contiguas, por esta zona se traza la denominada línea mosaico que permite fusionar los ortofotogramas en una única ortoimagen.

La línea de mosaico es trazada de forma automática por medio del procedimiento denominado de mínimos cambios radiométricos. Este algoritmo busca la zona de máxima similitud radiométrica entre las imágenes contiguas para hacer pasar por ahí la línea de mosaico de forma que quede lo más disimulada posible y tratando siempre de que se tome de cada imagen la zona más nadiral posible.

Una vez se dispone de la línea automática de mosaico, esta es revisada para comprobar que es correcta y no interfiere con estructuras que pudieran delatar por donde se ha realizado la unión, es decir, se comprueba que la línea no corta edificaciones, puentes, etc. ya que debido, al diferente abatimiento que presentarían estos objetos en las distintas imágenes que se fusionan, aparecerían discontinuidades geométricas en los elementos.

Figura 4: Ortofoto

5. ANEXOS

Reporte de Cálculo Metashape

Agisoft Metashape

Processing Report

17 July 2023

Datos del levantamiento

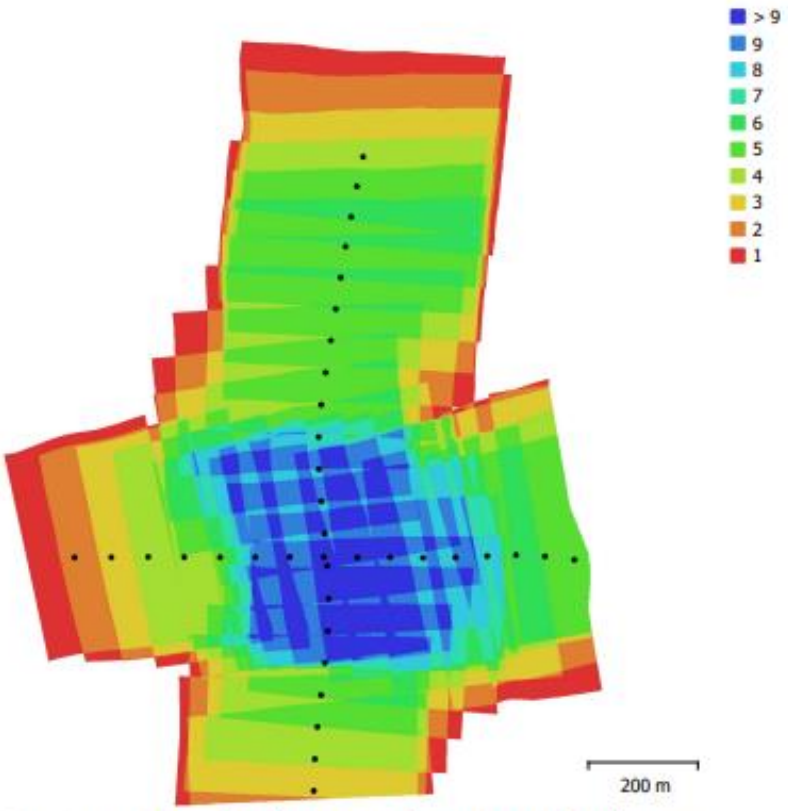


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes:	37	Imágenes alineadas:	37
Altitud media de vuelo:	627 m	Puntos de paso:	122,006
Resolución en terreno:	6.03 cm/pix	Proyecciones:	367,873
Área cubierta:	0.944 km^2	Error de reproyección:	0.932 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
unknown	7360 x 4912	desconocido	desconocido	No

Tabla 1. Cámaras.

Calibración de cámara

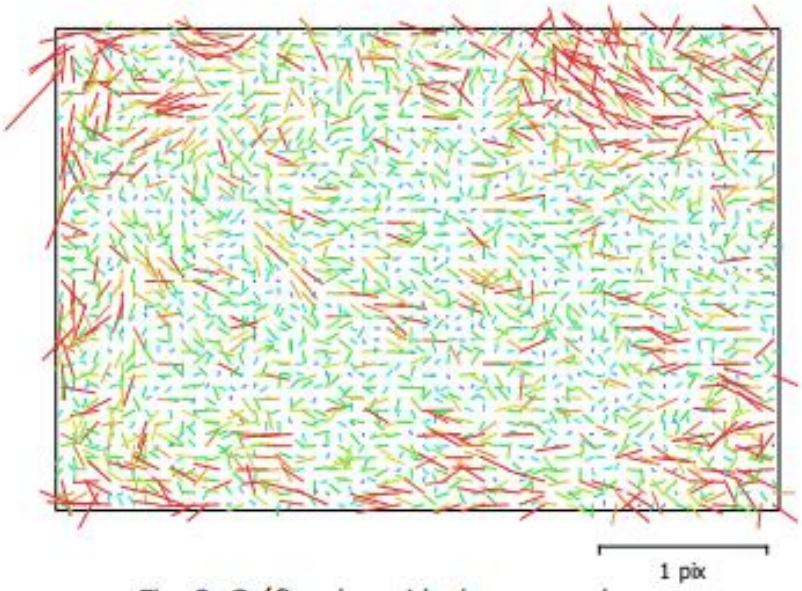


Fig. 2. Gráfico de residuales para unknown.

