



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Jaén

Trabajo Fin de Grado

TÉCNICAS FOTOGRAMÉTRICAS PARA EL ANÁLISIS MORFOMÉTRICO Y VIRTUALIZACIÓN DE RESTOS FÓSILES

Alumno: María de las Nieves Castro Muñoz

Tutor: D. Francisco Javier Cardenal Escarcena
D. Matías Reolid Pérez

Dpto: Ingeniería Cartográfica, Geodésica y
Fotogrametría
Geología

Septiembre, 2018

Contenido

RESUMEN / ABSTRACT	3
Resumen	3
Abstract	3
1. INTRODUCCIÓN.....	4
1.1. Justificación	4
1.2. Objetivos	5
2. CASOS ESTUDIADOS.....	6
2.1. Nothosaurios.....	7
2.2. Huellas fósiles (<i>Brachychiroterium</i> sp. <i>gallicum</i>).....	9
2.3. Trilobites (<i>Phacops latifrons</i>).....	12
2.4. Mamíferos marinos	13
2.4.1. Cráneo de ballena.....	13
2.4.2. Tórax de pinnípedo	15
2.5. Dientes de <i>Hipparion</i>	17
2.6. Ostreido (<i>Saccostrea cucullata</i>).....	18
3. INSTRUMENTACIÓN Y METODOLOGÍA.....	20
3.1. Instrumental y software	20
3.1.1. Instrumental	20
3.1.2. Software utilizados	21
3.2. Fotogrametría.....	22
3.3. Técnicas de apoyo	23
3.3.1. Redes de puntos de control.....	23
3.3.2. Puntos de control/ marcas codificadas	28
3.3.3. Combinación de redes	29
3.4. Adquisición de imágenes	32
3.5. Procesamiento	34
3.5.1. Orientación.....	34
3.5.2. Nube de puntos y triangulación	38
3.5.3. Texturas.....	42
3.5.4. Modelos	43
3.5.5. Secciones	44
3.5.6. Ortoimágenes	45
3.5.7. Videos.....	47
4. RESULTADOS. ANÁLISIS	48

4.1.	Control de calidad métrico	48
4.2.	Control de calidad visual	50
5.	PRODUCTOS	53
5.1.	Modelos	53
5.2.	Ortoimágenes.....	55
5.3.	Vídeo	68
6.	CONCLUSIONES.....	70
7.	BIBLIOGRAFÍA	72
8.	ANEXOS	74
8.1.	Ficheros de la orientación:	74
8.1.1.	Huella 3.....	74
8.1.2.	Huella 1-2.....	76
8.1.3.	Trilobites	79
8.1.4.	Nothosauro 1 y 2. Dientes 1 y 2	81

RESUMEN / ABSTRACT

Resumen

El presente proyecto está fundamentado en un área de la fotogrametría, que consiste en obtener productos 3D pero no cartográficos. Se trata de digitalizar varios restos fósiles a partir de fotografías. Se emplean técnicas fotogramétricas de bajo coste que consisten en fotografiar las diversas muestras con varios fotogramas, y a partir de sus solapamientos y su edición obtener diversos productos, como modelos, videos y ortofotos, entre otros.

A lo largo de esta memoria se describen los fósiles digitalizados, cómo se ha llevado a cabo la toma de datos y cómo se han obtenido los productos

Palabras clave: fotogrametría, digitalización, fósiles, patrimonio paleontológico

Abstract

The present project is based on an area of photogrammetry, which consists in obtaining 3D products but not cartographic ones. It is from photographs digitize several fossil remains. Low-cost photogrammetric techniques are used, which consists of photographing the various samples with several frames, and from their overlaps and their editing you can obtain various products, such as models, videos, and orthophotos, among others.

Throughout this report we describe the digitized fossils, how the data collection was carried out and how the products were obtained

Keywords: photogrammetry, digitalization, fossils, palaeontological heritage

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Justificación

Este trabajo de fin de grado (TFG) se ha realizado con el fin de mostrar la viabilidad del empleo de técnicas geomáticas, principalmente métodos fotogramétricos basados en los nuevos algoritmos de Structure from Motion (SfM), para generar productos 2D/3D de restos fósiles para su utilización en el análisis morfométrico y su virtualización con fines científicos, educacionales, de preservación y divulgación a través de internet. Con este fin se han desarrollado protocolos de trabajo sencillos y se han puesto a punto métodos de bajo coste con uso prioritario en instrumentación no métrica. Así, este trabajo constituiría el primer paso hacia una virtualización de elementos singulares del patrimonio paleontológico con vistas a un futuro Museo Virtual de Paleontología.

Para ello se han planteado diferentes ejemplos en cuanto a la naturaleza de los restos, textura, tamaño y morfología, a partir, principalmente, de los fondos existentes en el Departamento de Geología de la Universidad de Jaén (UJA). Son diversos los ejemplos, que han permitido cubrir un rango amplio de casos a estudiar en cuanto a la propia naturaleza de los restos, su tamaño o su forma (vértebras de reptiles, huellas fósiles, conchas de bivalvos, trilobites, y restos fósiles de mamíferos marinos). Se han analizado diversas situaciones en cuanto a muestras aisladas de matriz que conforman un volumen definido que se puede resolver con un modelo 3D completo o restos con un desarrollo geométrico definido principalmente por la planimetría (por ejemplo, huellas fósiles) que permiten el empleo de redes de trabajo más convencionales tendentes principalmente al desarrollo de modelos digitales de elevaciones (MDE) y productos 2D (ortoimágenes).

Se han puesto a punto métodos específicos de diseño de redes de objeto cercano con el empleo, en la mayor parte de los casos, si el tamaño de la muestra lo permitía, de una caja de luz (y un uso adecuado de la iluminación), y una plataforma rotatoria para la correcta adquisición de las imágenes, así como de marcas de codificadas para el procesado automático de estas y la definición de forma sencilla de un sistema de referencia ajustado en escala sin necesidad de puntos de control establecidos por otras técnicas (topográficas, por ejemplo)..

Una vez procesadas las imágenes se han elaborado productos 2D y 3D útiles para el análisis dimensional de los restos fósiles, pero también para su empleo con fines científicos, docentes, de intercambio o de divulgación

El interés y beneficio de este trabajo está también relacionado con la documentación y preservación del patrimonio natural, patrimonio paleontológico en este caso. De acuerdo con la Sociedad Española de Paleontología (SEP) los elementos del patrimonio paleontológico pueden ser de dos tipos (SEP, 2018): los fósiles como tales y las colecciones que generan; y los yacimientos donde se encuentran. El primero conforma el patrimonio paleontológico mueble mientras que el segundo constituye el inmueble.

Dado que los fósiles son elementos no renovables, muy valiosos dentro de la geodiversidad, la Sociedad Española de Paleontología recomienda aplicar sobre ellos medidas de gestión. Incluso en el caso de las colecciones, también es importante la adecuada preservación y protección para el estudio e intercambio seguro de la información entre investigadores (sin que se vea afectada por la manipulación), así como la difusión y divulgación de los hallazgos paleontológicos.

1.2. Objetivos

El principal objetivo de este trabajo, como se ha indicado previamente, es determinar la viabilidad del empleo de técnicas geomáticas, así como el desarrollo de protocolos de trabajos, principalmente de métodos fotogramétricos, con vistas a la generación de productos 2D/3D de restos fósiles. El desarrollo de nuevos algoritmos fotogramétricos, basados en las técnicas de visión por computador y de generación de nubes densas de puntos, está suponiendo una alternativa efectiva y económica frente a otros métodos basados en técnicas fotogramétricas convencionales o de barrido láser.

En este sentido, hay que mencionar que las técnicas fotogramétricas digitales constituyen una metodología valiosa para la reconstrucción morfológica y la caracterización métrica de objetos, que hasta ahora ha sido escasamente aplicada en el campo de la Paleontología. A su vez, el desarrollo de métodos sencillos y con bajo coste permitirá además su aplicación extensiva, lo cual facilitará la digitalización

y virtualización de forma efectiva y económica de colecciones amplias de muestras fósiles.

Por último, pero no por ello menos importante, este TFG pretende cubrir otro de sus objetivos principales, como es la realización, por parte de la alumna, de un trabajo en el ámbito de las tecnologías específicas de la Geomática en el que se sintetizen e integren las competencias adquiridas en estas enseñanzas y cumplir de esta manera lo establecido en la Orden CIN/353/2009 (BOE nº 44 de 20 de febrero de 2009), donde se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico en Topografía. Las tecnologías específicas desarrolladas se vinculan especialmente con las relativas al diseño y materialización de redes de fotogrametría para aplicaciones no cartográficas, procesamiento de modelos 3D y su integración en servidores de internet para la difusión de los resultados.

2. CASOS ESTUDIADOS

La tabla 1 resume las características principales de todas las piezas que se han trabajado en este TFG.

Pieza	Grupo taxonómico	Época	Lugar
Nothosaurio (2 vértebras y 1 húmero)	<i>Nothosaurus</i> y <i>Simosaurus</i>	Triásico medio	Siles (Jaén)
Huellas de reptiles (3)	Ichnogénero <i>Brachichyroterium gallicum</i>	Triásico superior	Cambil (Jaén)
Trilobites	Trilobites <i>Phacops latifrons</i>	Ordovícico - Devónico	Tafilalt (Marruecos)
Cráneo de ballena	Ballena enana género <i>Cephalotropis</i>	Mioceno superior	Villanueva de la Reina (Jaén)
Tórax de pinnípedo	Pinnípedo, de la Familia Otaridae	Mioceno Superior	Villanueva de la Reina

			(Jaén)
Piezas dentales (2)	Equino, género <i>Hipparion</i>	Pleistoceno	Sierra Mágina (Jaén)
Bivalvo	Ostreido, género <i>Crassostrea</i>	Plioceno superior	Puerto Real (Cádiz)

Tabla 1. Características principales de los fósiles estudiados.

2.1. Nothosaurios

- Lugar: Siles (Jaén)
- Dominio: Cobertera Tabular y Prebético Externo
- Edad: Triásico medio, Ladiniense

Se trata de restos aislado de reptiles marinos (vértebras, fémur, costillas) de distintos géneros de nothosaurios (*Nothosaurus* y *Simosaurus*) del Triásico medio (Ladiniense, 230 millones de años). Algunos restos se han hallado en la Sierra de Segura, en el término municipal de Siles (Niemeyer, 2002). Otros restos se hallaron entre las localidades de Puerta de Segura y Villarrodrigo en relación con un proceso de inundación catastrófica de áreas emergidas relacionado con un tsunami (Reolid y Reolid 2014; Reolid et al., 2014; Figura 1).



Figura 1. Vértebras y húmero de Nothosaurio (Triásico medio, Siles –Jaén).

Los nothosaurios fueron reptiles marinos de un tamaño variable entre 40 cm y 5 m de longitud, dependiendo de la especie, que vivieron durante el periodo Triásico.

Por lo general, eran más pequeños que los plesiosáuridos (pertenecientes también a su mismo Orden Sauroptegia) de épocas más tardías, con los cuales tenían bastante parecido. Los nothosaurios eran reptiles con cuerpos alargados y cuellos de gran longitud (Figuras 2 y 3). Sus cabezas eran pequeñas respecto a su cuerpo y presentaban mandíbulas largas con abundantes dientes afilados. Se han encontrado restos de este reptil extinto en yacimientos triásicos en el Este de la Provincia de Jaén.

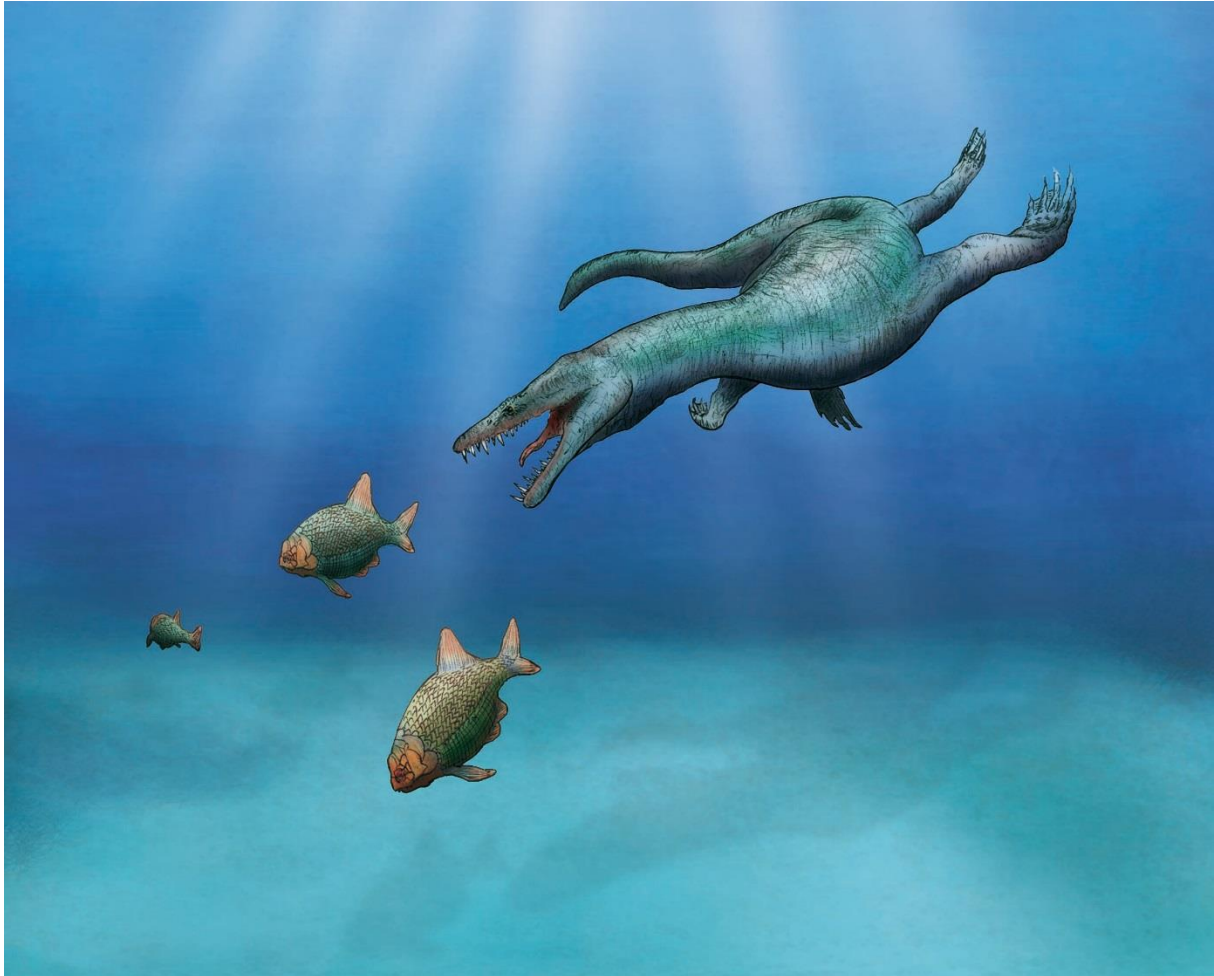


Figura 2. Recreación artística de un *Nothosaurus* (Reolid y Reolid, 2015).



Figura 3. Reconstrucción artística de un *Nothosaurus* (Reolid y Reolid, 2015).

2.2. Huellas fósiles (*Brachychiroterium* sp. *gallicum*)

- Lugar: Cambil (Jaén)
- Dominio: Subbético Externo
- Edad: Triásico

Estas huellas corresponden al ichnogénero *Brachichyroterium* (Figuras 4 y 5) y fueron producidas por un gran reptil del grupo de los arcosaurios durante el Triásico superior, hace más de 200 millones de años. Se hallaron en Cambil (Figura 6) (Pérez-López, 1993; Reolid y Reolid, 2015) y se encuentran expuestas en el Parque de las Ciencias de Granada (Figura 7). Sin embargo, el estudio se ha realizado sobre una réplica de alta calidad realizada en resina que posee el Dr. Reolid (Departamento de Geología de la UJA).

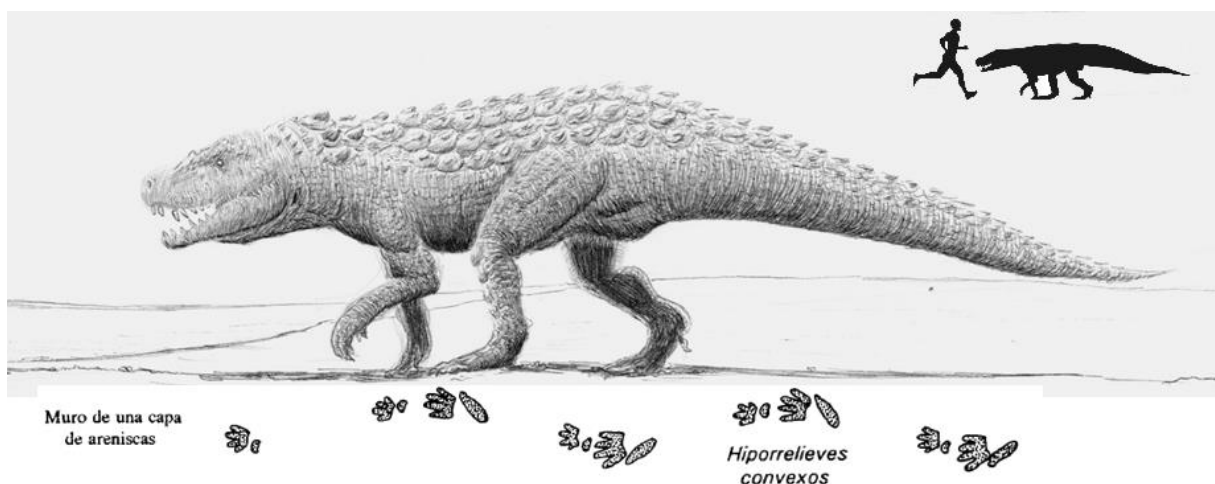


Figura 4. Recreación artística del posible reptil autor de las huellas y comparación con el tamaño de una persona. Modificada de Pérez-López (1993) y Reolid y Reolid (2015).

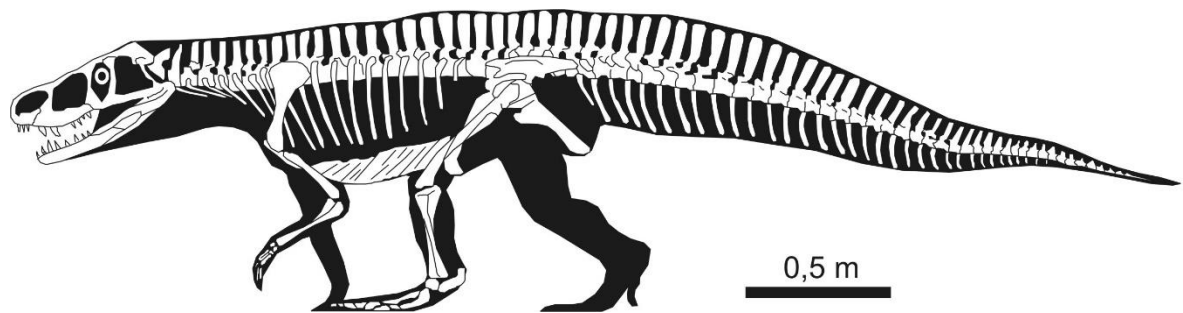


Figura 5. Recreación artística de la anatomía del arcosaurio autor de las huellas (Reolid y Reolid, 2015).

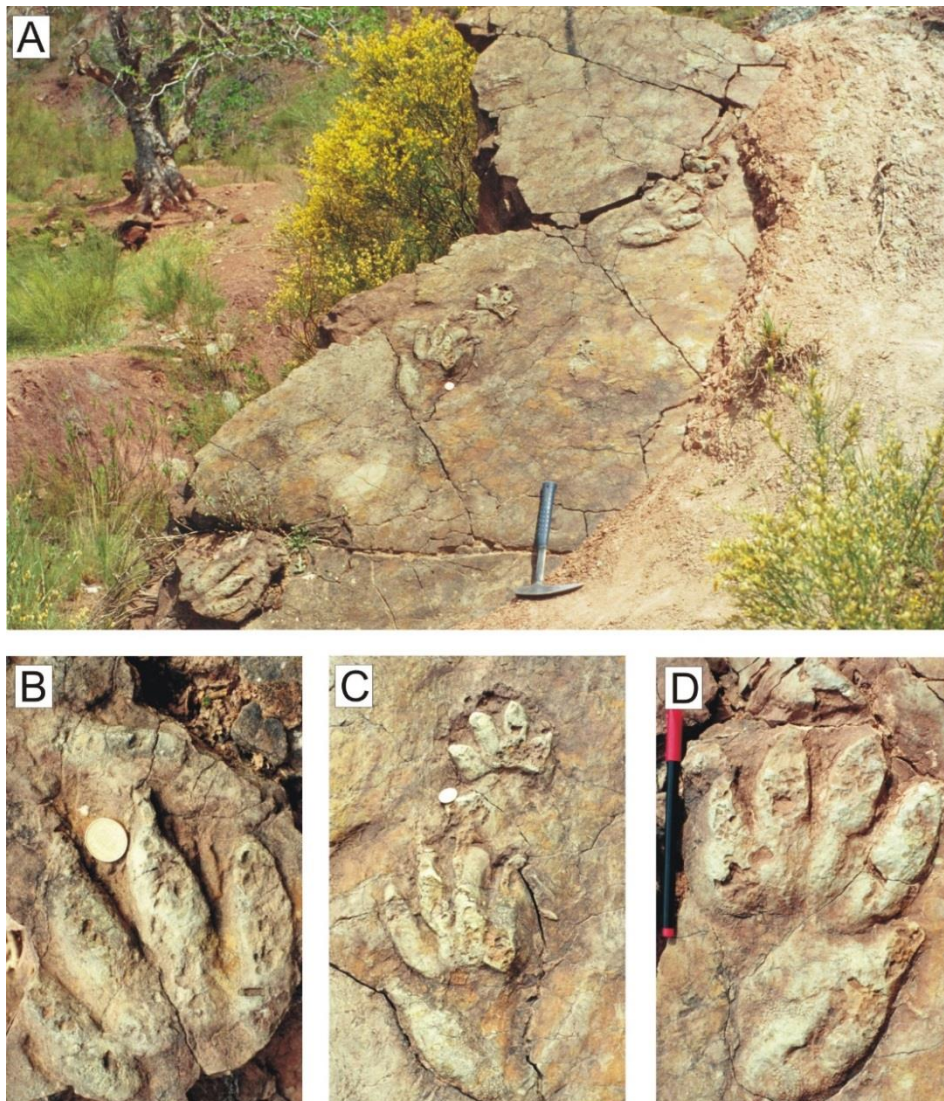


Figura 6. Huellas fósiles de Cambil en su ubicación original. Se trata de contramoldes (epirrelieves) en areniscas. Modificado de Reolid y Reolid (2015). Fotos originales del Dr. Alberto Pérez-López.



Figura 7. Huellas fósiles (Brachychiroterium gallicum) de Cambil (Jaén). Izquierda: muestra de un miembro posterior (pie). Derecha: en el ejemplar se aprecia ambas huellas anterior (mano) y posterior (pie). Ejemplares originales expuestos en el Parque de las Ciencias de Granada.

Estas huellas corresponden a contramoldes de arenisca, es decir, lo que se conserva en la actualidad es el material arenoso que rellenó la huella que dejó el reptil al pisar en el fango. Por eso, lo que se observa son unas huellas en relieve, que sobresalen de la capa de arenisca.

El yacimiento está compuesto por seis huellas o icnitas orientadas en la misma dirección, por lo que constituyen lo que se denomina un rastro. Las huellas de los miembros anteriores (manos) son mucho más pequeñas (18,5 cm) que las de los miembros posteriores (pies), cuya longitud es 32 cm. Las huellas presentan cinco gruesos dedos, y el dedo V (dedo externo) se encuentra en una posición algo retrasada respecto a los otros cuatro dedos. Además, en una de las huellas aparecen las impresiones de las escamas de la planta del pie del reptil y en las prolongaciones de algunos de los dedos se pueden observar unas uñas que llegan a medir 2.5 cm.

El doble pasó o zancada es de 162 cm y el paso oblicuo es de 84 cm. La anchura total del rastro es de 38 cm. Además, se puede observar que el rastro es bastante estrecho y que el ángulo entre el pie y el eje del rastro es muy pequeño, inferior a 15°, indicativo de una locomoción relativamente ágil. De hecho, este reptil no dejó rastro de su cola en el sedimento, por lo que se confirma que debía ser un organismo que no arrastraba la cola y que poseía unas extremidades relativamente altas.

Otro dato que se puede obtener a partir del rastro es la velocidad de marcha aproximada del reptil. El método aplicado a los rastros dejados por los dinosaurios, viene dado por una ecuación en la que intervienen la aceleración de la gravedad, la longitud de la zancada y la altura de la extremidad. Se ha estimado una longitud de 1,05 m para la extremidad del reptil autor de las huellas de Cambil y una velocidad de marcha aproximada de 5,9 km/hora (Pérez-López, 1993).

2.3. Trilobites (*Phacops latifrons*)

- Lugar: Región de Tafilalt (Marruecos)
- Edad: Ordovícico superior hasta final del Devónico (450 Ma – 360 Ma).

Se trata de un ejemplar de trilobites de unos 16 cm de longitud del género *Phacops* procedente de Marruecos (Figura 8). Los trilobites del género *Phacops* pertenecen al Orden Phacopida, más concretamente a la Familia Phacopidae, que vivieron desde el Ordovícico superior hace unos 450 Ma, hasta el final del Devónico, hace unos 360 Ma. Este ejemplar, en base a los gránulos de la glabella en el cefalón y la forma de los segmentos del pigidio, es presumiblemente de la especie *Phacops latifrons*. En este fósil destacan también los ojos compuestos típicos de los trilobites.

Si bien el ejemplar pertenece a una colección privada (P.A. Ruiz, Universidad de Jaén) y está descontextualizado de su yacimiento, es posible indicar que la especie *latifrons* corresponde al Devónico medio Eifeliense y su área de procedencia es la región de Tafilalt ubicada en el Anti-Atlas Oriental en el Sur de Marruecos.



Figura 8. Derecha: Trilobites *Phacops latifrons* (Devónico, Marruecos). Centro: detalles de las protuberancias de la glabella y ojos compuestos. Izquierda: detalle del pigidio.

2.4. Mamíferos marinos

2.4.1. Cráneo de ballena

- Lugar: Sección de Arroyo Escobar, Villanueva de la Reina (Jaén)
- Dominio: Depresión del Guadalquivir
- Edad: Mioceno superior, Tortoniense

Cráneo de ballena enana (Figura 9). Es un cráneo excepcionalmente bien conservado del género *Cephalotropis*, que anteriormente sólo se ha descrito en Nueva Escocia (Canadá) y en la Cuenca Lusitánica (Portugal). Este ejemplar fue hallado en Villanueva de la Reina y corresponde al Mioceno superior (Tortoniense, 10-9 millones de años) (Reolid y Reolid, 2015; Reolid et al., 2016). Actualmente se encuentra expuesto en el Museo de Paleontología de la Universidad de Granada.

Descripción: los restos craneales tienen una longitud de 55,5 cm, 47,4 cm de anchura y 21,2 cm de altura. Es un cráneo incompleto, fragmentado en su parte más distal (delantera) del premaxilar y el maxilar. Además, preserva aún un fragmento de la mandíbula izquierda, de 42 cm de longitud y no muestra evidencias de dentición. Sin tener en cuenta el rostro, el cráneo tiene una forma cuadrangular en vista dorsal. El rostro presenta una abertura temporal suboval y un amplio supraoccipital subtriangular. La cresta sagital está bien desarrollada. La sutura maxilar tiene una forma poligonal y el nasal está bien desarrollado. La ámpula timpánica está constituida por un lóbulo posterior relativamente largo con un claro proceso sigmoidal y una fisura bien desarrollados, un proceso cónico corto y un lóbulo anterior corto.

El cráneo de esta ballena enana correspondería a un misticeto de acuerdo con la forma y tamaño de los huesos craneales, así como la presumible ausencia de dientes en la mandíbula (característica propia de los odontocetos) (Figuras 10 y 11). Sin embargo, la identificación del género es complicada ya que las mandíbulas están incompletas y no aparecen restos correspondientes al esqueleto apendicular. No obstante, el material es muy similar a los restos craneales de *Cephalotropis* que se conservan en el Museu Nacional de Historia Natural de la Universidade de Lisboa. Los ejemplares portugueses también corresponden al Tortoniense.

Una reconstrucción del cráneo, teniendo en cuenta las partes no preservadas, permite aproximar una longitud del cráneo de alrededor de 117 cm, y de la ballena completa, de alrededor de 7,5 m. La familia Cetotheridae a la que pertenece este ejemplar vivió entre el Oligoceno tardío y el Pleistoceno temprano.



Figura 9. Cráneo de ballena enana (Mioceno Superior, Villanueva de la Reina – Jaén).



Figura 10. Reconstrucción del esqueleto Cetotheridae (<https://en.wikipedia.org/wiki/Cetotherium>)

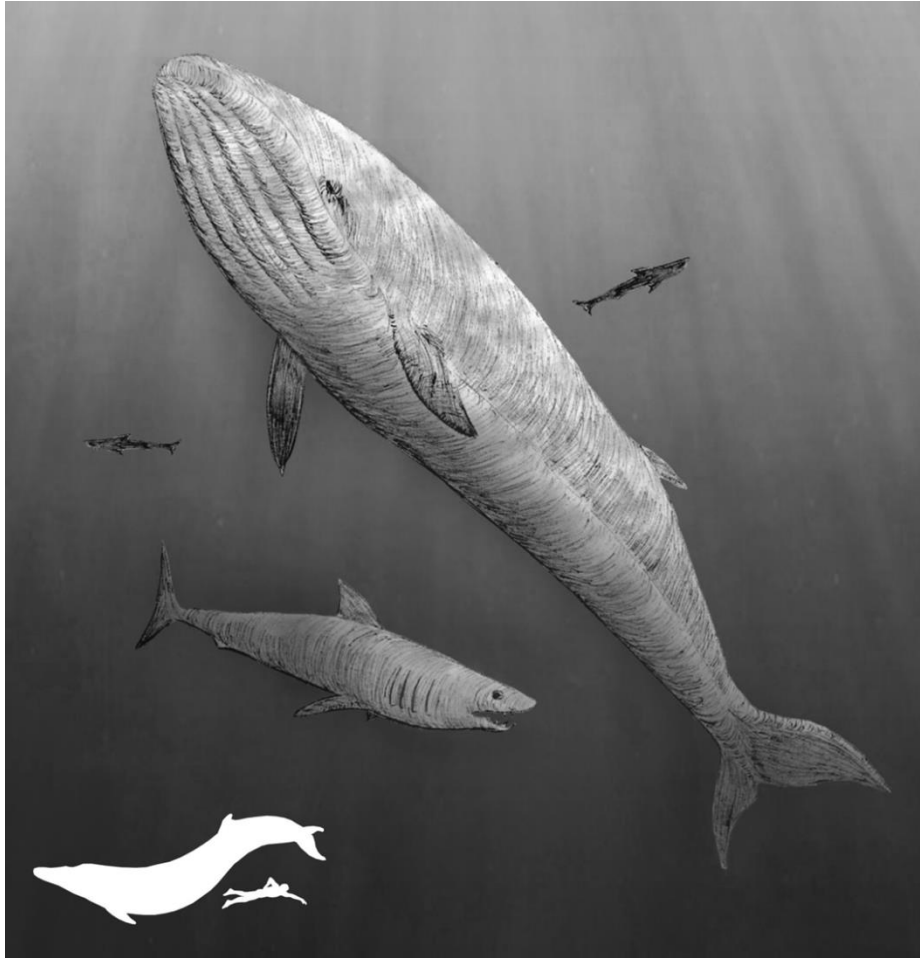


Figura 11. Reproducción artística del Cetotheriidae (Reolid y Reolid, 2015).

2.4.2. Tórax de pinnípedo

- Lugar: Sección de Arroyo Escobar, Villanueva de la Reina (Jaén)
- Dominio: Depresión del Guadalquivir
- Edad: Mioceno superior, Tortoniense

Se trata de parte de la caja torácica de un pinnípedo de la Familia Otariidae, es decir, un organismo emparentado con los actuales leones marinos (Figura 12). El ejemplar preserva hasta 6 costillas articuladas a sus correspondientes vértebras (Figura 13). Este fósil fue hallado en Villanueva de la Reina y corresponde al Mioceno superior (Tortoniense, 10-9 millones de años) (Reolid y Reolid, 2015; Reolid et al., 2016). Actualmente se encuentra expuesto en el Museo de Paleontología de la Universidad de Granada.



Figura 12. Pinnípedo otárido actual. (<https://es.wikipedia.org/wiki/Otariidae>)



Figura 13. Muestra expuesta en el Museo de Paleontología (Facultad de Ciencias de la Universidad de Granada) Tórax de pinnípedo, tortoniense

Este fragmento de caja torácica presenta una longitud de 45 cm y está compuesto por siete vértebras torácicas articuladas especialmente gruesas, y sus correspondientes costillas caracterizadas por presentar una doble articulación, que conecta con sus respectivas costillas vía capítulo y tubérculo. Algunas de las costillas del lado derecho están casi completas. Las costillas del margen izquierdo están fragmentadas en su parte más proximal y de ellas sólo se preserva la cabeza en el contacto con las vértebras.

Las vértebras están imbricadas y presentan una anchura máxima de 18 cm, con unos procesos transversales largos (entre 5 y 7 cm) y un enorme centro vertebral (entre 8,5 y 9 cm) que deja un amplio arco neural. Los procesos transversales son casi tan anchos como largos, una característica típica de la

Familia Otariidae (que incluye a los lobos marinos, osos marinos y leones marinos). Sin embargo, la espina neural, que no está completa en ninguna de las vértebras preservadas, aparenta ser corta como en el caso de la Familia Focidae (que incluye a todas las focas). Por lo tanto, con los restos encontrados hasta ahora, es difícil saber de qué pinnípedo se trata.

2.5. Dientes de *Hipparion*

- Piezas dentales de *Hipparion*
- Lugar: Sierra Mágina
- Edad: posiblemente Pleistoceno (pendiente de estudio)

Adicionalmente, se dispone de diferentes piezas dentales fósiles de *Hipparion* (Figura 14), ancestro de los caballos actuales (Figuras 15 y 16), hallados en rellenos de cavidades kársticas de Sierra Mágina. Son restos de edad posiblemente Pleistoceno, aunque este material está aún pendiente de estudio por parte de los investigadores del Departamento de Geología de la UJA.

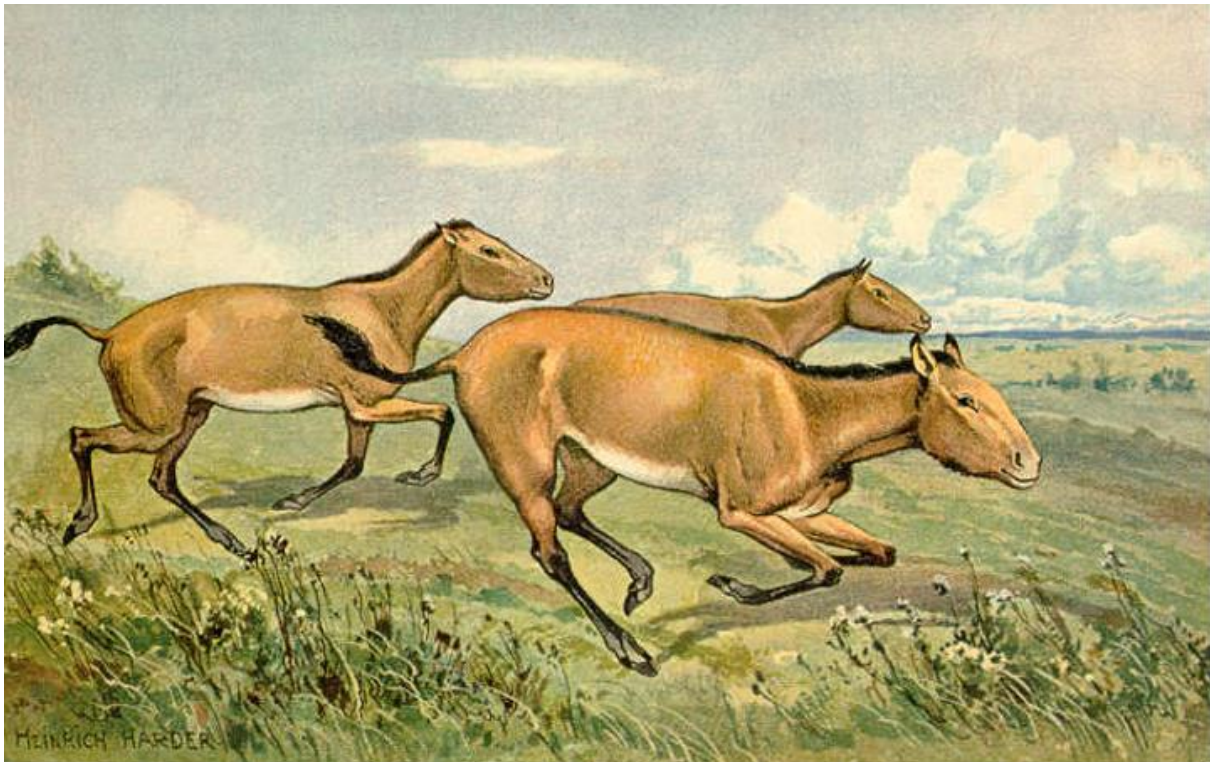


Figura 14. Recreación artística de *Hipparion*.
(<https://es.wikipedia.org/wiki/Hipparion#/media/File:Hipparion3.jpg>)

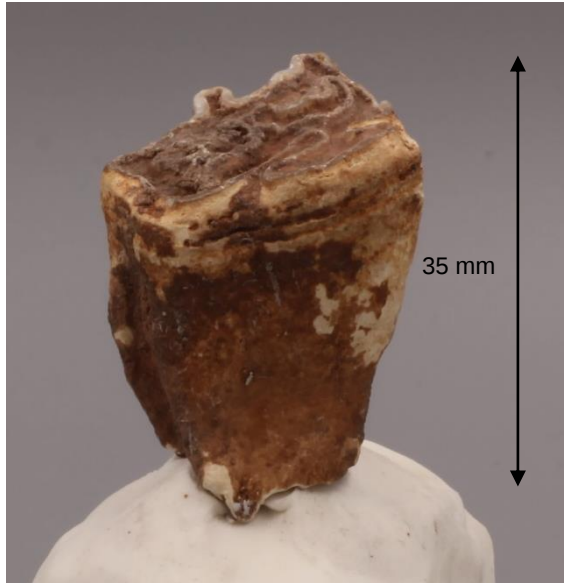


Figura 15. Diente de Hipparion
(Posiblemente *Pleistoceno*, Sierra Mágina,
Jaén).

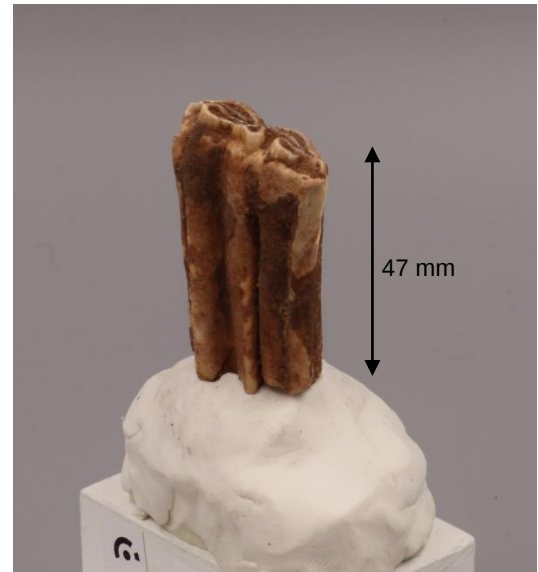


Figura 16. Diente de Hipparion
(Posiblemente *Pleistoceno*, Sierra
Mágina, Jaén).

2.6. Ostreido (*Saccostrea cucullata*)

- Concha de ostreido: *Saccostrea cucullata*
- Lugar: Puerto Real (Cádiz)
- Dominio: Depresión del Guadalquivir
- Edad: Plioceno superior

Descripción: Bivalvo sésil que habita en ambientes tropicales y subtropicales en los océanos actuales formando densas acumulaciones en acantilados costeros con alta turbulencia y manglares. Presenta concha cónica orientada con el área ligamentaria hacia abajo en posición de vida. La representada (Figura 17) es la valva izquierda que muestra una ornamentación de amplias costillas longitudinales y es fuertemente cóncava dejando una amplia cavidad corporal ocupada en este ejemplar por sedimento carbonatado.

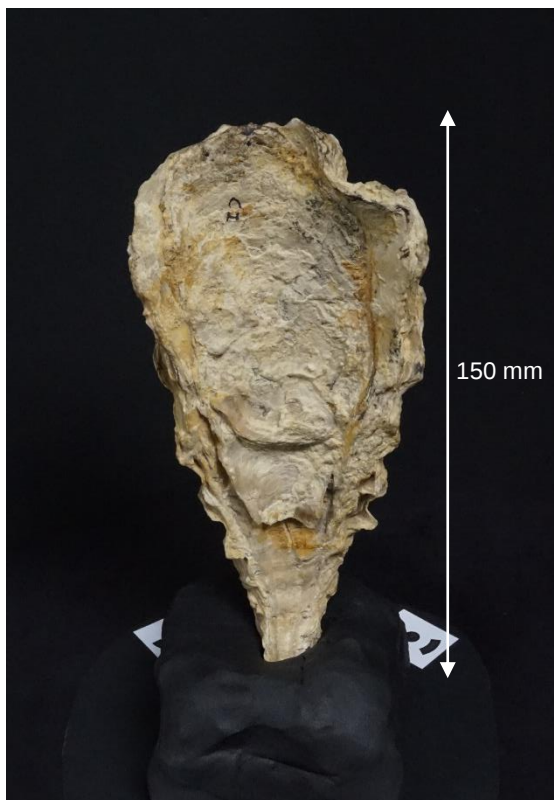


Figura 17. Concha de ostreido (Plioceno superior, Puerto Real, Cádiz).

3. INSTRUMENTACIÓN Y METODOLOGÍA

3.1. Instrumental y software

3.1.1. Instrumental

El instrumental que se ha usado han sido dos cámaras fotográficas distintas:

- Sony ILCE-5000 (*Figura 18*)
- Canon EOS 5D Mark II (*Figura 19*)



Figura 18. Sony ILCE - 5000



Figura 19. Canon EOS 5D Mark II

Para la toma de las fotografías se ha usado una cámara u otra en función de las características de las piezas, la iluminación, los objetivos disponibles, la profundidad de campo necesaria para un correcto enfoque, etc.

En el primer caso (Sony ILCE-5000), se trata de una cámara compacta de objetivo intercambiable de formato APS-C, conocidas como réflex sin espejo o MILC (*mirrorless interchangeable lens camera*). Estas cámaras, a pesar de su formato pequeño (aproximadamente 22 mm x 15 mm) están teniendo un uso creciente en la actualidad en aplicaciones del patrimonio dado su tamaño pequeño, peso ligero, precios y notable calidad de imagen. Al permitir el uso de diferentes objetivos de óptica fija, le confiere cierta estabilidad métrica, aspecto importante para su empleo fotogramétrico.

Por el contrario, la cámara Canon D5 Mark II es una cámara réflex de formato completo (full frame o 36 mm x 24 mm). Este tipo de cámara dispone de una mayor calidad de imagen, al tratarse de cámaras más sofisticadas y de mayor tamaño

empleando igualmente unos objetivos de mayor calidad óptica. Debido a la disponibilidad de objetivos con esta cámara (no se ha dispuesto de objetivos macro), su uso ha estado limitado por la profundidad de campo especialmente en el caso de muestras pequeñas.

En las tablas que hay a continuación (tabla 2 y 3) se muestran las características principales de ambas cámaras fotográficas.

Sony ILCE-5000	
Tipo de sensor	CMOS Exmor HD
Tamaño del sensor	APS-C (23.5x15.6 mm)
Píxeles totales del sensor	19.8 MP
Resolución	5456x3632
Rango de ISO	100-16000
Sistema de enfoque	automático/manual
Tipo de obturador	obturador de plano focal
Rango de velocidad de obturación	1/4000 a 30 seg.

Tabla 2. Descripción características cámara Sony

Canon EOS 5D Mark II	
Tipo del sensor	CMOS
Tamaño del sensor	Full Frame (32x24 mm)
Píxeles totales del sensor	21.0 MP
Resolución	5616x3744
Rango de ISO	100-6400 25600
Sistema de enfoque	automático/manual
Tipo de obturador	obturador de plano focal
Rango de velocidad de obturación	1/8000 a 30 seg.

Tabla 3. Descripción características cámara Canon

3.1.2. Software utilizados

- Adjustment computation (Ghiliani y Wolf, 2006): este programa se utilizó para realizar el ajuste de coordenadas y proporcionar el sistema de referencia ajustado en escala. A partir de varias distancias, entre los puntos de control, el programa calcula por trilateración, mediante mínimos

cuadrados las coordenadas planimétricas de los puntos de control. Si los puntos se disponen en un mismo plano, se les asigna la misma coordenada altimétrica a todos quedando establecido el sistema de referencia 3D final.

- Agisoft PhotoScan 1.2.0 (Agisoft, 2018): este sistema de fotogrametría basado en algoritmos de SfM ha sido el software que se ha usado principalmente, ya que con él se ha realizado la orientación de las fotografías, la generación de la nube de puntos, la triangulación de la superficie y la asignación de las texturas, generando finalmente el modelo 3D en diversos formatos (pdf 3D, obj, entre otros).
- CloudCompare 2.6.3 (CloudCompare, 2018): este software libre permite el procesamiento de nubes de puntos y modelado 3D. En este TFG principalmente se ha utilizado para gestionar las nubes de puntos y/o el modelo 3D, así como crear animaciones de la pieza, o generar secciones.
- Active Presenter 7 (Atomi Systems, 2018): este programa se ha utilizado para la generación de productos multimedia y presentaciones. Con él se han editado los videos y se ha añadido las descripciones e información de los fósiles.
- AutoCAD 2010 (Autodesk, 2010): este software de diseño ha sido usado para el montaje de las ortofotos. Para crear los cajetines, sobre los que se han añadido las ortofotos y toda su información adicional (escala, fósil, edad, etc.)

3.2. Fotogrametría

Según la International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (2018) la Fotogrametría es la ciencia y tecnología que se ocupa de extraer información geométrica y temática tridimensional fiable, frecuentemente en diferentes momentos temporales, de objetos y escenas a partir de imágenes y conjuntos de datos. Los datos obtenidos mediante esta técnica pueden ser usados para desarrollar bases de datos espaciales y sistemas de información espacial (SIE) en formas digitales, gráficas y de imágenes. La tecnología usada para realizar mediciones tridimensionales a partir de imágenes en cartografía, ingeniería, registro del patrimonio, análisis forense, robótica, sistemas de asistencia al conductor, aplicaciones médicas, juegos de ordenador y otros campos, proporciona información

geométrica y semántica de objetos para alimentar bases de datos espaciales y poder crear escenas de realidad virtual realistas.

Por lo general, en cualquier proyecto fotogramétrico se empieza por una primera fase que sería de planificación y toma de decisiones. En esta fase se analizarían los fósiles para decidir cómo serán las redes, tanto de fotogrametría como de apoyo, a establecer, el tipo de cámara y objetivo a usar y demás cuestiones que se deben abordar previamente a la toma de datos. La segunda fase sería de toma de datos, lo que sería el trabajo de campo, en este caso es la toma de fotografías y medida de los puntos de control.

Ya la última de etapa sería el trabajo de gabinete, aquí se empieza por crear una base de datos con todos los datos obtenidos, fotografías, parámetros de la cámara, coordenadas de los puntos de control, posteriormente se procesan los datos y finalmente se obtienen los productos deseados.

En el esquema que se muestra en la Figura 20 se puede ver resumido el flujo de trabajo.

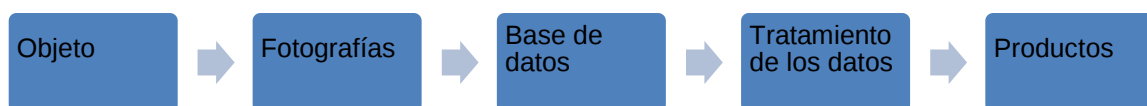


Figura 20. Flujo de trabajo en proyectos fotogramétricos

3.3. Técnicas de apoyo

3.3.1. Redes de puntos de control

Han sido varias las redes de apoyo que se han diseñado para las muestras, la red de apoyo se ha definido en función del fósiles que se fuesen a fotografiar y sus características.

Las redes se han creado a partir de situar varias marcas codificadas que se utilizarían posteriormente como puntos de control. En los fósiles que eran más grandes se colocaba mayor número de marcas. Estos puntos de control no se sitúan directamente sobre los fósiles, si no a su alrededor, ya que de estar sobre la muestra, estaríamos tapando información.