unknown
37 imágenes

Tipo	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel
Cuadro	**7360 x 4912**	**desconocido**	**desconocido**

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	K4
F	**10401.8**	3.7	1.00	0.03	0.20	0.24	0.06	-0.06	0.07
Cx	**-2.33372**	0.36		1.00	0.00	-0.01	0.02	-0.01	0.01
Cy	**10.5802**	0.37			1.00	0.02	0.01	-0.01	0.01
K1	**-0.0746502**	0.0005				1.00	-0.91	0.86	-0.80
K2	**0.270853**	0.01					1.00	-0.99	0.96
K3	**-1.68497**	0.086						1.00	-0.99
K4	**4.6552**	0.25							1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Puntos de control terrestre

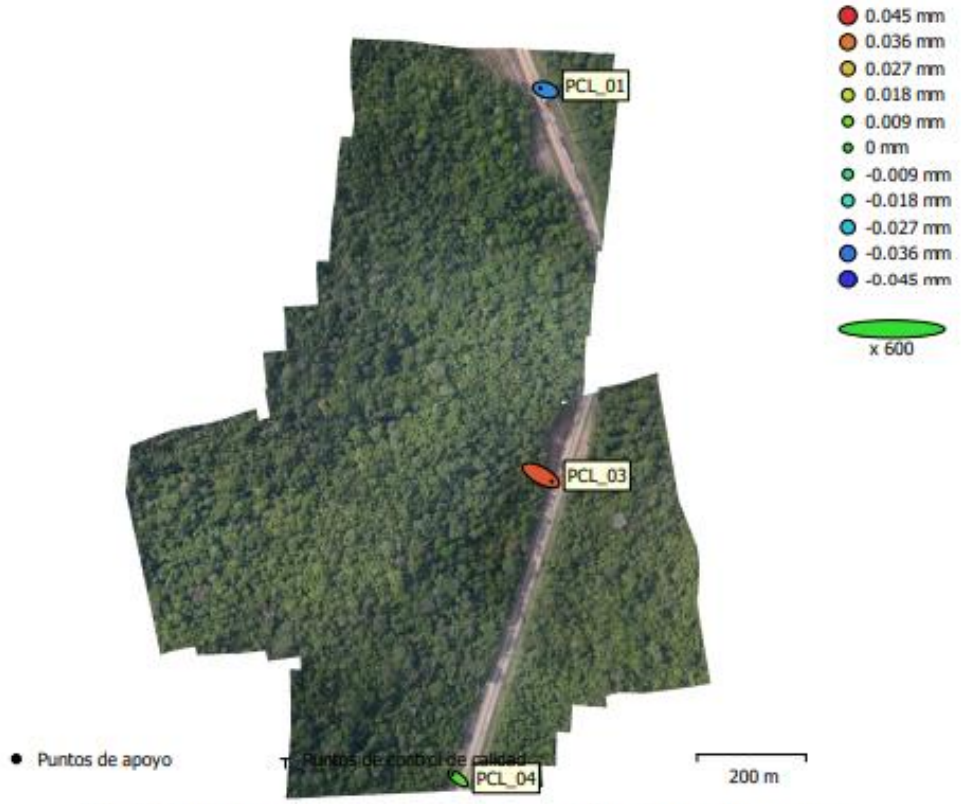


Fig. 3. Posiciones de puntos de apoyo y estimaciones de errores.
El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY.
Las posiciones estimadas de puntos de apoyo se marcan con puntos o cruces.