Estos puntos han permitido definir para cada una de las muestras un sistema arbitrario de referencia 3D que, en todos los casos, ha incorporado la escala real. La escala se ha ajustado en base a varias distancias reales, medidas directamente con un flexómetro, entre las marcas. Se ha procurado que las medidas de distancia se hiciesen en distintas direcciones y que la mayor distancia se midiese según el eje de mayor elongación de la muestra. En algunos casos en muestras pequeñas se ha empleado un patrón plano de referencia fijo que ha sido digitalizado con un escáner y sobre la imagen digital del patrón se han realizado las medidas de distancia.

A continuación se explican algunas de las redes que se han usado:

Por ejemplo, para los fósiles más grandes (el cráneo de ballena, el tórax de pinnípedo, y dos de las huellas del *Brachychiroterium*) la red que se estableció era muy amplia. Sobre un papel gran formato, se dispusieron 11 puntos de control, definiendo una amplia figura, de modo que las marcas rodearían la pieza. La figura 21 muestra esta red, y en la figura 22 se puede ver como quedaba el fósil sobre los puntos de control. Esta red al estar incorporada en el papel podía ser reutilizable.



Figura 21. Red de puntos de control para los fósiles más grandes



Figura 22. Huellas de *Brachychiroterium* sobre red de puntos de control

En cualquier caso, hay que indicar que con esta red de apoyo se tuvo algún problema con el fósil de tórax de pinnípedo, ya que al girar la muestra, el papel sobre el que están pegadas las marcas se deformó por el gran peso del fósil y se desplazaron algunos puntos. Por ello, posteriormente, cuando se procesaron las imágenes no se tuvieron en cuenta dos de los puntos de control en las imágenes, los cuales estaban desplazados de su posición original. Como en esta red la cantidad de puntos de apoyo que había era redundante, no hubo problema, simplemente los puntos desplazados fueron excluidos, y la orientación fue realizada con los puntos que si eran estables. En cualquier caso, cuando se empleen patrones de puntos de control reutilizables es necesario tener la precaución que estos puntos sean lo más estables posible.

Para crear la red se deben situar las marcas y para poder crear el sistema de referencia se deben tomar varias distancias. Como mínimo se deben medir tantas distancias como incógnitas de las coordenadas de los puntos, para poder calcular por trilateración las coordenadas de todos los puntos. Pero siempre se han tomado distancias de más, así se tiene redundancia para poder realizar el ajuste por mínimos cuadrados.

La mayoría de los sistemas de referencia que se han usado, solo se han definido en dos dimensiones (XY). Se calcularon por trilateración las coordenadas

planimétricas (2D). Pero una vez que estaba definido el sistema 2D pasarlo a un sistema tridimensional resultó simple ya que bastaba con darle una cota constante a todos los puntos que estaban sobre la superficie plana.

En la imagen que hay a continuación (Figura 23) Se muestran las distancias que se tomaron, entre las marcas, para poder realizar el ajuste y así calcular las coordenadas de todos los puntos de control.

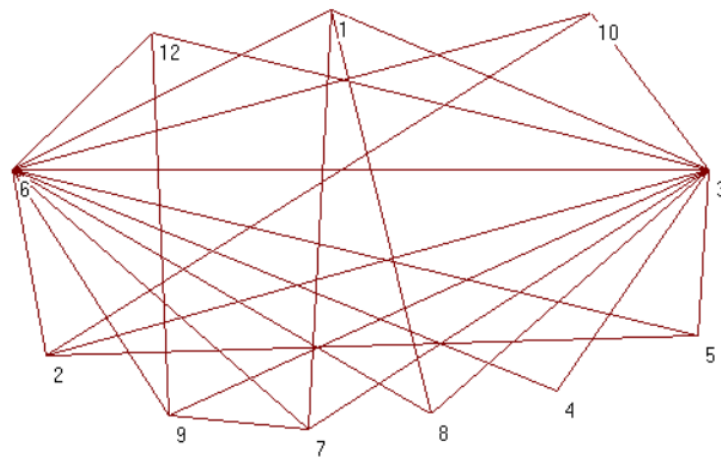


Figura 23. Distancias tomadas entre los puntos de control, para el cálculo de coordenadas planimétricas por trilateración.

Por otro lado, para muestras de tamaño más reducido se han probado diferentes tipos de plataformas y cajas de luz. En algún caso, como por ejemplo la huella más pequeña del *Brachychiroterium*, se usó una plataforma giratoria (Figura 24). El fósil quedó situado en el centro, la cámara estaba situada en el trípode y se mantuvo fija, y foto tras foto, se iba girando la plataforma y con ella el fósil. Este fósil se fotografió de esta manera ya que la información interesaba estaba en la superficie, por lo que no era necesario voltearlo.

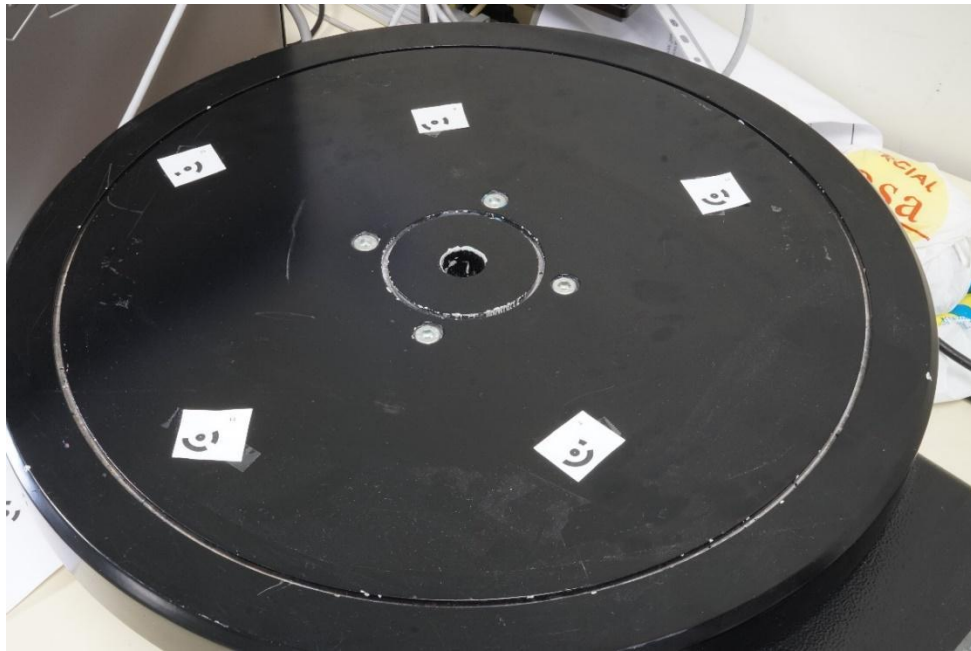


Figura 24. Plataforma giratoria

Otra de las redes que se ha usado es la que se muestra en la Figura 25. Para el cálculo de estas coordenadas, primero se calcularon las de la base, a partir de un escaneo (Figura 26), con la imagen se sacaron las coordenadas pixel del centro de las marcas, y así se obtuvieron estas cinco coordenadas con bastante precisión. Para el cálculo de las demás se tomaron varias fotografías de toda la base, y se realizó el ajuste en PhotoScan, a partir de las 5 coordenadas que si eran conocidas.

Gracias a este ajuste, para los fósiles que se han fotografiado sobre esta plataforma (Nothosaurio 1 y los dos dientes de *Hipparion*) se tenía un sistema muy bien definido por lo que se reducían posibles errores.

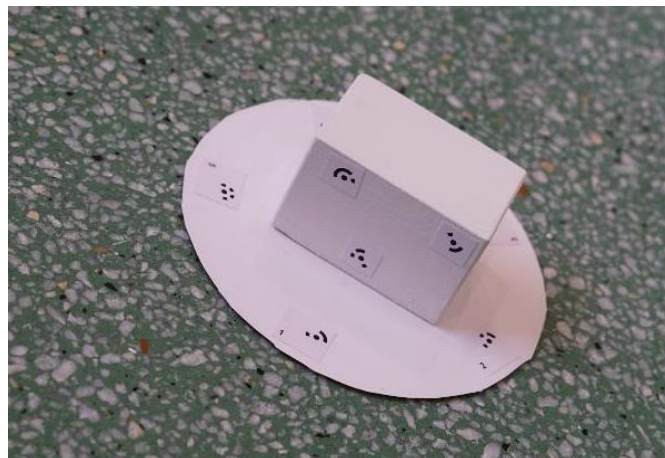


Figura 25. Red de puntos de control



Figura 26. Imagen escaneada de puntos de control

3.3.2. Puntos de control/ marcas codificadas

Una vez obtenidas las coordenadas espaciales de los puntos de control, estos han definido el sistema de referencia. Las marcas que se han usado son anulares con sistema de codificación de 12 bits. La medida se refiere al centro de la marca definido por un círculo con una pequeña señal de puntería en su centro (válida también para su medida manual en caso de no ser posible la medida automática). Estas marcas se han impreso con una impresora láser en negro sobre papel adhesivo blanco a partir de PhotoScan a un tamaño acorde al tamaño de las muestras.

Al tratarse de marcas codificadas, cuando se procesan las imágenes, los actuales programas de fotogrametría de objeto cercano, entre ellos PhotoScan, disponen de herramientas que rastrean las fotografías, son capaces de identificar el centro de la marca e indicar el número de esta marca o target. Gracias a esto, es bastante rápida la medida e identificación de las marcas. Sin embargo, los sistemas de reconocimiento automático frecuentemente fallan en caso de marcas muy deformadas por la perspectiva, falta de contraste, imágenes borrosas, no se ha capturado toda la imagen de la marca o está parcialmente oculto el código, etc. En

estos casos, si la marca de puntería del círculo central es visible y está nítida, en la mayor parte de los casos es posible la medida manual.

3.3.3. Combinación de redes

En las muestras que hemos fotografiado hay algunas que por su forma volumétrica interesaba digitalizarlas al completo (Vertebras, cráneo, ostreido y el tórax), mientras que otras la zona de la base constituida por la matriz del sedimento no interesaba digitalizar ya que no aportaba información.

Las piezas que se han digitalizado por completo se han tenido que fotografiar en dos posiciones distintas, para que todas las zonas quedasen fotografiadas y reconstruir el modelo 3D al completo. Primero la pieza se colocaba en una posición (generalmente apoyada sobre una base de plastilina) y se fotografiaba por completo según una red radial. Después, se giraba la pieza 180° y se colocaba sobre la base en la nueva posición, volviéndose a fotografiar. En la Figura 27 se muestra este proceso de giro que se le da a la pieza, y las dos posiciones que tiene para fotografiarlo.

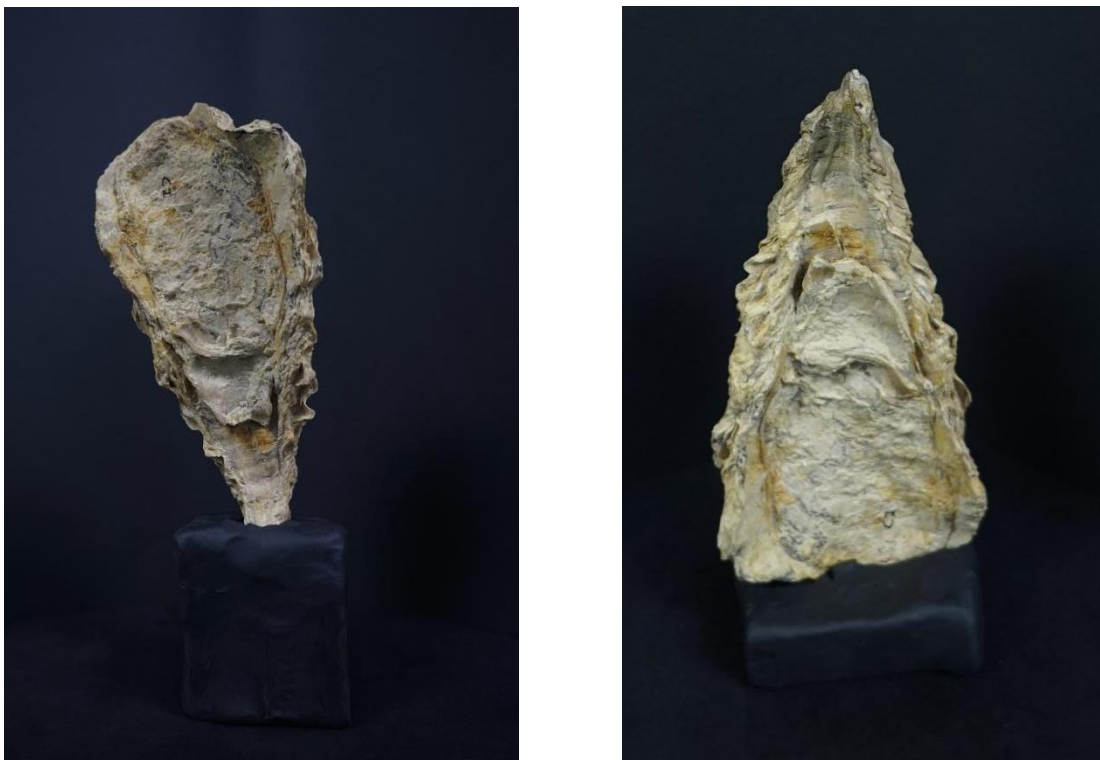


Figura 27. Fósil de Saccostrea en dos posiciones para fotografiarlo

En esos casos, los puntos de control sólo se han medido en una de las posiciones. Por eso en algunos se han tenido que realizar por separado la

orientación y generación de la nube de puntos de las imágenes en que esta la muestra en una posición y otra orientación para el resto de fotografías. Una vez que estaban creadas las dos redes de trabajo, se han situado varios puntos comunes en ambas redes, como se ve en la Figura 28. De esta forma, las dos redes de trabajo quedan en un único sistema de referencia común.

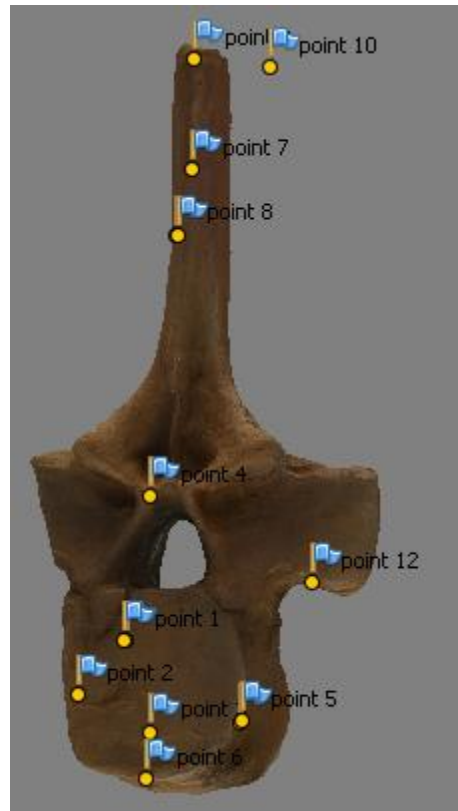


Figura 28. Puntos comunes para unir las redes de fotografías en el caso de objetos volumétricos.

Otras opciones que se han empleado para definir más de una red de trabajo, fotogramétrica en este caso, ha sido el caso de una de las muestras de las huellas del *Brachychiroterium*, ya que hay una zona de gran detalle donde se aprecian las escamas de la piel del animal que generó la huella. Esa región interesaba por tanto definirla con mayor precisión. Se generó un modelo de la muestra con una calidad (es decir densidad de puntos) media, y la zona de interés en otra red que se realizó a mayor calidad (Figura 29), y después se unieron ambas redes, quedando la huella en general sin información redundante (lo que se traduce en un archivo del modelo 3D de tamaño moderado), pero la zona de mayor interés (más reducida) bien definida a mayor resolución. Generar todo el modelo 3D a suficiente resolución para

que fuesen apreciables estos detalles supondría en muchos casos exceder las capacidades de procesamiento de ordenadores convencionales o, en su caso, generar modelos 3D de un tamaño de archivo difíciles de manejar o de visualizar.

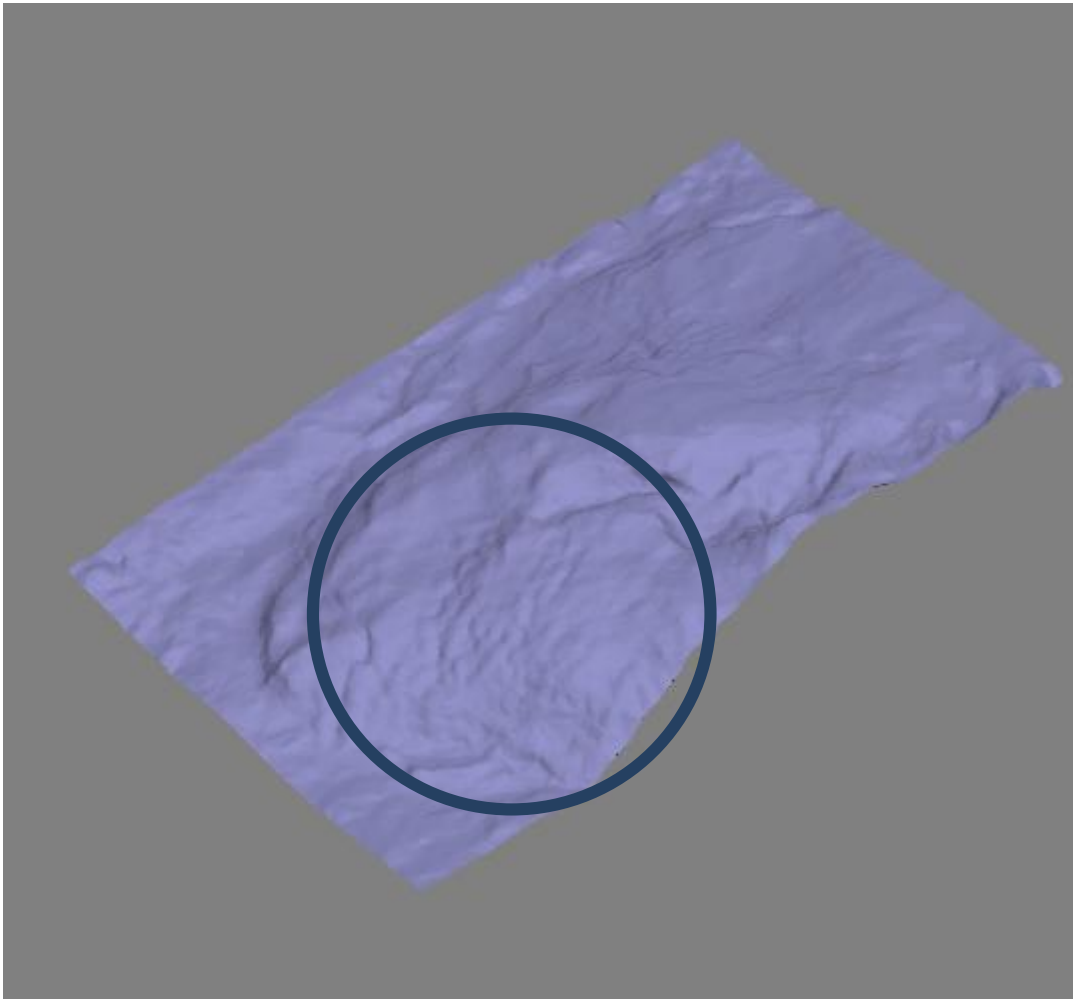


Figura 29. Zona de interés en huellas. Se aprecian detalles de las escamas del animal que generó la huella.

Es necesario resaltar que el empleo de puntos de control permite corregir errores sistemáticos derivados de la inestabilidad de los parámetros internos inherente a la instrumentación no métrica empleada en este trabajo. El uso de puntos de control de coordenadas conocidas facilita la calibración in situ del conjunto cámara+objetivo (básicamente la distancia focal, el punto principal y los coeficientes de distorsión). Si bien, estos parámetros de calibración (Figura 30) sólo pueden considerarse válidos para ese bloque de imágenes que se está procesando.

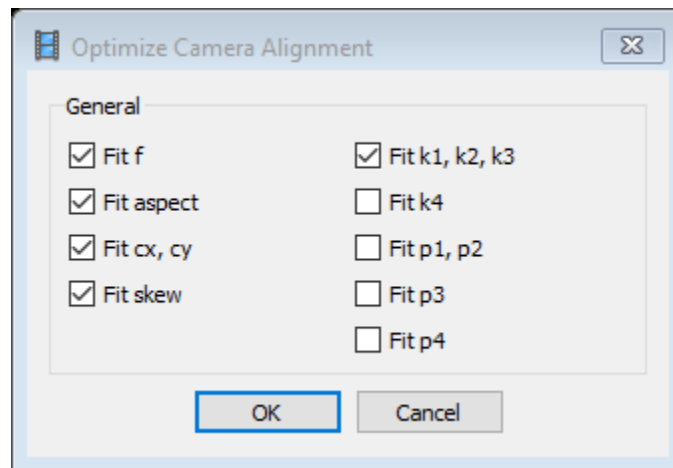


Figura 30. Ventana con parámetros de calibración

3.4. Adquisición de imágenes

Para la toma de los datos han sido varios los aspectos que se han tenido en cuenta. La toma de los datos es una de las partes más importantes del proyecto, ya que todo lo que se realiza posteriormente es en base a lo que se haya realizado en esta etapa. La calidad final de los productos dependerá muy estrechamente de esta fase del trabajo. A continuación se explican detalladamente los aspectos más importantes.

Tras tener las marcas preparadas, tocaba pasar a la preparación de la cámara y sus parámetros, y el fondo sobre el que se fotografiaba.

El fondo debía de ser lo más uniforme posible y de un color que contrastase con las tonalidades de la muestra para que se facilitase la creación de máscaras sobre las imágenes. Gracias a estas máscaras se aislaba el fondo para que no interfiriese con la muestra y la generación de texturas fotorrealísticas. A su vez, el modelo 3D no se veía afectado por puntos del fondo próximos al fósil.

El fondo más idóneo que se ha usado ha sido en cajas de luz, estas cajas eran por completo de un color (blanco, gris o negro), entonces esto ha venido muy bien para en la edición posterior aislar la muestra y quedarnos solo con la zona de interés. En la figura 31 se ve cómo queda el fósil en la caja de luz.

Se han usado dos cajas de este tipo, y son muy útiles, ya que permiten la iluminación del objeto de manera uniforme.

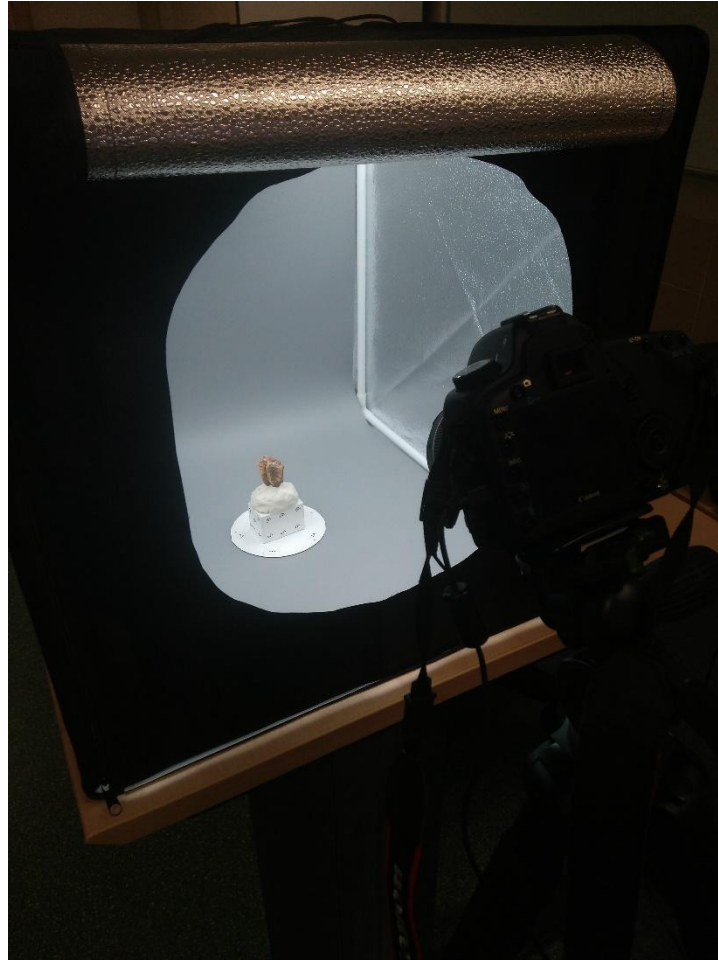


Figura 31. Caja de luz

Algunas piezas, debido a su tamaño (huellas de *Brachychiroterium*, cráneo, tórax de pinnípedo), no se han podido fotografiar dentro de estas cajas. Aunque se situaron sobre un fondo de papel blanco, por lo general han quedado elementos del fondo que ha costado algo más aislar.

En la tabla 4 se muestran los parámetros de captura de cada uno de los ejemplares. Uno de los parámetros más importantes a la hora de la toma de las imágenes ha sido la apertura del diafragma sobre todo en el caso de muestras pequeñas para garantizar la profundidad de campo. En estos casos ha sido necesario el empleo de un trípode para garantizar la adecuada nitidez de las imágenes ya que se requerían tiempos de exposición prolongados para las aperturas reducidas del objetivo que permitían una adecuada profundidad de campo y un nítido enfoque.

	Cámara	ISO	Tiempo Exposición (s)	Apertura Objetivo	Focal (mm)
Dientes	Canon	100	1/6;1/5;1/4	22	50
Huellas	Sony	250	1/3 – 1.3	22	30
Not 1	Sony	200	1/6; 1/4; 0.4	22	30
Not 2	Sony	250	1/3; 1/4; 1/5	22	50
Not 3	Sony	250	1/3; 0.4 ;0.5	22	50
Ostreido	Sony	3200	1/13 – 1/2	22	30
		100		10	
Pinnípedo	Sony	200	1/80 - 1/13	4; 9	30
Trilobites	Canon	100	1.3	16	50
Ballena	Sony	200	1/100 – 1/10	3.2	30

Tabla 4. Parámetros de Cámaras en cada una de los fósiles

De acuerdo a los objetivos que se disponían se han ajustado el resto de valores. En las piezas pequeñas hubiese interesado disponer de un objetivo macro de cobertura angular normal, para de esta manera poder acercarnos más a las piezas manteniendo un adecuado enfoque.

Tras haber decidido el objetivo (la distancia focal) se ajustaban el resto de valores. La ISO, se ha procurado poner siempre los valores mínimos, para tener la máxima sensibilidad y menor ruido posible en la imagen.

En un mismo fósil, pero en distintas tomas, el tiempo de exposición variaba, en función de la distancia que estuviese separado la cámara del fósil, al acercarse, el tiempo de exposición debía aumentar al tener que cerrar más el diafragma para mantener la profundidad de campo.

3.5. Procesamiento

3.5.1. Orientación

Convencionalmente, la orientación externa en fotogrametría se divide en dos partes, la orientación relativa y la orientación absoluta. En la orientación relativa lo que se busca es que un bloque de imágenes solapadas entre ellas se sitúen unas

con respecto a las otras en la misma posición perspectiva que tenían cuando se tomaron las imágenes. Esto se realiza mediante procesos de medida automática de puntos y *matching* buscando en las zonas comunes de solape entre las diferentes imágenes los puntos homólogos. La orientación relativa se hace sobre un sistema de referencia arbitrario (en cuanto a origen, orientación angular y escala) si bien habitualmente se sitúa en el centro de proyección de la primera imagen que se procesa o muy próximo a éste. Clásicamente, la orientación relativa se hacía por pares de imágenes mediante el modelo de coplanaridad. Actualmente se emplean técnicas de visión computador basadas en Structure from Motion (SfM) mediante modelos matemáticos derivados de la bien conocida transformación lineal directa (DLT). Una vez estimada una orientación relativa inicial de las imágenes, todo el bloque se procesa mediante ajuste simultáneo de haces (Hartley, 2004),

Para facilitar el alineamiento (orientación) de las imágenes, conviene marcar previamente los puntos de control y así, junto con la existencia de puntos homólogos iniciales medidos, se agiliza el proceso de orientación.

Por otro lado, la orientación absoluta sirve para situar el modelo sobre el sistema de referencia de coordenadas que se desee. En nuestro caso, se trata de un sistema local que tiene que estar ajustado en escala. Este sistema se establece a partir de las coordenadas que poseen los distintos puntos de control. Se pasa de tener coordenadas arbitrarias a tener un sistema de coordenadas local.

Para cada uno de los restos fósiles se ha usado un sistema de coordenadas distinto. En estos casos el sistema de referencia no es importante, ya que para lo que sirve es para escalar la pieza y para que ésta quede bien posicionada conforme a la forma del fósil.

Antes de empezar la orientación con PhotoScan, se deben de calcular las coordenadas de los puntos de control. Esto es lo que se ha hecho con el programa Adjustment computation de Ghiliani y Wolf (2006). Dentro del programa se ha usado la herramienta de “Perform Horizontal LSQ adjustment” (Ajuste horizontal de mínimos cuadrados). Para ello, se requiere la siguiente información:

Nombre del fichero de entrada de datos (formato txt y de extensión *.dat)

5 dígitos, separados por comas, con los siguientes datos:

Número de distancias observadas

Número de acimut observados

Número de ángulos observados

Número de puntos con coordenadas conocidas

Número total de puntos de control

Coordenadas de los puntos de control (primero las conocidas y después las aproximadas)

Y por último, las distancias (primero se indican los códigos de los puntos y después el valor de la distancia observada).

Tras introducir este fichero, el programa una vez calculada la trilateración devuelve otros dos ficheros, uno en el que aparecen únicamente las coordenadas calculadas de todos los puntos, y otro en el que, además de dichas coordenadas, también se proporciona información adicional como, por ejemplo, el número de iteraciones, la redundancia del ajuste, precisiones de los resultados, entre otra información. Como se ha indicado anteriormente, el cálculo de la trilateración devuelve coordenadas planimétricas de los puntos, por lo que se les considera a todos la misma cota obteniéndose, por tanto, las coordenadas 3D finales de los puntos de control.

Una vez que ya se tienen calculadas estas coordenadas ya se puede pasar a la orientación de la pieza.

El procedimiento que se ha llevado a cabo con el software de PhotoScan para la orientación ha sido el siguiente:

- Cargar imágenes
- 1º alineamiento: se hace un primer alineamiento (el término alineamiento dentro del flujo de trabajo de PhotoScan se puede considerar equivalente

de orientación) en calidad baja o media, una primera orientación externa de forma general y aproximada. El hecho de trabajar con calidad baja o media implica que el proceso de medida de puntos homólogos se realiza sobre los niveles de la pirámide de imagen de resolución baja o media. Aunque puede tener en algunos casos menos precisión que trabajar con calidad alta, si se trabaja con bloques con gran número de imágenes de alta resolución hace más eficiente el procesado inicial.

A continuación para mejorar la orientación (en ocasiones se facilita la tarea inicial de alineamiento hacerlo antes del caso anterior), se marcan en las imágenes la posición de las targets. Esto se hace de forma automática desde la herramienta de detectar marcas. De esta manera se pueden medir la gran mayoría de las marcas codificadas, si bien pueden quedar algunas sin medir porque el programa no las detecte, bien porque no estén adecuadamente definidas en la fotografía, parcialmente ocultas o demasiado inclinadas respecto al eje de la cámara. Todas aquellas marcas que no se detecten automáticamente pero en las que el centro del círculo central se aprecie bien, y se pueda marcar sin introducir error, su medida se hará de manera manual.

Lo siguiente que se debe hacer es indicarle al programa cuales son las coordenadas de los puntos de apoyo y/o distancias entre estos. La utilidad de esto es para escalar el modelo y orientarlo en el sistema de referencia final. En caso de no disponer de coordenadas 3D de los puntos, siempre es posible ajustarlo en escala en base a distancias medidas. En este caso, salvo la escala, no se controlará la disposición (origen y orientación angular) del sistema de coordenadas. En este paso se realiza la orientación absoluta del modelo, donde se pasa de un sistema de referencia arbitrario a otro determinado por el usuario. Para introducir las distancias y/o coordenadas en PhotoScan debe de ser dentro de la ventana de "Reference", una vez aquí hay tres pestañas:

- Cámaras: aquí si fuesen cámaras calibradas y se supiese las coordenadas desde donde se tomó cada una de las fotografías (datos de posicionamiento), se indicarían dichas coordenadas, ya que esto también serviría para la orientación externa. Pero en nuestro caso no tenemos dicha información, por lo que en esta pestaña no se indica nada.

- Marker/marcadores: aquí se indican las coordenadas de los puntos de control. Se han usado las marcas codificadas de PhotoScan, cada una de las marcas sería distinta del resto, quedando cada una de ellas perfectamente identificadas en todas las imágenes en que aparezcan. Ahora se indican las coordenadas que corresponde a cada una de las marcas. Estas coordenadas son las que se calcularon con anterioridad por mínimos cuadrados y a partir de las distancias que se tomaron entre las marcas.
- Scale Bar: en este apartado, si se pueden añadir las distancias entre las marcas, u otras distancias que se hubiesen tomado. Estos datos servirán para el escalado o para medidas de comprobación.

Por último, una vez que todas las imágenes se han orientado, se han medido todos los puntos de control y se han introducido, en su caso, medidas de distancia de control o comprobación, es posible optimizar el proceso de orientación y refinar los parámetros de calibración de la cámara en un ajuste global de haces del bloque.

En este proceso de orientación final y optimización se tendrán en cuenta todos datos que se han introducido (distancias, coordenadas, posición de las target sobre las imágenes, etc.). Y este nuevo alineamiento se hará en una calidad superior a la anterior. Tras la finalización de este paso, ya tendremos hecha la orientación final del bloque.

3.5.2. Nube de puntos y triangulación

Tras tener las imágenes orientadas, el siguiente paso es generar la nube de puntos y posteriormente la triangulación. Pero para facilitar que ambos productos se obtengan únicamente del fósil, se deben introducir las máscaras eliminándose por tanto la posibilidad de incluir en el modelo 3D puntos medidos fuera de la muestra. Hay que indicar que las máscaras deben utilizarse también en la fase de orientación (alineación) si los puntos medidos en el fondo uniforme generan excesivo ruido que afecte a la propia orientación.

La utilidad de las máscaras es dejar solo la zona que nos interese en cada una de las fotografías. En nuestro caso, el objetivo es quedarnos solo con el fósil y descartar todo lo que corresponda al fondo, por eso era importante que se preparase

un fondo uniforme y lo más distinto posible de la pieza. En el software nos da varias formas de crear la máscara (figura 32), a partir de tres herramientas:



Figura 32. Herramientas para la creación de las máscaras

- Rectángulo: no da la opción de dibujar un rectángulo con las dimensiones que deseemos y donde se quiera, y una vez seleccionada la zona que nos interese, tenemos dos opciones (añadir a la selección o sustraer) cuando se añade se incluye en la máscara la parte que no nos interesa, mientras que si se sustrae se quita de la zona de interés.
- Tijera inteligente: esto permite realizar una polilínea para ir modificando la máscara. Esta opción es más flexible que la anterior, y se adaptara mejor, si bien es manual y resulta un proceso laborioso en caso de disponer de un número elevado de imágenes.
- Varita Mágica: esta opción es la más útil ya que distingue el fondo del fósil de forma automática. Hace la separación en función de la diferencia de niveles digitales dentro de la imagen. Se le puede configurar el nivel de tolerancia para que sea más eficiente la separación entre zonas de interés y el fondo. Por ello, es importante la existencia de un fondo lo más uniforme posible bien contrastado con la muestra en sí (de ahí la importancia del uso de las cajas de luz y la correcta iluminación).

Por lo general se ha usado primeramente la opción de la varita mágica, y posteriormente, si era necesario ajustar alguna zona ya se empleaba el comando de la tijera inteligente para mejorar algún contorno que no se hubiese adaptado correctamente.

Una vez que ya están las máscaras de todas las fotografías ya se puede pasar a realizar la nube de puntos. Una nube de puntos se define como el conjunto de puntos tridimensionales que, en su conjunto, forman el elemento. En este caso los puntos se crean a partir de las fotografías que están orientadas. Una vez se miden puntos singulares en una imagen, se buscan sus homólogos en el resto de las imágenes, calculándose por intersección espacial sus coordenadas 3D a partir de la información medida en todas las imágenes en las que aparece. La calidad y

precisión de estos puntos dependerá de varios factores como el número de imágenes en las que aparezca (redundancia) o de la correcta geometría de intersección (convergencia) de los haces homólogos. Cada punto de la nube tendrá sus coordenadas referidas al sistema de referencia usado y definido por los puntos de control. Uno de los factores clave en la generación de las nubes de puntos es la densidad de puntos, o lo que viene a ser la cantidad de puntos empleados para definir el elemento. A mayor densidad mejor definido quedará el objeto de interés, si bien será necesario buscar un equilibrio entre la resolución necesaria del modelo 3D, el tiempo de cálculo, la potencia del procesador y memoria del ordenador de trabajo, así como del tamaño de los archivos finales. En función de la densidad que se le dé a la nube, los puntos estarán más separados o menos. Todos estos puntos deben de estar distribuidos de manera homogénea.

En PhotoScan desde la opción de Workflow (proceso de trabajo) se indica la opción de crear nube de puntos, en la figura 33 se ve la ventana que se abre.

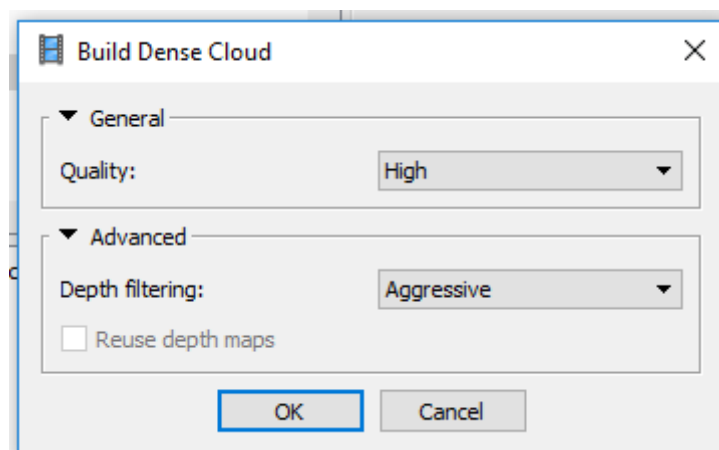


Figura 33. Configuración para crear la nube de puntos

Una vez abierta esta herramienta nos pide que se le indiquen dos parámetros:

Calidad: esto nos pide la densidad o lo que es lo mismo, la cantidad de puntos que se generaran para definir el fósil. Las opciones que da son desde muy baja a muy alta. Por lo general en la mayoría de los fósiles se ha hecho con calidad media o alta, dependiendo del fósil.

En algún fósil, se han utilizado densidades distintas, dando mayor cantidad de puntos en las zonas que hubiese algún detalle relevante.

Profundidad de filtrado: aquí el programa nos da a elegir entre: agresivo, desactivado, suave, moderado. Esta opción nos sirve para elegir lo que se desee hacer con puntos que estén más alejados de la superficie. Si se marcara desactivado no haría nada con ellos, si elegimos suave o moderado, solo suprimirá los que estén muy alejados. Y la opción de agresivo es en la que más puntos se suprimen. Es la que viene por defecto, ya que esos puntos no es idóneo que se incorporen en la nube de puntos. Y es la opción de agresivo la que se le ha dejado para realizar nuestras nubes de puntos y que se ajuste mejor a la superficie del fósil. En cualquier caso la selección de una u otras opciones puede venir condicionada por la calidad y textura de la imagen.

Tras indicar la calidad y la profundidad de filtrado el programa empieza el proceso de crear la nube de puntos. Cada uno de los puntos que se genera tiene un color asignado (procedente de las texturas de las imágenes originales), por eso una vez que la nube de puntos esta generada ya se puede reconocer el fósil perfectamente.

Una vez que la nube está formada, se comprueban los puntos, por si hubiese algunos que pudiesen inducir a error, como por ejemplo puntos que no pertenecen al fósil, sino al fondo, o errores manifiestos de medida. Hay herramientas para poder editar y depurar la nube de puntos.

Ahora a partir de la nube de puntos se calcula la triangulación. La triangulación es el resultado de unir los puntos de la nube, para así formar superficie, una malla que cubra totalmente la superficie del fósil, y quede definido en su totalidad. Para calcular la triangulación se deben de indicar varios parámetros, (figura 34):

- Tipo de superficie
- Origen de los datos
- Total de caras: se puede indicar alta, baja o media. A mayor número de caras mejor quedara definido el fósil en la triangulación, aunque si la nube de puntos es muy densa y con mucho ruido resultará en una superficie definida igualmente con mucho ruido. También existe la opción de introducir un valor del número de caras definido por el usuario.

- Interpolación: se ha dejado la opción que viene por defecto, que es la interpolación activada.
- Clases de puntos: aquí nosotros hemos dejado marcada la opción de todos. Esta opción es por si los puntos estuviesen clasificados en diferentes grupos (terreno, vegetación, edificación, etc.), y solo se quisiese hacer la triangulación sobre algún grupo o varios. En el caso que nos ocupa podría tener sentido en el caso que se hubiese dispuesto de una clasificación en base a puntos pertenecientes, por ejemplo, al fósil o a la matriz de sedimento.

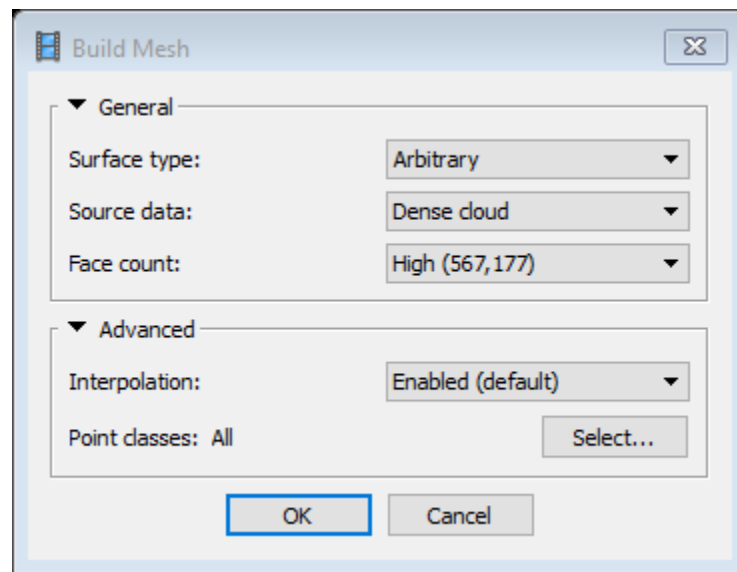


Figura 34. Configuración para crear la triangulación

3.5.3. Texturas

Una vez que tenemos construida la triangulación (malla de triángulos que define la superficie) se aplicará textura a toda la superficie de la malla. La triangulación solo definía una geometría, no tenía asociado colores que describiese cromáticamente la superficie, por eso hay que aplicar texturas, bien seleccionadas por el usuario de una serie de materiales o a partir de las imágenes originales (texturas fotorrealísticas).

En este último caso, las texturas son el resultado de combinar las fotografías y a partir de ellas extraer distintos fragmentos que se irán pegando sobre todos los triángulos de nuestra malla. De esta manera, la triangulación quedará mejor definida,

ya que ahora tendrá implícitos, además de la forma, la textura (el color y aspecto) que tiene el fósil en la realidad.

Desde PhotoScan, en el proceso de trabajo, se abre la herramienta de construir textura (Figura 35). Los parámetros que se indican para su creación son:

- Modo de crear el mapa, donde se indica que será de modo genérico (útil para generar modelos 3D, a diferencia de modelos 2.5D, si bien requiere mayor esfuerzo computacional).
- Modo de combinar: se deja el que viene por defecto, que es mosaico. Esta opción es para elegir como se quiere que se realice la unión entre los distintos segmentos, en función de las características geométricas del objeto.
- Se podría activar la corrección del color, pero ajustar radiométricamente las texturas procedentes de diferentes imágenes. En nuestro caso, lo hemos mantenido desactivado, ya que la iluminación en general es muy homogénea y su activación suponía una mayor carga de cálculo.

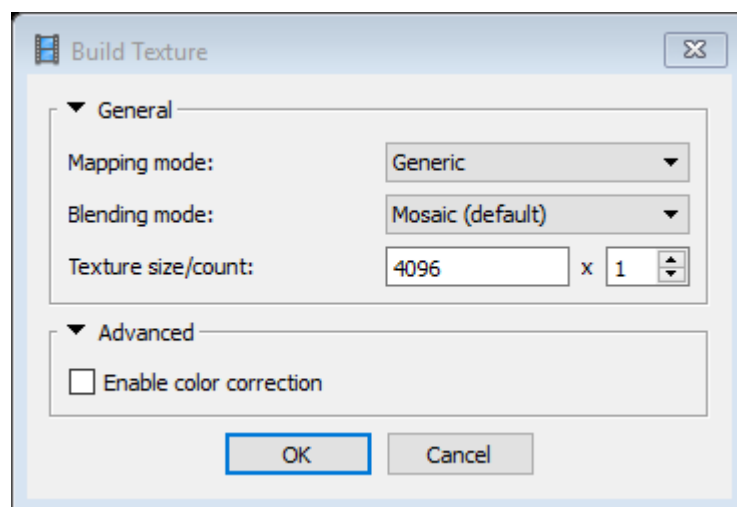


Figura 35. Configuración para crear la triangulación

3.5.4. Modelos

El modelo resulta de unir la triangulación y la textura y es ya uno de los resultados finales que se obtienen con PhotoScan. Una vez generado el modelo 3D, se debe exportar para su explotación y edición final con otros software de procesamiento de modelos 3D. PhotoScan admite los formatos de exportación más comunes, uno

de ellos es en PDF 3D. Este formato es muy útil, ya que se puede visualizar por cualquier usuario que disponga de Adobe® Acrobat®. Además, en función de la versión, no sólo es posible la visualización y difusión libre del modelo, sino que también se permite, dentro de ciertas limitaciones, medidas sobre el objeto 3D. En el apartado de productos finales se han añadido los modelos pdf 3D de todas las muestras.

Otro de los formatos en los que se puede exportar el modelo 3D es el Wavefront 3D Object file (OBJ). Este formato que contiene las coordenadas 3D (líneas poligonales y puntos), mapas de textura y otra información del objeto, es un formato estándar de archivos de modelos 3D (desarrollado por Wavefront Technologies) que es posible abrirlo con la mayor parte de aplicaciones que procesan modelos 3D, ya sean de uso libre o bajo licencia. A través de este formato se han seguido editando y procesando los modelos mediante el software CloudCompare.

3.5.5. Secciones

Otros productos que se pueden obtener de los fósiles digitalizados son las secciones. Las secciones se han obtenido con el software libre CloudCompare. Las secciones se pueden hacer tanto a partir de las nubes de puntos como del modelo. Estas secciones pueden ser interesantes, desde el punto de vista del análisis morfométrico, para poder analizar los fósiles a partir de varios cortes, ya sean transversales o longitudinales, según interese más, en función de la forma del fósil.

En las dos imágenes que se muestran a continuación (figuras 36 y 37) se pueden ver las secciones realizadas del fósil del trilobites. En este ejemplo cada una de las secciones se ha realizado con un intervalo de 15 mm y cada una con un ancho de 5 mm. En ambas imágenes se muestran las secciones resultantes

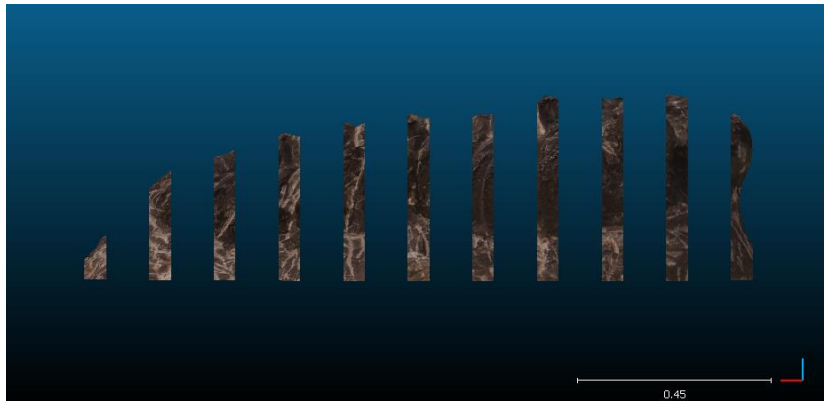


Figura 36. Secciones Trilobites (Plano proyectado XZ)

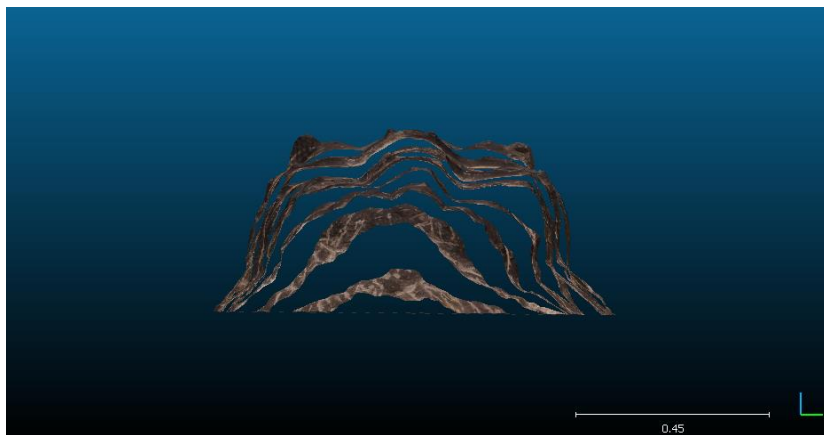


Figura 37. Secciones Trilobites (Plano proyectado YZ)

3.5.6. Ortoimágenes

Las ortoimágenes son otro de los productos que se pueden obtener una vez que ya tenemos las muestras digitalizadas. Estas ortoimágenes se pueden generar, exportando los datos necesarios, mediante otros sistemas de fotogrametría convencional como Socet Set (BAE Systems) o Imaging Photogrammetry (HEXAGON Geospatial), pero también se pueden generar con PhotoScan. En PhotoScan, una vez generado el modelo, se selecciona construir ortomosaico, y se especifican las opciones del mosaico (entre otras, el tamaño del GSD, plano sobre el que se desea proyectar la ortoimagen, etc.).