Número	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Error en XY (cm)	Total (cm)
3	4.66718	2.63609	0.00303901	5.36018	5.36018

Tabla 3. ECM de puntos de apoyo.
X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Nombre	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Total (cm)	Imagen (pix)
PCL_01	-3.21128	0.989146	-0.00333071	3.36016	1.458 (2)
PCL_03	6.5987	-3.61111	0.00404603	7.52216	6.223 (8)
PCL_04	-3.39008	2.61313	0.000492725	4.28031	1.592 (3)
Total	**4.66718**	**2.63609**	**0.00303901**	**5.36018**	**4.974**

Tabla 4. Puntos de apoyo.
X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

Modelo digital de elevaciones

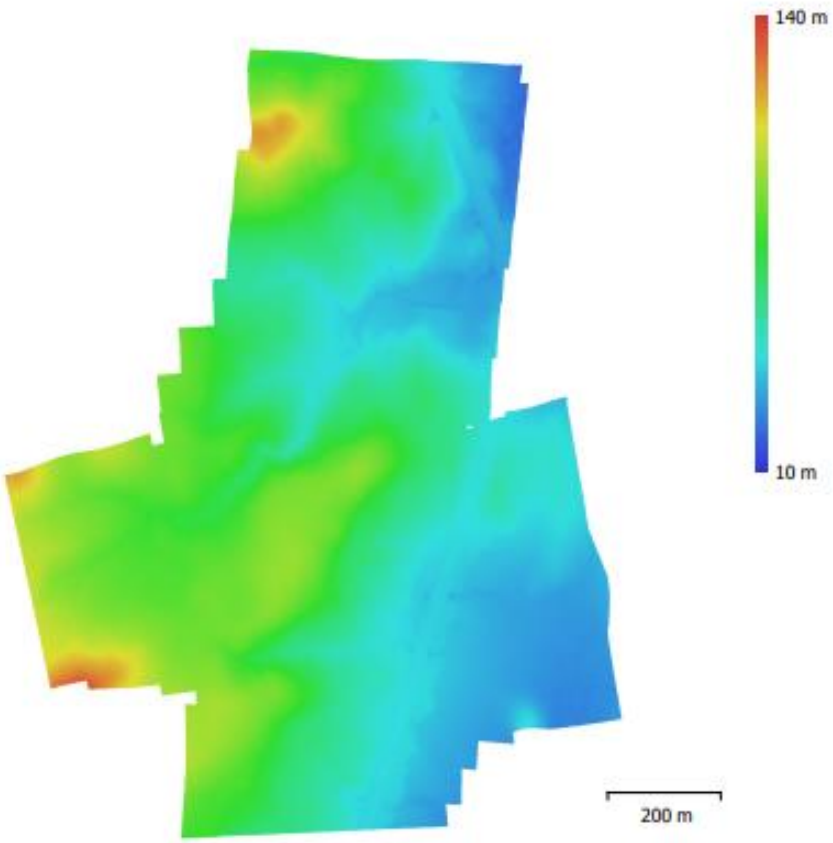


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución:	50 cm/pix
Densidad de puntos:	4 puntos/m^2

Parámetros de procesamiento

Generales	
Cámaras	37
Cámaras orientadas	37
Marcadores	3
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 17N (EPSG::32617)
Ángulo de rotación	Omega, Phi, Kappa
Nube de puntos	
Puntos	122,006 de 129,296
RMS error de reproyección	0.131062 (0.931603 pix)
Error de reproyección máximo	1.10647 (22.6157 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	6.75661 pix
Colores de puntos	3 bandas, uint8
Puntos clave	No
Multiplicidad media de puntos de paso	3.10268
Parámetros de orientación	
Precisión	Media
Pre-selección genérica	Sí
Pre-selección de referencia	Estimados
Puntos clave por foto	100,000
Puntos de paso por foto	10,000
Emparejamiento guiado	No
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	No
Tiempo búsqueda de emparejamientos	23 segundos
Uso de memoria durante el emparejamiento	506.12 MB
Tiempo de orientación	7 segundos
Uso de memoria durante el alineamiento	54.46 MB
Parámetros de optimización	
Parámetros	f, cx, cy, k1-k4
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	No
Tiempo de optimización	3 segundos
Versión del programa	1.6.1.10009
MDE	
Tamaño	3,500 x 3,500
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 17N (EPSG::32617)
Ortomosaico	
Tamaño	18,574 x 25,000
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 17N (EPSG::32617)
Colores	3 bandas, uint8
Parámetros de reconstrucción	
Modo de mezcla	Mosaico
Superficie	MDE
Permitir el cierre de agujeros	Sí
Tiempo de procesamiento	2 minutos 17 segundos
Versión del programa	1.6.1.10009
Sistema	
Nombre del programa	Agisoft Metashape Professional
Versión del programa	1.6.1 build 10009
OS	Windows 64 bit
RAM	127.93 GB
CPU	AMD Ryzen 9 5950X 16-Core Processor

Generales	
GPU(s)	NVIDIA GeForce RTX 3070