En este trabajo, se han generado las ortoimágenes de todos los fósiles. En cada una de las muestras, el fósil se ha proyectado sobre el plano que se ha considerado más interesante en función de la geometría de aquel.

Tras generar las ortoimágenes de todos los fósiles, como productos adicionales se ha realizado una producción cartográfica de cada uno de los ejemplares y, mediante AutoCAD, se ha añadido a las diferentes ortoimágenes el cajetín, la escala gráfica (para permitir la impresión a diferentes tamaños) y otros datos relevantes del fósil. El resultado alcanzado se puede ver en el apartado de productos obtenidos. En algunos de estos ejemplos, especialmente en las muestras que presentan un marcado carácter volumétrico, la ortoimagen quizás no sea un producto especialmente útil en aplicaciones paleontológicas dada las deformaciones por perspectiva en las partes no coincidentes con el plano de proyección, en las cuales puede ser difícil visualizar las características del fósil. Sin embargo, en aquellas muestras que presentan un desarrollo geométrico preferente según la planimetría, caso de las huellas fósiles, la combinación de diferentes productos, como pueden ser un modelo digital de elevaciones, la ortoimagen y las curvas de nivel, pueden resultar productos de una gran utilidad en este campo. En las figuras que se muestran a continuación (figura 38 y 39), se pueden apreciar la combinación de productos obtenidos, en una es Modelo Digital de Elevaciones con las curvas de nivel (a una equidistancia de 5 mm) y en la otra, la ortoimagen con curvas de nivel

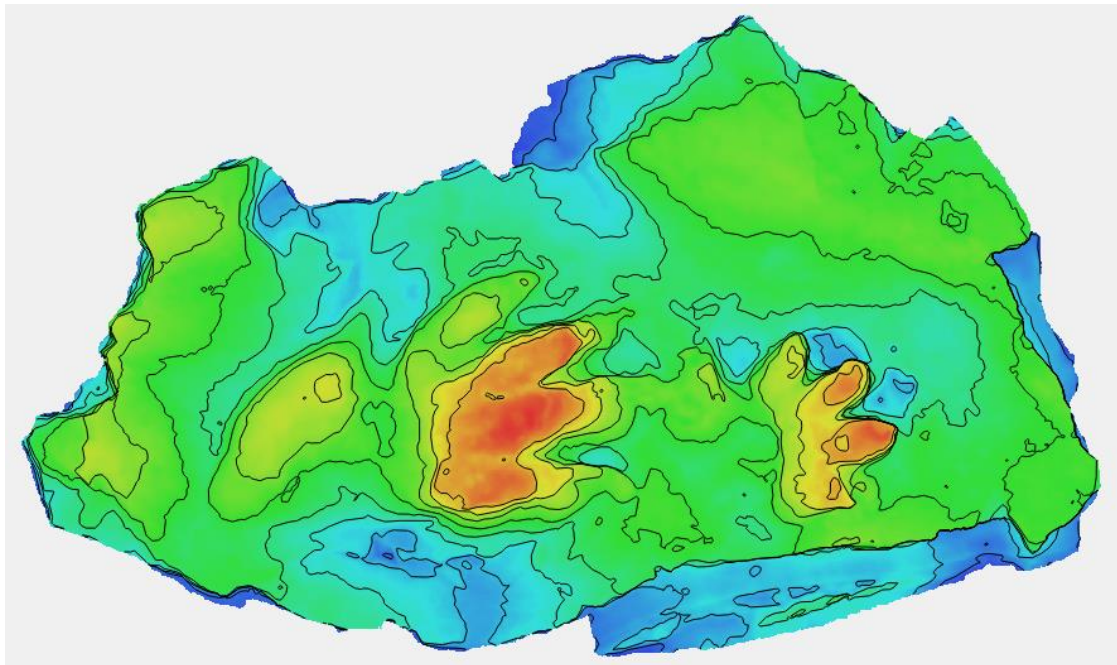


Figura 38. MDE + Curvas de nivel

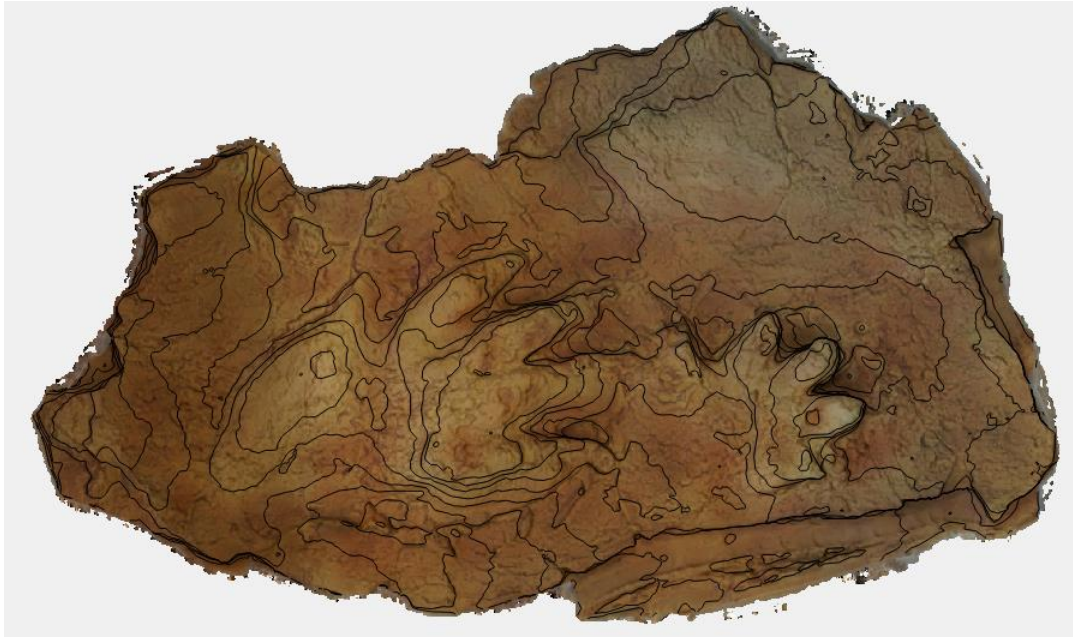


Figura 39. Ortoimagen + Curvas de nivel

3.5.7. Videos

Los videos se han generado con el programa de CloudCompare. El modelo que se creó con PhotoScan, se exportó al formato .obj y este se abrió en CloudCompare. Sobre el modelo se van creando varios puntos de vista, posiciones desde las que interesa visualizar la pieza. Deberán de estar ordenadas de modo que no haya saltos entre una vista y otra. Se seleccionan todos los puntos de vista creados y se genera el video, pudiéndose seleccionar diferentes especificaciones en cuanto a formatos de salida, resolución, número de *frames* por segundo, etc.

Pero para que los videos contuviesen no solo el fósil, si no también información que lo describiese y generar un producto multimedia de difusión se ha realizado el montaje y edición en el programa Active Presenter de Atomi Systems,

4. RESULTADOS. ANÁLISIS

4.1. Control de calidad métrico

Para analizar los resultados se puede generar un informe (*report*) donde se indican diferentes parámetros: error final del ajuste (*reprojection error*), errores planimétricos y altimétricos en puntos de control y de comprobación (*check points*), errores de distancias, el error en pixel de cada una de las marcas, la densidad de puntos que hay por unidad de superficie, la resolución media de las imágenes (mm/pix), los parámetros de calibración de la cámara, etc.

En cuanto a la precisión de los ajustes, se han realizado algunas comprobaciones sobre algunos de los ejemplos, procesando de nuevo los bloques, seleccionando puntos de control y comprobación, así como introduciendo las distancias, no como control de escala sino como distancias de comprobación. Ello nos dio una medida del error relativo de orientación. Hay que tener en cuenta que se parte de un error absoluto en escala que viene del flexómetro empleado en la medida de distancias en varias de las muestras o del error de digitalización en el patrón fijo empleado.

En la tabla que se muestra a continuación (tabla 5) se pueden ver los errores en cada uno de los fósiles, tras haber realizado el ajuste de las fotografías, los puntos de control y distancias. Se puede ver que por lo general el error es inferior al milímetro, por lo que los resultados son muy satisfactorios.

En algunos casos, el error de los puntos de control es algo mayor, como por ejemplo en el nothosauro 2, esto se debe a que la digitalización final se hizo a partir de combinar las dos redes, y esto conlleva a que resulte más complicado que el ajuste sea tan exacto.

O por ejemplo, en el tórax y en el cráneo el error de ajuste es algo mayor que en el resto de casos, esto se debe a que hubo algún desplazamiento de la pieza durante la toma de datos que afectaron a la estabilidad de algunos de los puntos de control. Es necesario insistir de cara a futuros trabajos que, en el caso de emplear patrones de puntos de control reutilizables, estos deben ser lo más estables posible.

Pero igualmente los resultados se han considerado lo suficientemente precisos (de orden submilimétrico).

En algunos fósiles no se han obtenido puntos de comprobación, ya que han sido pocas las marcas empleadas, y se requerían todos los puntos como puntos de control, como por ejemplo en el ostreido donde solo teníamos cuatro target. Esta muestra fue una de las primeras que se definieron y que ayudaron a definir y mejorar el protocolo de trabajo. En cualquier caso, se ha considerado conveniente incorporarla en este TFG.

En los anexos se han añadido todos los report de cada uno de los ajustes, donde se indican toda la información relativa a los errores del ajuste, el desglose de error de todos los puntos y distancias (tanto de control, como de chequeo/comprobación)

	Error de ajuste(pix)	Error PC (mm)	Error Pto. Comprobación (mm)	Error total distancias (mm)
Nothosaurio 1	1.18	0.0417851		0.0199939
Nothosaurio 2	3.65	1.45488		0.311049
Nothosaurio 3	1.85	0.254381		0.294588
Huella 1	0.884	0.622292	1.45557	1.08823
Huella 2	1.98	0.700414	2.09921	0.25515
Huella 3	1.55	0.0981801		0.0562176
Trilobites	1.36	0.628513		0.127562
Cráneo Ballena	4.02	0.438036		0.0976914
Tórax Pinnipedo	4.44	0.278782	2.05921	0.801229
Diente 1	1.36	0.0488498	0.138275	0.0245154
Diente 2	1.36	0.0514539		0.0387956
Ostreido	(*)			

Tabla 5. Resumen con los errores de todos los fósiles. () Sin datos. No se ha podido calcular, ya que solo se tenían observadas dos distancias, y no se han*

estimado coordenadas de puntos de control (su cálculo ha consistido en una orientación relativa ajustada en escala).

4.2. Control de calidad visual

Pero quizás dado que los productos obtenidos tienen una clara utilidad para visualización y difusión del patrimonio, otra forma de analizar los resultados es ver los productos obtenidos y así se ve la calidad visual de cómo han quedado las muestras. Por lo general, los resultados han sido muy satisfactorios, ya que se ven con bastante precisión, tanto en la forma como en la textura y los productos finales resultan visualmente atractivos, cuestión importante cuando se busca la disseminación de los resultados entre público no experto.

Aunque en algunas ortoimágenes el resultado no es el más idóneo, porque las texturas presentan algunos arrastres debido a la complejidad de la forma del fósil. En cualquier caso, estos defectos se han apreciado sólo en algunas zonas reducidas muy localizadas en alguna muestra.

En las figuras que se muestran a continuación (figura 40-43) se aprecian capturas de los modelos. En las dos primeras imágenes se ve que si están correctamente los modelos, mientras que en las otras (42 y 43) se puede ver que hay zonas en las que hay arrastres y esta zona no se aprecia decentemente. Estos errores se podrían solucionar si se hiciesen más fotografías de dichas zonas, aunque si aumentamos el número de fotos para resolver una zona pequeña el método puede resultar inviable.



Figura 40. Captura del modelo de Trilobites



Figura 41. Captura del modelo de vertebra de Nothosaurus



Figura 42. Captura del modelo de diente de Hipparion.



Figura 43. Captura del modelo de Cráneo ballena

5. PRODUCTOS

5.1. Modelos

Aquí se puede visualizar en estas capturas como se ven los modelos tridimensionales obtenidos. Estas imágenes sirven para hacernos una idea del producto obtenido. Pero se puede acceder a su visualización 3D a partir del siguiente enlace que nos direcciona al fichero PDF con el contenido tridimensional.

<https://drive.google.com/file/d/1B3SEvbolUCV7jEbG51MkesaUARK827cb/view?usp=sharing>





Figura 44: capturas de pantalla de los diferentes modelos 3D pdf de las muestras estudiadas

5.2. Ortoimágenes

A continuación se muestran a tamaño reducido de impresión las diferentes ortoimágenes de cada una de las muestras. Las ortoimágenes originales son accesibles desde:

https://drive.google.com/file/d/1-XObjb12Khv_YstEZ_nlh0RmBLqcxcV/view?usp=sharing

























5.3. Vídeo

Finalmente, se ha preparado un vídeo, de carácter divulgativo, que presenta los resultados alcanzados en este TFG:



<https://www.youtube.com/watch?v=qwwP1W9oGP8>



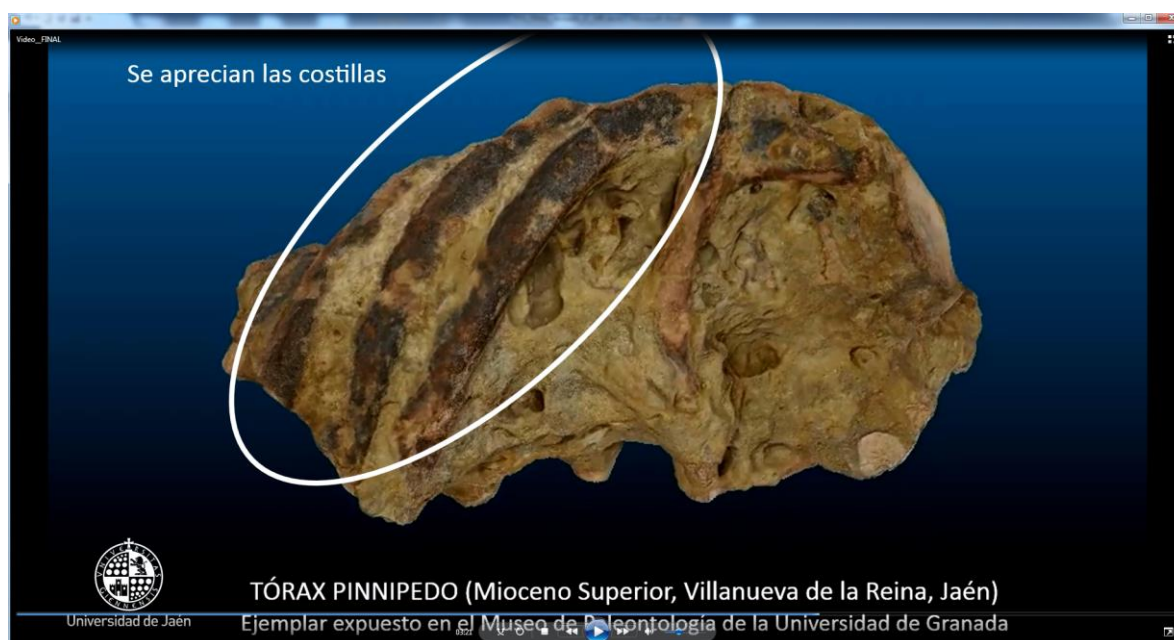


Figura 45. Capturas de pantalla del vídeo divulgativo editado.

6. CONCLUSIONES

Las conclusiones que se han obtenido de este proyecto en líneas generales es que esta técnica fotogramétrica puede resultar muy útil para digitalizar restos fósiles, aunque también sería ventajoso para digitalizar otro tipo de piezas como por ejemplo, restos arqueológicos.

Se puede decir que es una técnica interesante ya que con un coste muy reducido se obtienen resultados de buena calidad.

Para que el método resulte lo más rentable posible hay que buscar el equilibrio idóneo entre el número de fotos y la calidad deseada en los productos. También se debe estimar que no hubiese tomas redundantes y que no quedasen zonas sin los suficientes solapes.

En estos casos los productos obtenidos tienen una calidad media-alta, que es más que suficiente si los productos son para visualización. Pero con las mismas fotografías se podrían obtener con una calidad superior, simplemente que para su generación y visualización sería necesario un ordenador con mayor capacidad de procesamiento. Es posible garantizar precisiones submilimétricas en el caso de muestras de pequeño tamaño (de orden centimétrico a decimétrico).

Con respecto a las redes de los puntos de control, se han comprobado que es un aspecto crucial para facilitar la orientación y es muy importante que haya puntos redundantes para una correcta orientación y permitir además la comprobación de resultados. Y además aporta más precisión al ajuste. Estos puntos de control en caso de pertenecer a patrones reutilizables deben estar contruidos de forma que se garantice su estabilidad. El empleo de patrones reutilizables agiliza y hace más efectivo el proceso de trabajo.

Por otra parte, en las redes que se volteaba el fósil, y se tenían dos redes distintas, se complicaba el proceso de orientación, pero se podía subsanar fácilmente añadiendo puntos de paso sobre la pieza que permitan relacionar dos redes de trabajo diferentes.

Otro de los aspectos importantes, era tener en cuenta el fondo en la toma de las fotografías, ya que si era uniforme y diferenciado de las piezas, se facilitaba bastante la posterior creación de máscaras y se aísla la muestra.

Como conclusión final, decir que mediante esta técnica se han obtenido productos que morfológicamente están muy bien definidos y que pueden resultar muy interesantes para posteriores estudios paleontológicos, o simplemente para la conservación digital de los fósiles y su difusión.

7. BIBLIOGRAFÍA

Agisoft (2018) Agisoft Photoscan. www.agisoft.com (último acceso junio 2018)

Aguirre, J., 1998. Biosconstrucciones de *Saccostrea cucullata* Born, 1778 en el Plioceno superior de Cádiz (SO de España): implicaciones paleoambientales y paleoclimáticas. *Revista Española de Paleontología*. 13, 27-36.

Atomi System (2018). Active Presenter. www.atomisystems.com (ultimo acceso junio de 2018).

Autodesk (2010). AutoCAD 2010. www.autodesk.es

CloudCompare (2018). Cloud Compare: 3D point cloud and mesh processing software. Open source project. www.cloudcompare.org (ultimo acceso junio de 2018)

Ghiliani, C.D. y Wolf, P.R: (2006). *Adjustment Computations: spatial data analysis*. John Wiley & Sons, USA.

Hartley, H. (2004). *Multiple view geometry in computer vision*. 2nd. Ed., Cambridge University Press.

ISPRS (2018). Página web de la International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS). (Último acceso julio de 2018).

Niemeyer, J., 2002. Invertebraten und Vertebraten aus dem Muschelkalk von Siles (Jaén), Spanien. *Münstersche Forschungen Geologie und Paläontologie* 94, 99 pp.

Pérez-López, A., 1993. Estudio de las huellas de reptil del icnogénero *Brachychiroterium*, encontradas en el Trías Subbético de Cambil. *Estudios Geológicos*. 49, 77-86.

Reolid, M. y Reolid, J. (2014). Acumulaciones de restos de notosaurios relacionadas con inundaciones catastróficas en el sureste de Iberia durante el Triásico. *Pangea*, 2, 56-61

Reolid, M. y Reolid, J. (2015). *Vertebrados fósiles de Jaén. interpretación paleoecológica*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Jaén. 152 p.

Reolid, M., García-García, F., Reolid, J.ñ, de Castro, A., Bueno, J.F., Martín-Suárez, E. (2016). Palaeoenvironmental interpretation of a sand dominated coastal system of the Upper Miocene of Eastern Guadalquivir Basin (south Spain): fossil assemblages, ichnology and taphonomy. *Journal of Iberian Geology*, 42, 275-290.

Reolid, M., Pérez-Valera, F., Benton, M.J., Reolid, J., (2014). Marine flooding event in continental Triassic facies identified by a nothosaur and placodont bonebed (South Iberian Paleomargin). *Facies* 60, 277-293.

SEP (2018). Patrimonio paleontológico. Sociedad Española de Paleontología. <http://sepaleontologia.es/patrimonio-paleontologico/> (último acceso mayo de 2018).

8. ANEXOS

8.1. Ficheros de la orientación:

8.1.1. Huella 3

- Fichero de entrada

```

7 0 0 2 5
7 500000 500000
12 797000 500000
11 600000 600000
8 700000 400000
111 550000 400000
7 12 297000
7 11 171000

7 8 263500
7 111 204500
11 12 205000
12 8 147000
111 8 172000

```

- Fichero de salida

```

Number of Control Stations      — 2
Number of Unknown Stations     — 5
Number of Distance observations — 7
Number of Angle observations   — 0
Number of Azimuth observations — 0
*****
Initial approximations for unknown stations
*****
      Station      X      Y
=====
          11      600,000    600,000
           8      700,000    400,000
         111      550,000    400,000
Control Stations
~~~~~
      Station      X      Y      Sx      Sy
=====
          7      500,000    500,000     0.0     0.0
         12      797,000    500,000     0.0     0.0
*****
Distance Observations
*****
      Station  Station  Distance
      Occupied  Sighted
=====
          7      12      297,000
          7      11      171,000
          7       8      263,500
          7     111      204,500

```

```

      11      12      205,000
      12      8      147,000
      111     8      172,000
*****
Adjusted stations
*****
      Station      X      Y      Sx      Sy
=====
          7      500,000      500,000      0.0      0.0
          12      797,000      500,000      0.0      0.0
          11      626,978      614,532      0.0      0.0
           8      729,011      369,668      0.0      0.0
         111      568,685      307,380      0.0      0.0
*****
Adjusted Distance Observations
*****
      Station      Station      Distance      V
      Occupied      Sighted
=====
          7          12      297,000      0.0
          7          11      171,000      0.0
          7           8      263,500     -0.0
          7         111      204,500      0.0
         11          12      205,000     -0.0
         12           8      147,000      0.0
        111           8      172,000     -0.0

*****
Adjustment Statistics
*****
      Iterations = 5
      Redundancies = 1

      Reference Variance = 0.00000000000000
      Reference So = ±0.000000
      Convergence!

```

8.1.2. Huella 1-2**- Fichero de entrada**

```

25 0 0 2 11
6 500000 500000
3 1273000 500000
1 800000 700000
2 500000 300000
4 1000000 300000
5 1200000 350000
7 700000 300000
8 800000 300000
9 600000 300000
10 1100000 700000
12 600000 700000
1 3 454500
1 7 466300
2 3 764500
3 8 410500
3 6 773000
2 5 724500
7 9 154500
1 8 461500
6 12 216677.708
3 12 635914.966
3 10 216364.05
3 9 658156.636
3 7 530103.847
3 4 298868.838
3 5 185178.265
6 10 665341.541
5 6 782827.972
2 10 714633.132
2 6 209196.985
9 12 424781.226
1 6 395744.261
4 6 652510.973
6 8 538704.174
6 7 436338.367
6 9 324119.618

```

- Fichero de salida

```

-----
Number of Control Stations      — 2
Number of Unknown Stations     — 11
Number of Distance observations — 25
Number of Angle observations   — 0
Number of Azimuth observations — 0

```

```

*****
Initial approximations for unknown stations

```

Station	X	Y
=====		
1	800,000	700,000
2	500,000	300,000
4	1,000,000	300,000
5	1,200,000	350,000
7	700,000	300,000
8	800,000	300,000
9	600,000	300,000
10	1,100,000	700,000
12	600,000	700,000

Control Stations

~~~~~

| Station | X         | Y       | Sx  | Sy  |
|---------|-----------|---------|-----|-----|
| =====   |           |         |     |     |
| 6       | 500,000   | 500,000 | 0.0 | 0.0 |
| 3       | 1,273,000 | 500,000 | 0.0 | 0.0 |

\*\*\*\*\*

Distance Observations

\*\*\*\*\*

| Station<br>Occupied | Station<br>Sighted | Distance    |
|---------------------|--------------------|-------------|
| =====               |                    |             |
| 1                   | 3                  | 454,500.000 |
| 1                   | 7                  | 466,300.000 |
| 2                   | 3                  | 764,500.000 |
| 3                   | 8                  | 410,500.000 |
| 3                   | 6                  | 773,000.000 |
| 2                   | 5                  | 724,500.000 |
| 7                   | 9                  | 154,500.000 |
| 1                   | 8                  | 461,500.000 |
| 6                   | 12                 | 216,677.708 |
| 3                   | 12                 | 635,914.966 |
| 3                   | 10                 | 216,364.050 |
| 3                   | 9                  | 658,156.636 |
| 3                   | 7                  | 530,103.847 |
| 3                   | 4                  | 298,868.838 |
| 3                   | 5                  | 185,178.265 |
| 6                   | 10                 | 665,341.541 |
| 5                   | 6                  | 782,827.972 |
| 2                   | 10                 | 714,633.132 |
| 2                   | 6                  | 209,196.985 |
| 9                   | 12                 | 424,781.226 |
| 1                   | 6                  | 395,744.261 |
| 4                   | 6                  | 652,510.973 |
| 6                   | 8                  | 538,704.174 |
| 6                   | 7                  | 436,338.367 |
| 6                   | 9                  | 324,119.618 |

\*\*\*\*\*

Adjusted stations

\*\*\*\*\*

| Station | X | Y | Sx | Sy |
|---------|---|---|----|----|
| =====   |   |   |    |    |

|    |           |         |       |       |
|----|-----------|---------|-------|-------|
| 6  | 500,000   | 500,000 | 0.3   | 0.3   |
| 3  | 1,273,000 | 500,000 | 0.3   | 0.3   |
| 1  | 854,221   | 676,876 | 198.5 | 238.8 |
| 2  | 536,640   | 294,030 | 198.3 | 243.1 |
| 4  | 1,104,125 | 253,416 | 238.4 | 285.0 |
| 5  | 1,260,772 | 315,241 | 211.2 | 252.1 |
| 7  | 827,906   | 211,649 | 191.9 | 238.8 |
| 8  | 965,160   | 228,686 | 222.4 | 244.6 |
| 9  | 674,208   | 226,723 | 199.6 | 234.2 |
| 10 | 1,142,618 | 672,696 | 196.1 | 275.7 |
| 12 | 655,300   | 651,089 | 217.2 | 260.8 |

\*\*\*\*\*

## Adjusted Distance Observations

\*\*\*\*\*

| Station<br>Occupied | Station<br>Sighted | Distance    | V         |
|---------------------|--------------------|-------------|-----------|
| 1                   | 3                  | 454,599.909 | 99.9095   |
| 1                   | 7                  | 465,970.239 | -329.7611 |
| 2                   | 3                  | 764,623.918 | 123.9181  |
| 3                   | 8                  | 410,337.060 | -162.9395 |
| 3                   | 6                  | 772,999.999 | -0.0007   |
| 2                   | 5                  | 724,442.815 | -57.1847  |
| 7                   | 9                  | 154,436.028 | -63.9721  |
| 1                   | 8                  | 461,715.558 | 215.5582  |
| 6                   | 12                 | 216,670.622 | -7.0859   |
| 3                   | 12                 | 635,909.451 | -5.5153   |
| 3                   | 10                 | 216,386.692 | 22.6420   |
| 3                   | 9                  | 658,204.302 | 47.6662   |
| 3                   | 7                  | 530,334.680 | 230.8325  |
| 3                   | 4                  | 298,868.838 | 0.0000    |
| 3                   | 5                  | 185,162.922 | -15.3435  |
| 6                   | 10                 | 665,418.866 | 77.3253   |
| 5                   | 6                  | 782,885.751 | 57.7790   |
| 2                   | 10                 | 714,561.163 | -71.9693  |
| 2                   | 6                  | 209,203.519 | 6.5335    |
| 9                   | 12                 | 424,787.484 | 6.2578    |
| 1                   | 6                  | 395,925.841 | 181.5799  |
| 4                   | 6                  | 652,510.973 | 0.0000    |
| 6                   | 8                  | 538,502.701 | -201.4727 |
| 6                   | 7                  | 436,656.332 | 317.9648  |
| 6                   | 9                  | 324,081.330 | -38.2882  |

\*\*\*\*\*

## Adjustment Statistics

\*\*\*\*\*

Iterations = 4

Redundancies = 7

Reference Variance = 65,935.855

Reference So = ±256.8

Convergence!

**8.1.3. Trilobites****- Fichero de entrada**

```

9 0 0 2 6
21 500 500
22 500 2030
20 1350 450
24 1350 2030
19 2072 500
23 2072 2030
19 20 722
20 21 850
21 22 1530
22 24 860
24 23 870
23 19 1495
23 21 2215
22 19 2230
20 24 1697

```

**- Fichero de salida**

```

Number of Control Stations      — 2
Number of Unknown Stations     — 4
Number of Distance observations — 9
Number of Angle observations    — 0
Number of Azimuth observations — 0

```

```

*****
Initial approximations for unknown stations
*****

```

| Station | X     | Y     |
|---------|-------|-------|
| 20      | 1,350 | 450   |
| 24      | 1,350 | 2,030 |
| 19      | 2,072 | 500   |
| 23      | 2,072 | 2,030 |

Control Stations

~~~~~

Station	X	Y
21	500	500
22	500	2,030

```

*****
Distance Observations
*****

```

Station Occupied	Station Sighted	Distance
19	20	722
20	21	850
21	22	1,530

22	24	860
24	23	870
23	19	1,495
23	21	2,215
22	19	2,230
20	24	1,697

Adjusted stations

Station	X	Y	Sx	Sy
20	1,320	278	0.0	0.0
24	1,358	1,974	0.0	0.0
19	2,030	408	0.0	0.0
23	2,224	1,891	0.0	0.0

Adjusted Distance Observations

Station Occupied	Station Sighted	Distance	V
19	20	722	0.0
20	21	850	0.0
21	22	1,530	0.0
22	24	860	0.0
24	23	870	0.0
23	19	1,495	0.0
23	21	2,215	0.0
22	19	2,230	0.0
20	24	1,697	0.0

Adjustment Statistics

Iterations = 6
Redundancies = 1

Reference Variance = 0.0000000000

Reference So = ±0.00000

Convergence!

8.1.4. Nothosauro 1 y 2. Dientes 1 y 2**- Fichero de entrada**

```

10 0      0      2      5
1  0      0
4  93.22979186      0
2  50     -20
3  80     -20
5  100    20
1  2      58.88350733
2  3      54.16979612
3  4      59.10060663
4  5      55.84994569
5  1      57.70400963
1  3      92.83111182
1  4      93.22979186
2  4      91.88341165
2  5      92.1141588
3  5      92.17466744

```

- Fichero de salida

```

Number of Control Stations      - 2
Number of Unknown Stations     - 5
Number of Distance observations - 10
Number of Angle observations   - 0
Number of Azimuth observations - 0

```

```

*****
Initial approximations for unknown stations
*****

```

Station	X	Y
2	50.00000000	-20.00000000
3	80.00000000	-20.00000000
5	100.00000000	20.00000000

```
Control Stations
```

```
~~~~~
```

Station	X	Y	Sx
---------	---	---	----

```
Sy
```

1	0.00000000	0.00000000	0.0010000000
4	93.22979186	0.00000000	0.0010000000

```

*****
Distance Observations
*****

```

Station Occupied	Station Sighted	Distance
1	2	58.88350733

2	3	54.16979612
3	4	59.10060663
4	5	55.84994569
5	1	57.70400963
1	3	92.83111182
1	4	93.22979186
2	4	91.88341165
2	5	92.11415880
3	5	92.17466744

Adjusted stations

confidence level at 0.950				Error ellipse
Station	X	Y		
Sx	Sy	Su	Sv	t
=====				
=====				
1	0.00000000	0.00000000		
0.000000000	0.000000000	0.000000002	0.000000002	
135.00°				
4	93.22979186	-0.00000000		
0.000000000	0.000000000	0.000000002	0.000000002	
135.00°				
2	19.93193415	-55.40744888		
0.000000437	0.000000370	0.000001705	0.000001282	
116.58°				
3	74.09931693	-55.91875043		
0.000000440	0.000000369	0.000001718	0.000001275	
63.51°				
5	47.74402137	32.40773274		
0.000000393	0.000000362	0.000001465	0.000001350	
89.89°				

Adjusted Distance Observations

Station Occupied	Station Sighted	Distance	V
=====			
1	2	58.88350695	-0.000000378
0.000000407			
2	3	54.16979588	-0.000000239
0.000000405			
3	4	59.10060677	0.000000137
0.000000407			
4	5	55.84994591	0.000000222
0.000000383			
5	1	57.70400955	-0.000000076
0.000000384			
1	3	92.83111234	0.000000520
0.000000369			
1	4	93.22979186	-0.000000000
0.000000001			

2	4	91.88341165	-0.000000002
0.000000369			
2	5	92.11415917	0.000000372
0.000000374			
3	5	92.17466698	-0.000000460
0.000000374			

Adjustment Statistics

Iterations = 6

Redundancies = 4

Reference Variance = 0.0000000000

Reference So = ± 0.00000

Convergence!



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Jaén

INFORMES

Trabajo Fin de Grado

TÉCNICAS

FOTOGRAMÉTRICAS PARA EL ANÁLISIS MORFOMÉTRICO Y VIRTUALIZACIÓN DE RESTOS

Alumno: María de las Nieves Castro Muñoz

Tutor: D. Francisco Javier Cardenal Escarcena
D. Matías Reolid Pérez

Dpto: Ingeniería Cartográfica, Geodésica y
Fotogrametría
Geología

Septiembre, 2018

Agisoft PhotoScan

**INFORME NOTHOSAURO
Puntos de comprobacion
Distancias de comprobación**

27 July 2018



Survey Data

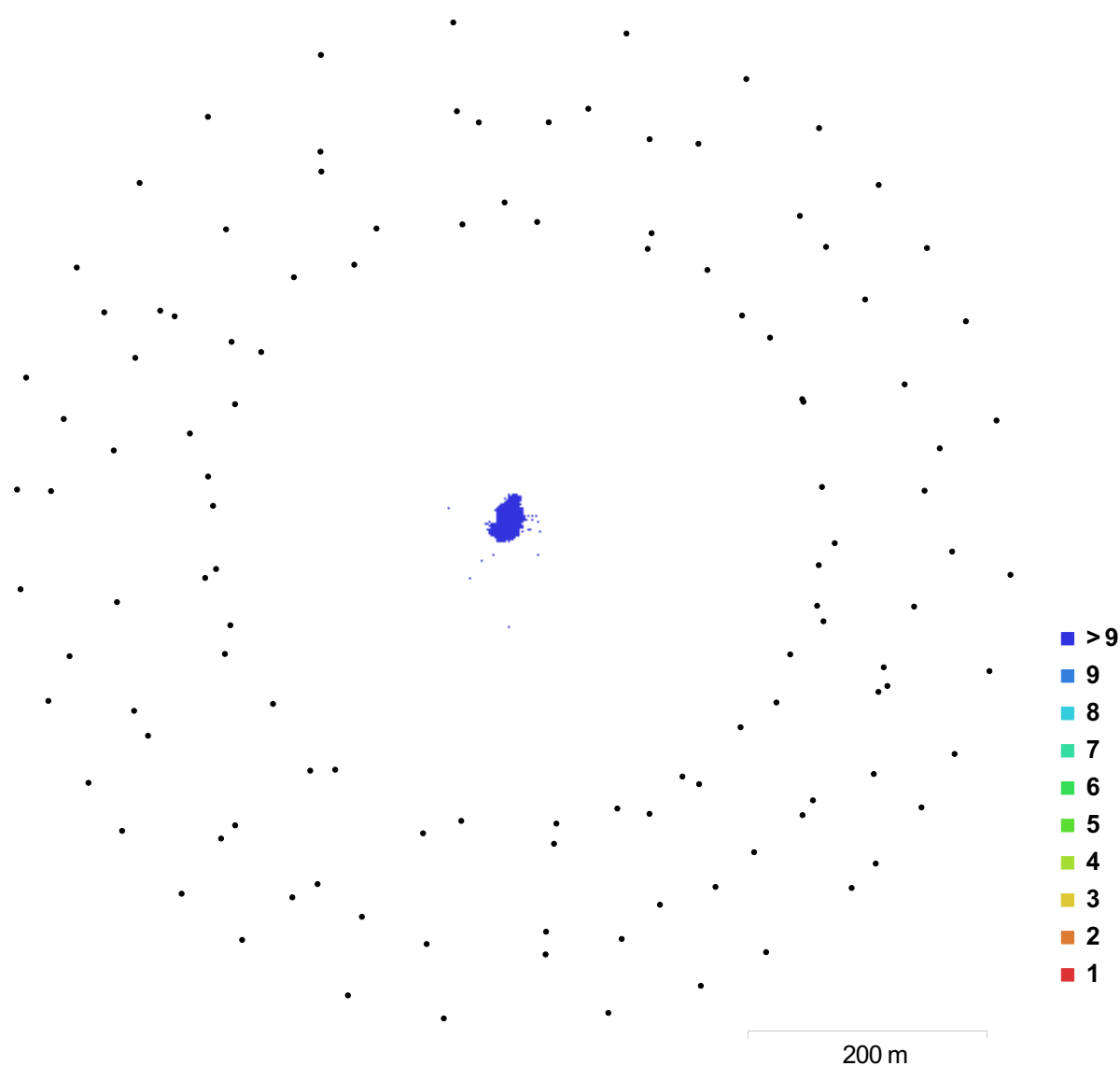


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	119	Camera stations:	119
Flying altitude:	387 m	Tie points:	19,810
Ground resolution:	5.36 cm/pix	Projections:	52,907
Coverage area:	887 sq m	Reprojection error:	1.18 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
ILCE-5000 (30 mm)	5456 x 3632	30 mm	4.4 x 4.4 um	No
ILCE-5000 (30 mm)	5456 x 3632	30 mm	4.4 x 4.4 um	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

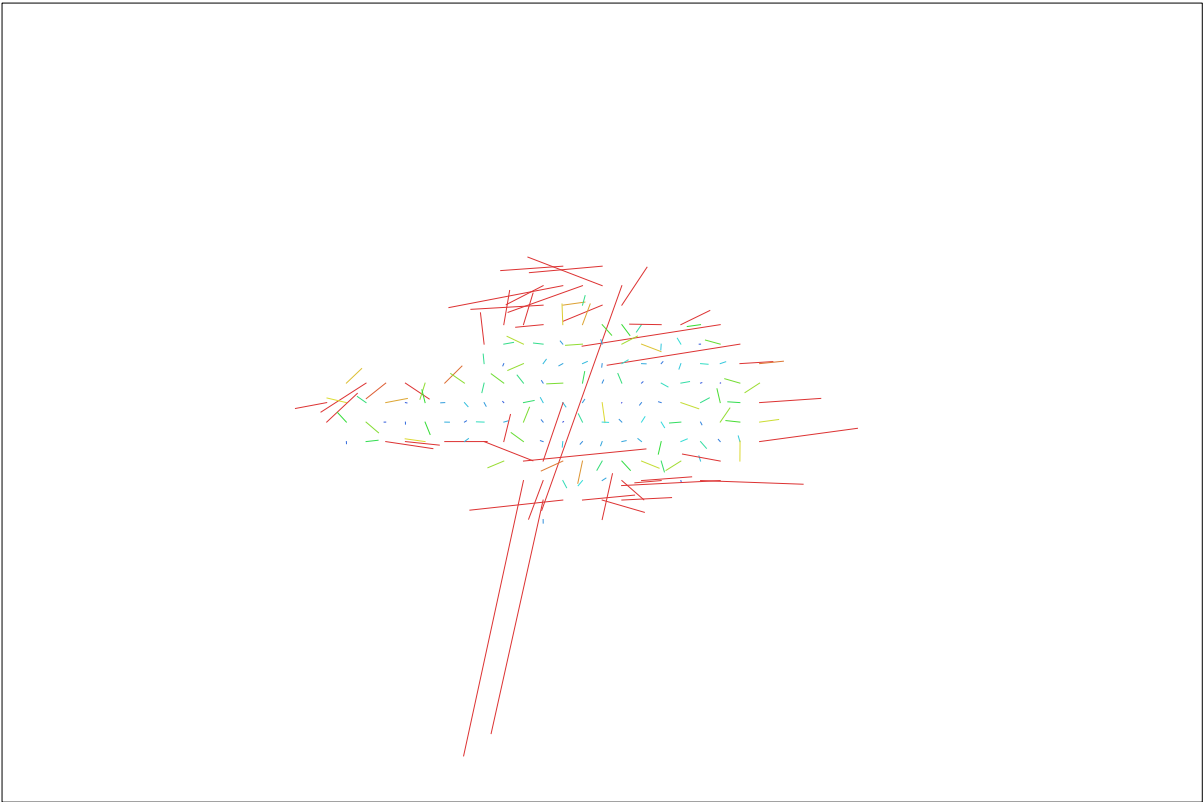


Fig. 2. Image residuals for ILCE-5000 (30 mm).

ILCE-5000 (30 mm)

Resolution 5456 x 3632	Focal Length 30 mm	Pixel Size 4.4 x 4.4 um	Precalibrated No
Type:	Frame	Skew:	0
Fx:	7068.4	Cx:	2820.74
Fy:	7068.4	Cy:	1537.41
K1:	-0.952721	P1:	0
K2:	20.4743	P2:	0
K3:	-192.584	P3:	0
K4:	0	P4:	0

Camera Calibration

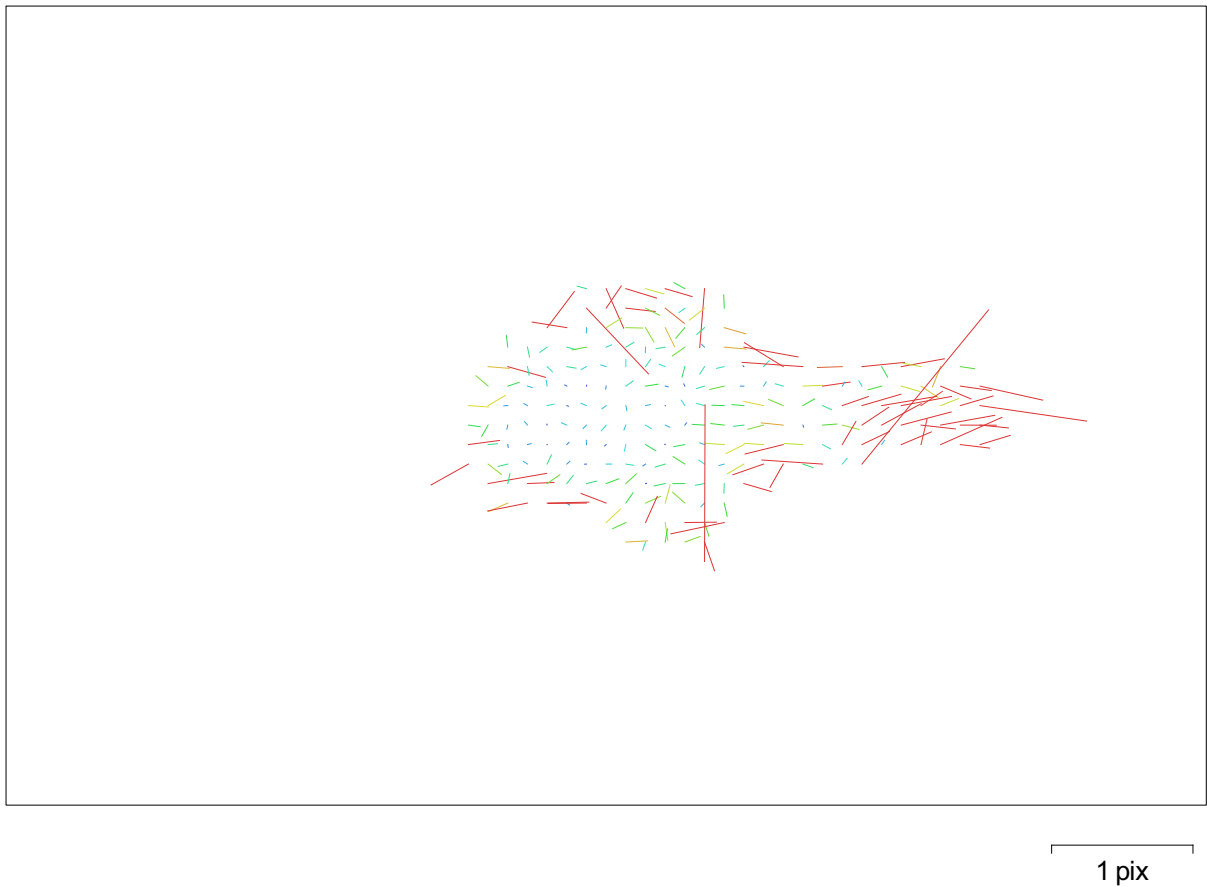


Fig. 3. Image residuals for ILCE-5000 (30 mm).

ILCE-5000 (30 mm)

Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
5456 x 3632	30 mm	4.4 x 4.4 um	No
Type:	Frame	Skew:	3.6987
Fx:	7287.86	Cx:	2758.64
Fy:	7283.05	Cy:	1775.78
K1:	-0.0747792	P1:	-0.00122847
K2:	-0.047567	P2:	0.0039654
K3:	-0.085153	P3:	0
K4:	0	P4:	0

Ground Control Points

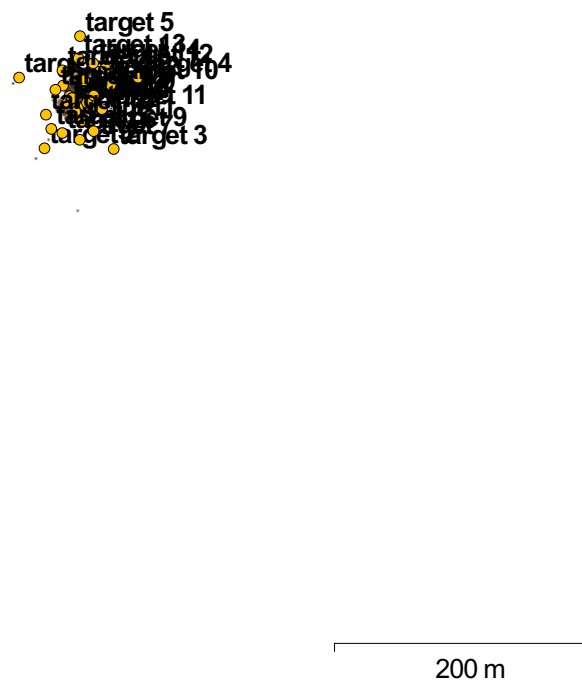


Fig. 4. GCP locations.

Label	XY error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
point 1	0.0589179	0.0225295	0.0630785	17	3.737
point 5	0.0435347	-0.0275794	0.0515354	15	1.699
point 8	0.0176536	0.00644857	0.0187945	14	0.900
target 1	0.0296641	0.0333082	0.0446026	54	0.306
target 2	0.0131809	-0.0128887	0.0184352	57	0.237
target 3	0.00962491	-0.0155011	0.0182462	58	0.320
target 4	0.00520188	0.0413469	0.0416728	60	0.289
target 5	0.0173414	-0.0477534	0.0508046	60	0.272
Total	0.0299006	0.0291881	0.0417851		0.971

Table 2. Control points.

Label	XY error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
point 1				18	0.346
point 2				19	3.827
point 3				18	2.752
point 4				17	2.497
point 5				12	0.501
point 6				41	3.114
point 7				12	0.914
point 8				5	0.512
point 9				35	1.305
point 10				29	0.836
point 11				27	0.913
point 12				16	2.341
target 6				18	0.216
target 7				19	0.228
target 8				19	0.305
target 9				22	0.199
target 10				21	0.251
target 11				21	0.244
target 12				18	0.207
target 13				18	0.203
target 14				18	0.233
target 15				24	0.235
target 16				24	0.249
target 17				22	0.282
Total					

Table 3. Check points.

Scale Bars

Label	Distance (m)	Error (m)
target 1_target 2	58.851	-0.0324933
target 2_target 3	54.1741	0.00432953
target 3_target 4	59.112	0.0114042
target 4_target 5	55.8658	0.0158281
target 1_target 5	57.6995	-0.00450176
target 2_target 5	92.1288	0.0146371
target 3_target 5	92.1935	0.0188726
target 1_target 3	92.7972	-0.0339442
Total		0.0199939

Table 4. Control scale bars.

Label	Distance (m)	Error (m)
target 1_target 4	93.2109	
target 2_target 4	91.8973	
Total		

Table 5. Check scale bars.

Digital Elevation Model

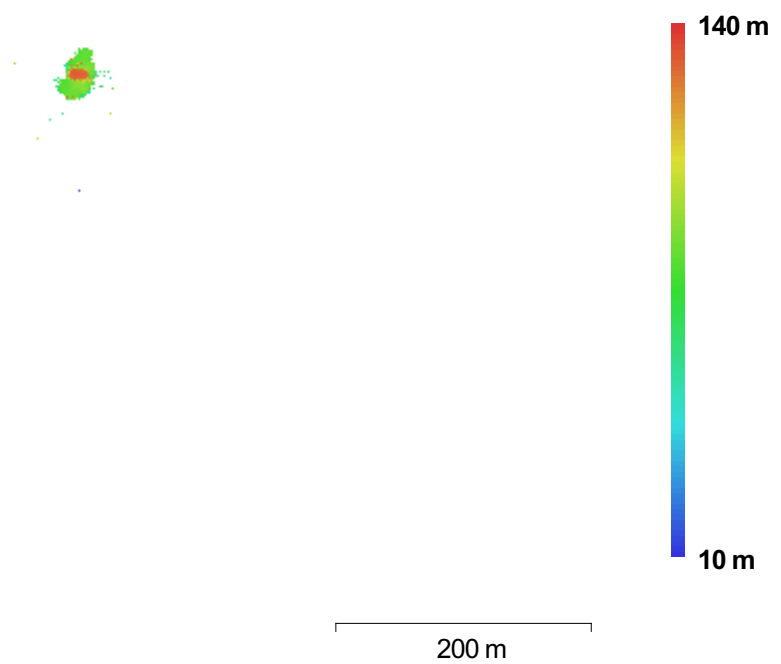


Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: unknown

Point density: unknown

Processing Parameters

General

Cameras	119
Aligned cameras	119
Markers	32
Scale bars	10
Coordinate system	Local Coordinates

Point Cloud

Points	19,810 of 23,449
RMS reprojection error	0.218977 (1.18023 pix)
Max reprojection error	1.19188 (49.1947 pix)
Mean key point size	4.41516 pix
Effective overlap	2.91283

Optimization parameters

Parameters	f, cx, cy, k1-k3
Optimization time	2 seconds

Agisoft PhotoScan

INFORME NOTHOSAURO
Puntos de comprobacion
Distancias de comprobación

28 July 2018



Survey Data

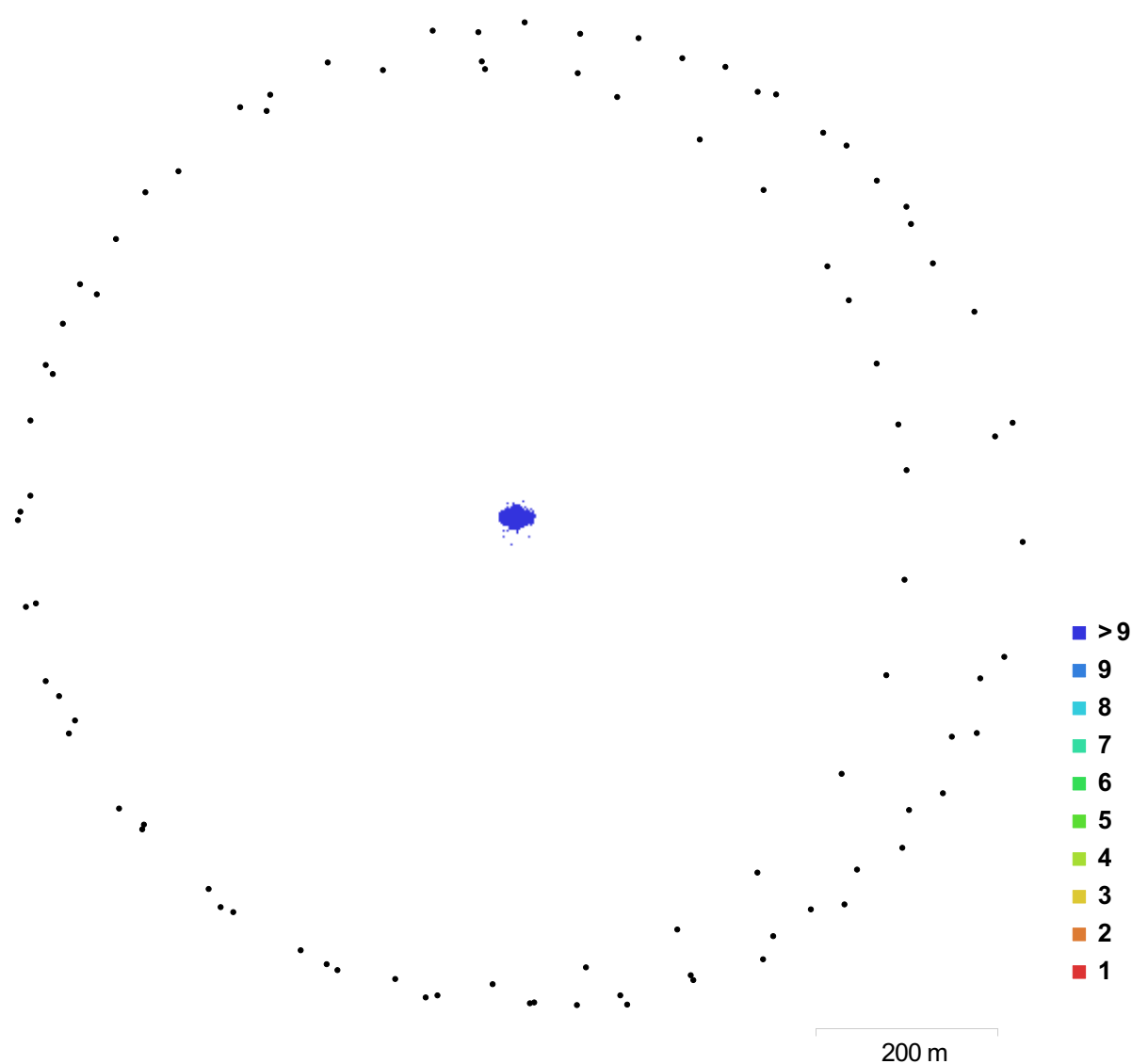


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	91	Camera stations:	91
Flying altitude:	571 m	Tie points:	12,138
Ground resolution:	4.57 cm/pix	Projections:	44,946
Coverage area:	877 sq m	Reprojection error:	3.65 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
ILCE-5000 (50 mm)	5456 x 3632	50 mm	4.4 x 4.4 um	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

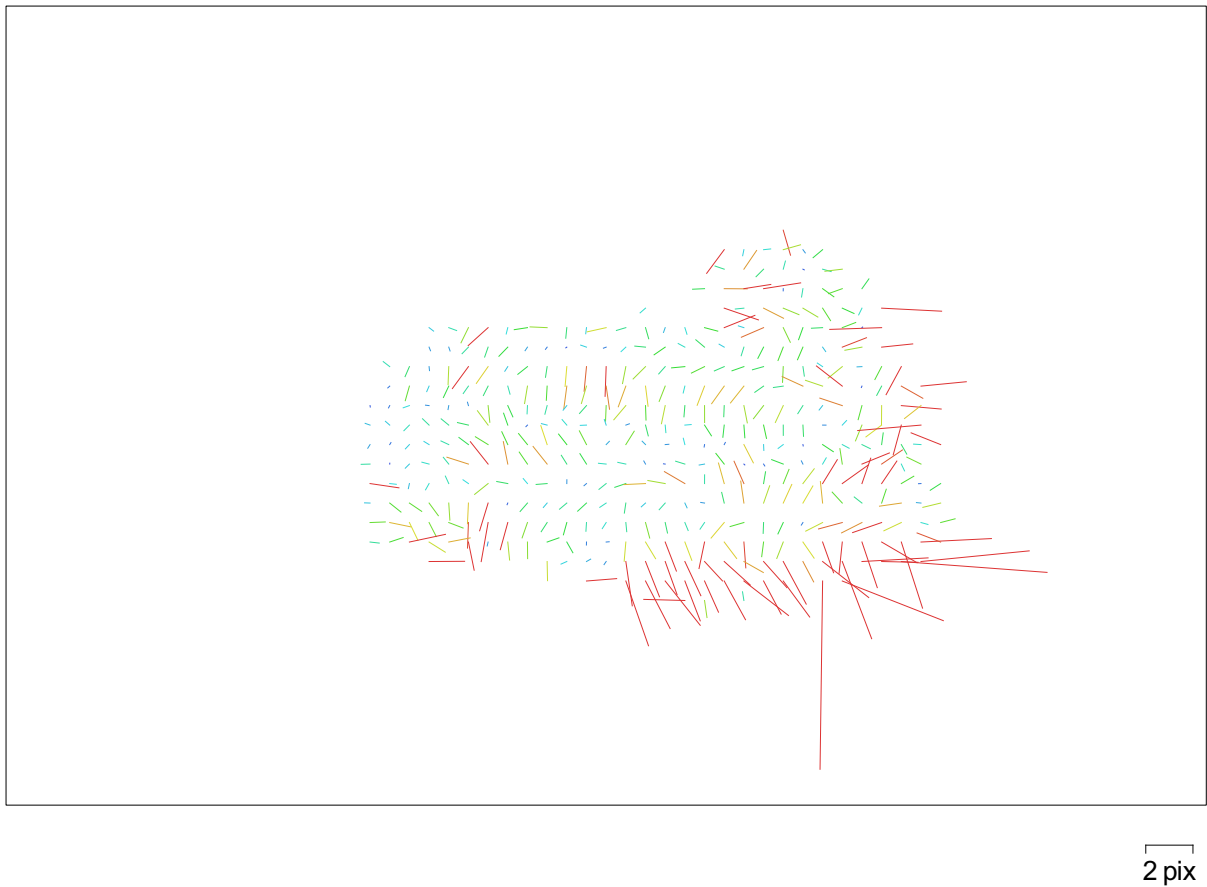


Fig. 2. Image residuals for ILCE-5000 (50 mm).

ILCE-5000 (50 mm)

Resolution 5456 x 3632	Focal Length 50 mm	Pixel Size 4.4 x 4.4 um	Precalibrated No
Type:	Frame	Skew:	1.67251
Fx:	12527.1	Cx:	2821.9
Fy:	12493.7	Cy:	1937.54
K1:	-0.113976	P1:	0.00664536
K2:	35.5512	P2:	0.00668366
K3:	-749.277	P3:	0
K4:	-6348.88	P4:	0

Ground Control Points



200 m

Fig. 3. GCP locations.

Label	XY error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
target 2	0.333747	-0.071154	0.341248	45	2.537
target 3	0.580213	-0.037846	0.581446	48	1.760
target 8	0.969649	0.0150328	0.969766	46	2.085
target 9	1.91882	-0.00454282	1.91882	41	2.514
target 11	0.463454	0.0915713	0.472414	52	2.054
target 12	2.72023	-0.021761	2.72031	46	2.363
Total	1.45399	0.0509913	1.45488		2.223

Table 2. Control points.

Label	XY error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
point 11				27	0.781
point 12				28	0.819
point 3				23	0.875
point 2				28	0.703
point 9				25	0.682
point 8				26	0.874
Punto A				35	2.815
Punto B				32	1.713
Total					

Table 3. Check points.

Scale Bars

Label	Distance (m)	Error (m)
target 8_target 9	33.178	-0.622012
target 8_target 12	27.4193	0.0193136
target 3_target 12	34.0628	0.0628305
target 3_target 11	39.7211	0.321133
target 2_target 11	39.9748	-0.0252369
target 2_target 9	37.2428	0.0427728
target 2_target 8	63.3139	-0.486117
target 2_target 12	72.7524	-0.247596
target 2_target 3	65.0662	0.466158
target 3_target 9	65.5643	0.0642872
target 8_target 11	71.82	0.220015
Total		0.311049

Table 4. Control scale bars.

Label	Distance (m)	Error (m)
target 3_target 8	54.0507	
target 11_target 12	65.2297	
target 9_target 12	54.1609	
target 9_target 11	63.0058	
Total		

Table 5. Check scale bars.

Digital Elevation Model

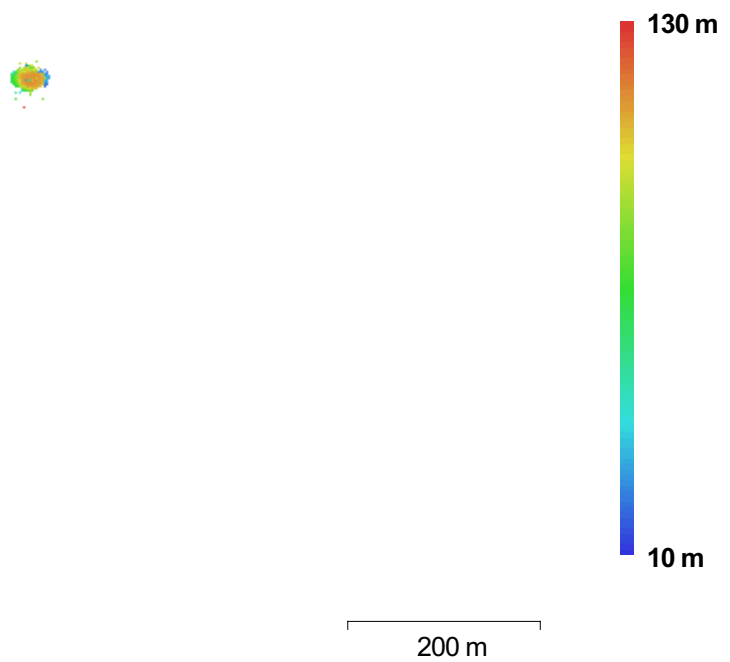


Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: unknown

Point density: unknown

Processing Parameters

General

Cameras	91
Aligned cameras	91
Markers	14
Scale bars	15
Coordinate system	Local Coordinates

Point Cloud

Points	12,138 of 30,057
RMS reprojection error	0.704308 (3.64723 pix)
Max reprojection error	7.34619 (34.6267 pix)
Mean key point size	5.97476 pix
Effective overlap	3.88259

Alignment parameters

Accuracy	Medium
Pair preselection	Disabled
Keypoint limit	40,000
Tie point limit	4,000
Constrain features by mask	No
Matching time	24 minutes 10 seconds
Alignment time	30 seconds

Optimization parameters

Parameters	f, cx, cy, k1-k3
Optimization time	2 seconds

Agisoft PhotoScan

INFORME NOTHOSAURO 3

Puntos de comprobacion

Distancias de comprobación

28 July 2018



Survey Data

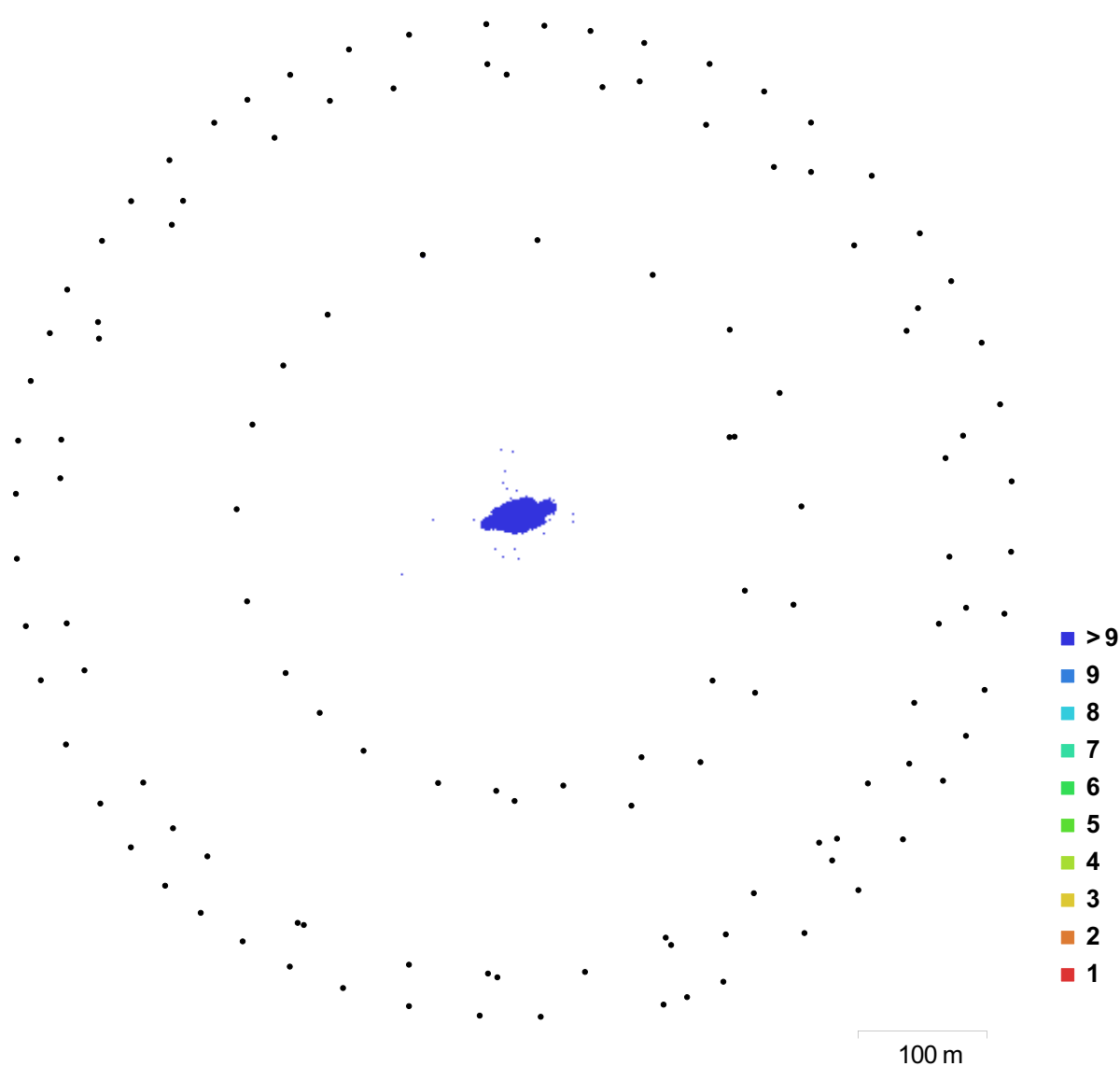


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	123	Camera stations:	123
Flying altitude:	380 m	Tie points:	27,709
Ground resolution:	2.94 cm/pix	Projections:	84,681
Coverage area:	1.17e+03 sq m	Reprojection error:	1.85 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
ILCE-5000 (50 mm)	5456 x 3632	50 mm	4.4 x 4.4 um	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

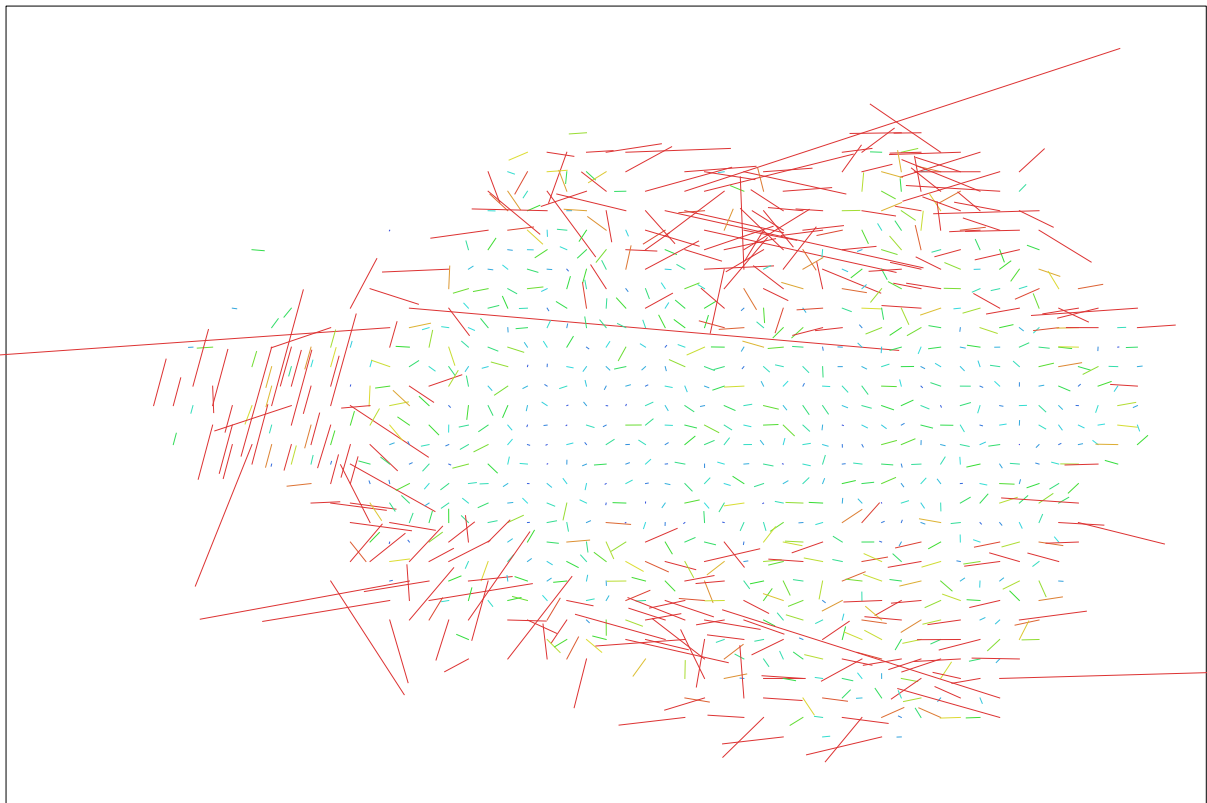


Fig. 2. Image residuals for ILCE-5000 (50 mm).

ILCE-5000 (50 mm)

Resolution 5456 x 3632	Focal Length 50 mm	Pixel Size 4.4 x 4.4 μm	Precalibrated No
Type:	Frame	Skew:	0
Fx:	12948	Cx:	2507.05
Fy:	12948	Cy:	2097.77
K1:	0.0190547	P1:	0.0201426
K2:	28.6809	P2:	-0.0164929
K3:	-511.225	P3:	0
K4:	0	P4:	0

Ground Control Points



Fig. 3. GCP locations.

Label	XY error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
1	0.138956	-0.153136	0.206783	47	0.346
2	0.266383	0.151826	0.306612	45	0.292
3	0.261405	-0.134092	0.293791	43	0.324
4	0.131984	0.135409	0.189091	49	0.317
Total	0.209774	0.143891	0.254381		0.321

Table 2. Control points.

Scale Bars

Label	Distance (m)	Error (m)
1_2	70.3029	0.252922
2_3	73.3811	-0.118945
3_4	79.1388	-0.361182
1_4	73.0763	-0.423712
1_3	102.666	-0.333652
2_4	106.354	-0.145836
Total		0.294588

Table 3. Check scale bars.

Digital Elevation Model

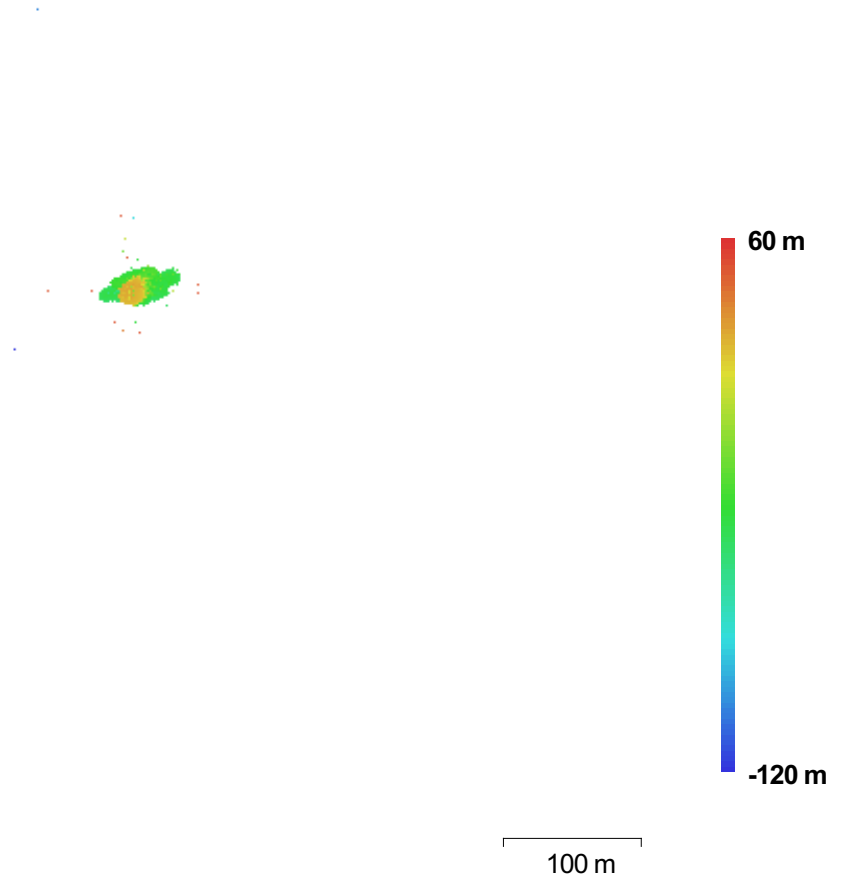


Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: unknown

Point density: unknown

Processing Parameters

General

Cameras	123
Aligned cameras	123
Markers	4
Scale bars	6
Coordinate system	Local Coordinates

Point Cloud

Points	27,709 of 35,434
RMS reprojection error	0.252948 (1.85468 pix)
Max reprojection error	1.31493 (76.946 pix)
Mean key point size	6.83592 pix
Effective overlap	3.99303

Alignment parameters

Accuracy	Medium
Pair preselection	Disabled
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Constrain features by mask	No
Matching time	9 minutes 27 seconds
Alignment time	56 seconds

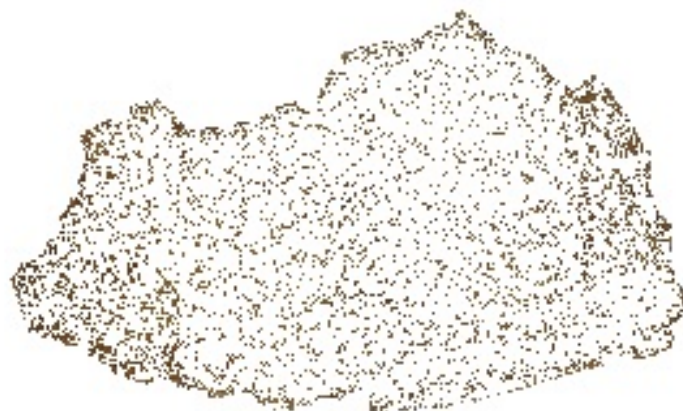
Optimization parameters

Parameters	f, cx, cy, k1-k3
Optimization time	2 seconds

Agisoft PhotoScan

INFORME HUELLA 1
Puntos de comprobacion
Distancias de comprobación

26 July 2018



Survey Data

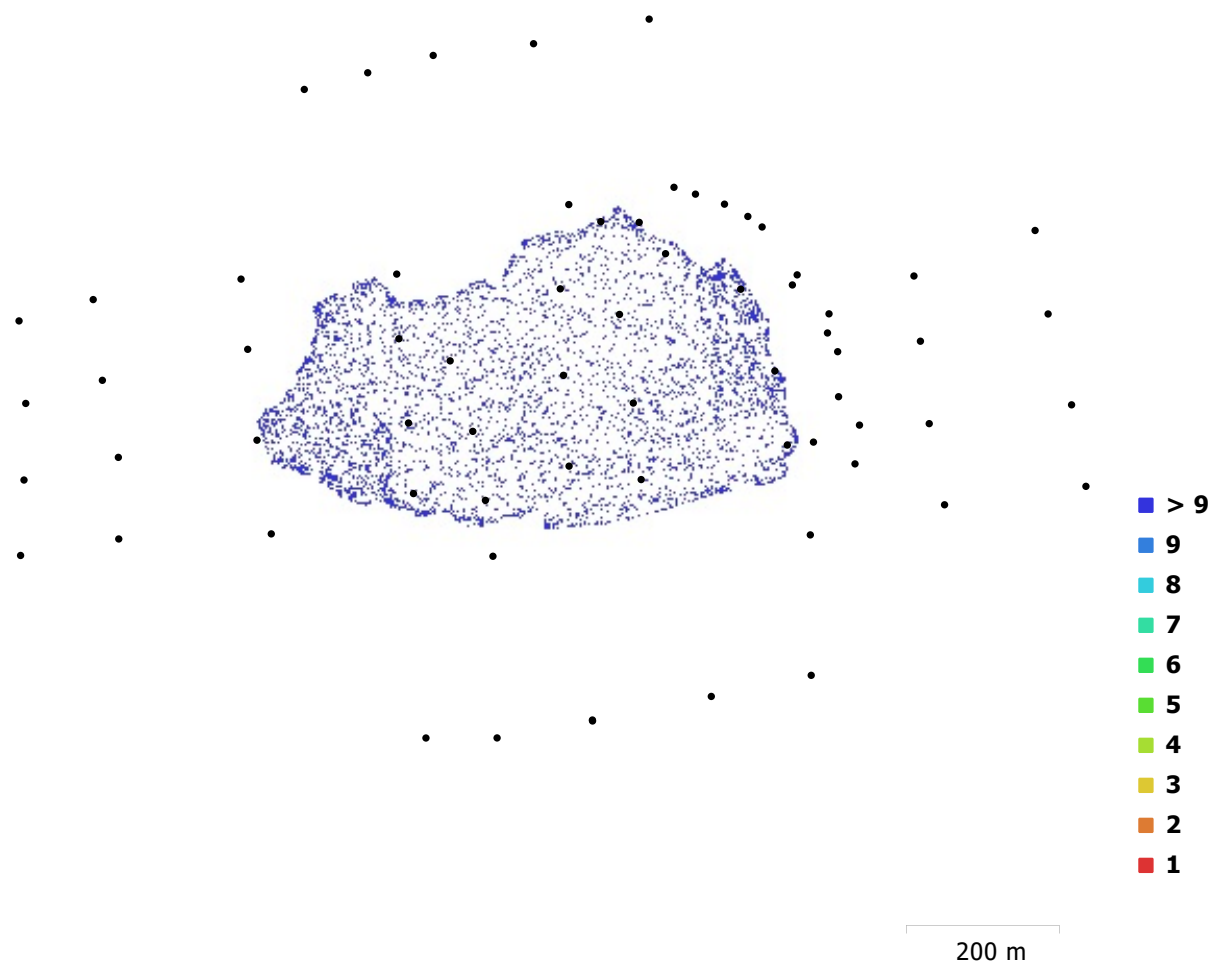


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	67	Camera stations:	67
Flying altitude:	607 m	Tie points:	5,883
Ground resolution:	8.48 cm/pix	Projections:	83,405
Coverage area:	0.0337 km ²	Reprojection error:	0.884 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
ILCE-5000 (30 mm)	5456 x 3632	30 mm	4.4 x 4.4 μm	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

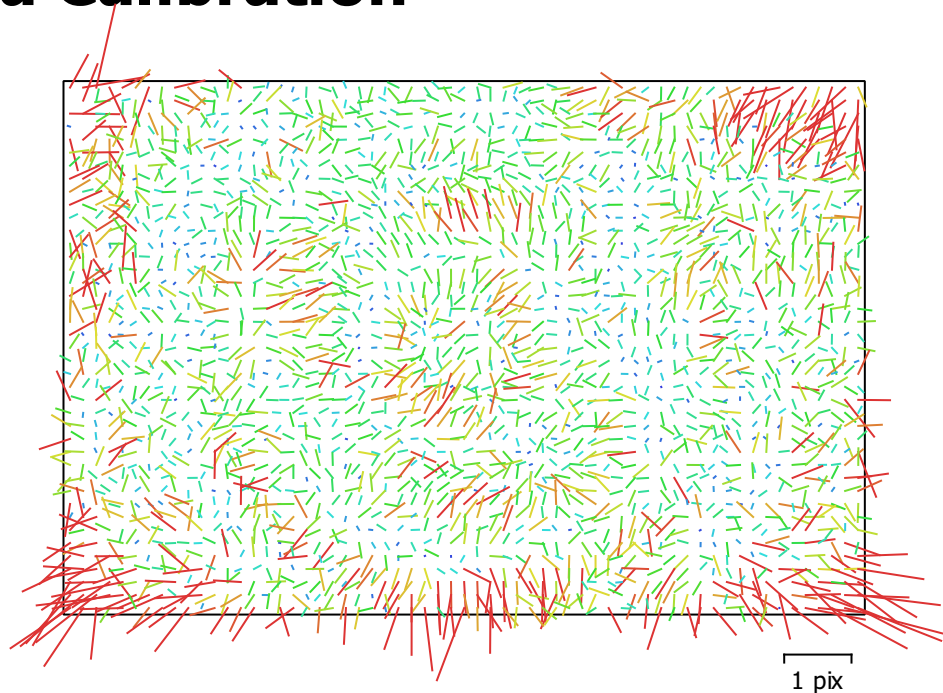


Fig. 2. Image residuals for ILCE-5000 (30 mm).

ILCE-5000 (30 mm)

67 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	5456 x 3632	30 mm	4.4 x 4.4 μm

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3
B1	-6.0221							
B2	-0.501761							
P1	0.000638865							
P2	-0.00124732							
F	7155.22	0.47	1.00	0.14	-0.97	-0.10	0.05	0.00
Cx	-30.6289	0.067		1.00	-0.14	0.08	-0.10	0.13
Cy	-28.2368	0.39			1.00	-0.02	0.05	-0.10
K1	-0.128878	0.00026				1.00	-0.97	0.91
K2	0.153325	0.0027					1.00	-0.98
K3	0.489387	0.0086						1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Ground Control Points

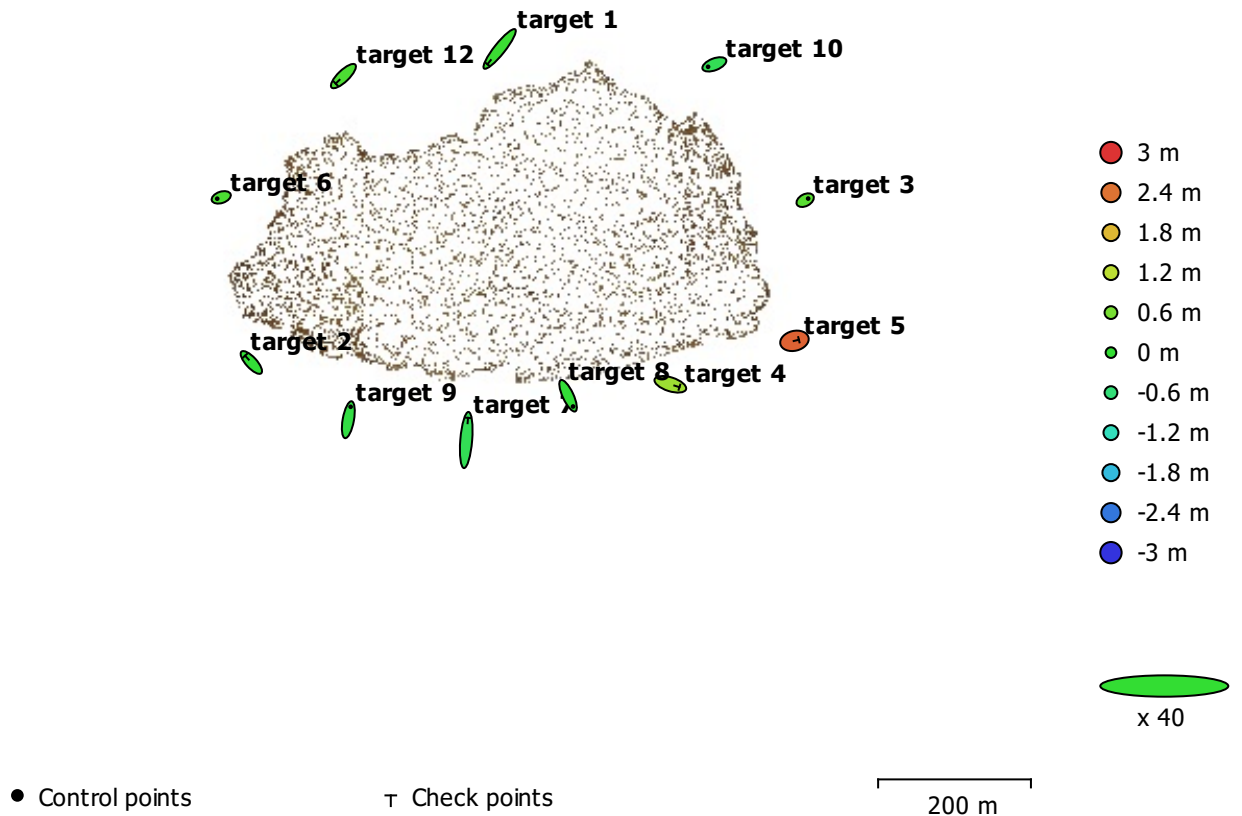


Fig. 3. GCP locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated GCP locations are marked with a dot or crossing.

Count	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total (m)
5	0.28474	0.499593	0.23786	0.575039	0.622292

Table 3. Control points RMSE.

Count	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total (m)
6	0.502217	0.773056	1.12643	0.921867	1.45557

Table 4. Check points RMSE.

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Total (m)	Image (pix)
target 3	0.195994	0.104949	0.331221	0.398918	0.501 (13)
target 6	-0.262616	-0.0874231	0.198311	0.340496	0.272 (13)
target 8	0.326438	-0.701715	-0.0408577	0.775007	0.360 (21)
target 9	0.150879	0.843516	-0.164374	0.872526	0.257 (21)
target 10	-0.410702	-0.159333	-0.324291	0.547018	0.226 (16)
Total	0.28474	0.499593	0.23786	0.622292	0.330

Table 5. Control points.

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Total (m)	Image (pix)
target 1	-0.79781	-1.00248	0.065207	1.28285	0.162 (20)
target 2	-0.408127	0.444258	-0.0584949	0.606098	0.253 (14)
target 4	0.596087	-0.189139	0.902644	1.09812	0.741 (16)
target 5	0.289481	0.0704061	2.57607	2.59324	0.750 (12)
target 7	0.117811	1.45009	-0.333549	1.49261	0.242 (20)
target 12	-0.507211	-0.489793	0.208009	0.735138	0.212 (12)
Total	0.502217	0.773056	1.12643	1.45557	0.446

Table 6. Check points.

Scale Bars

Label	Distance (m)	Error (m)
target 1_target 3	455.087	0.586662
target 1_target 6	395.039	
target 1_target 7	463.471	-2.82889
target 1_target 8	461.696	0.195737
target 2_target 3	765.115	0.614533
target 2_target 5	725.134	0.633842
target 2_target 6	208.655	
target 2_target 10	714.239	
target 3_target 4	298.886	
target 3_target 5	185.205	
target 3_target 6	773.459	0.458646
target 3_target 7	529.671	
target 3_target 8	410.774	0.273617
target 3_target 9	657.939	
target 3_target 10	216.544	
target 3_target 12	636.452	
target 4_target 6	653.345	
target 4_target 12	600.284	
target 5_target 6	783.389	
target 6_target 7	435.929	
target 6_target 8	539.321	
target 6_target 9	323.52	
target 6_target 10	665.257	
target 6_target 12	216.214	
target 7_target 9	154.345	-0.155429
target 9_target 12	423.485	
Total		1.08823

Table 7. Check scale bars.

Digital Elevation Model

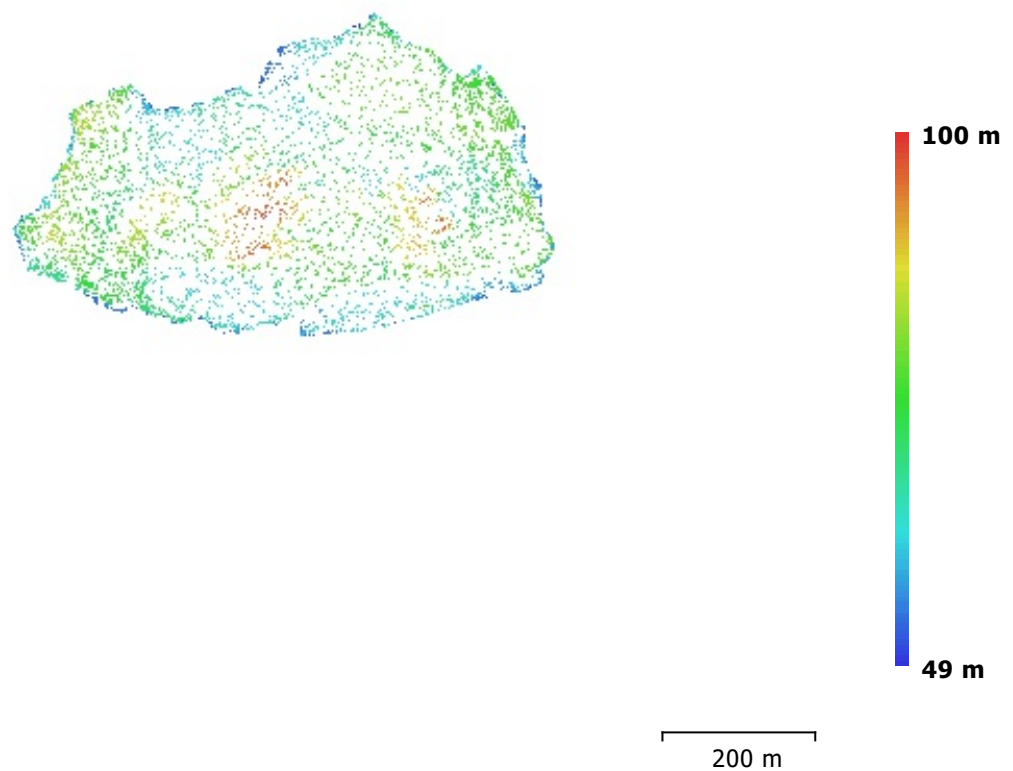


Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: unknown

Point density: unknown

Processing Parameters

General

Cameras	67
Aligned cameras	67
Markers	11
Scale bars	26
Coordinate system	Local Coordinates (m)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Point Cloud

Points	5,883 of 8,748
RMS reprojection error	0.264769 (0.884469 pix)
Max reprojection error	0.883032 (10.7521 pix)
Mean key point size	3.41923 pix
Effective overlap	15.0857

Alignment parameters

Accuracy	High
Generic preselection	No
Reference preselection	No
Key point limit	40,000
Tie point limit	1,000
Constrain features by mask	Yes
Adaptive camera model fitting	Yes
Matching time	34 minutes 11 seconds
Alignment time	16 seconds

Optimization parameters

Parameters	f, cx, cy, k1-k3
Fit rolling shutter	No
Optimization time	4 seconds

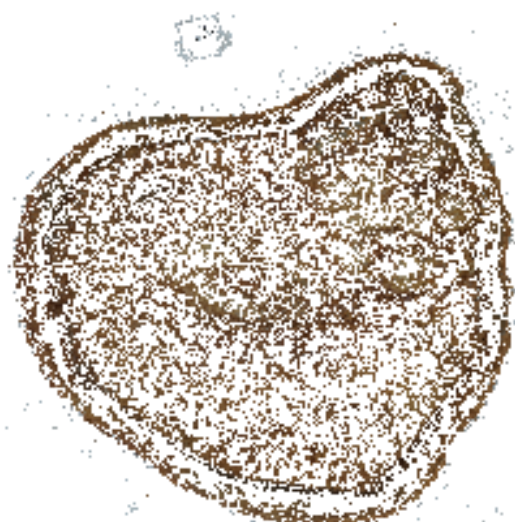
Software

Version	1.3.3 build 4827
Platform	Windows 64

Agisoft PhotoScan

INFORME HUELLA 2
Puntos de comprobacion
Distancias de comprobación

28 July 2018



Survey Data

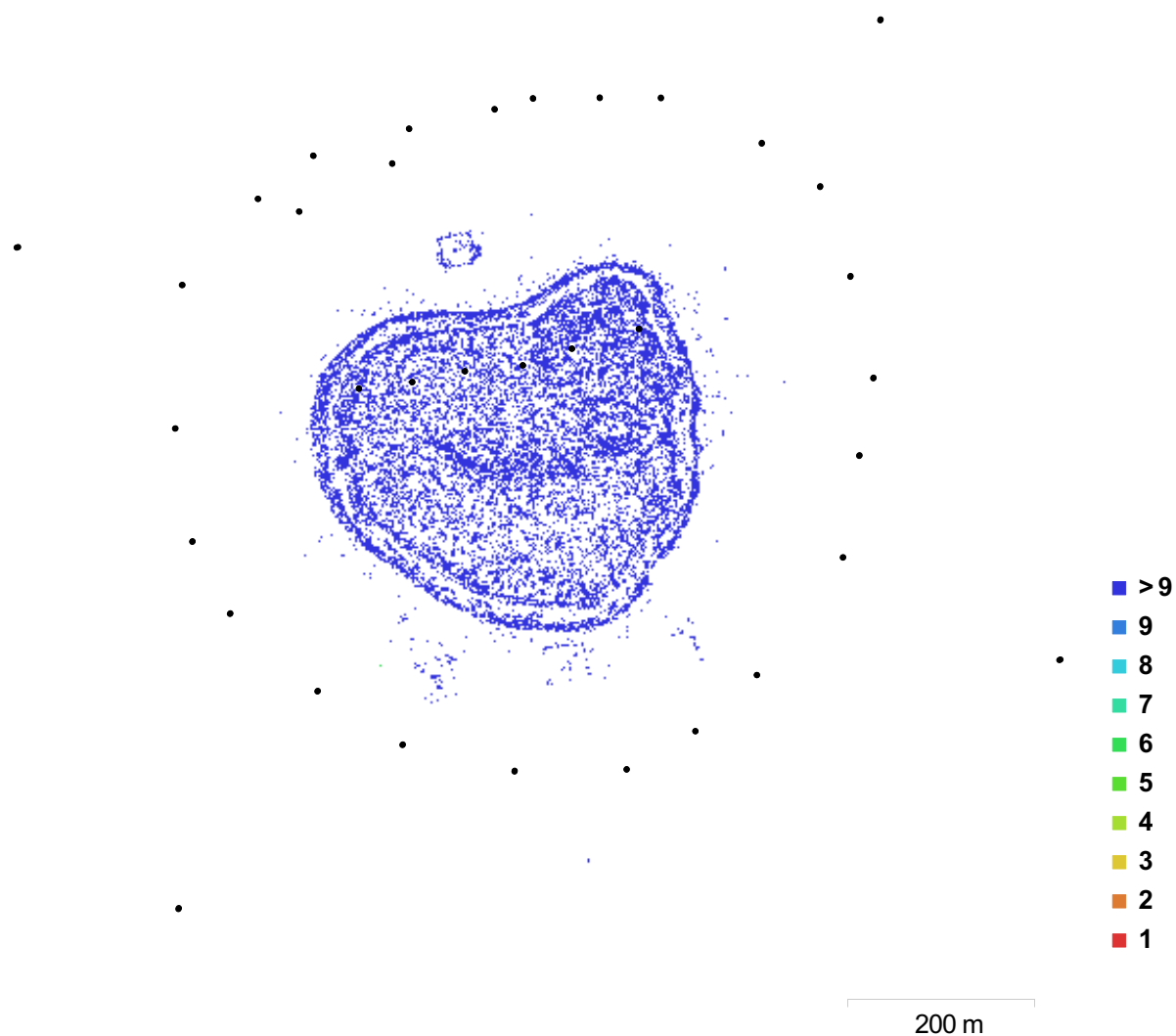


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	70	Camera stations:	70
Flying altitude:	552 m	Tie points:	38,492
Ground resolution:	7.76 cm/pix	Projections:	282,086
Coverage area:	5.63e+04 sq m	Reprojection error:	1.98 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
ILCE-5000 (30 mm)	5456 x 3632	30 mm	4.4 x 4.4 um	No
ILCE-5000 (30 mm)	5456 x 3632	30 mm	4.4 x 4.4 um	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

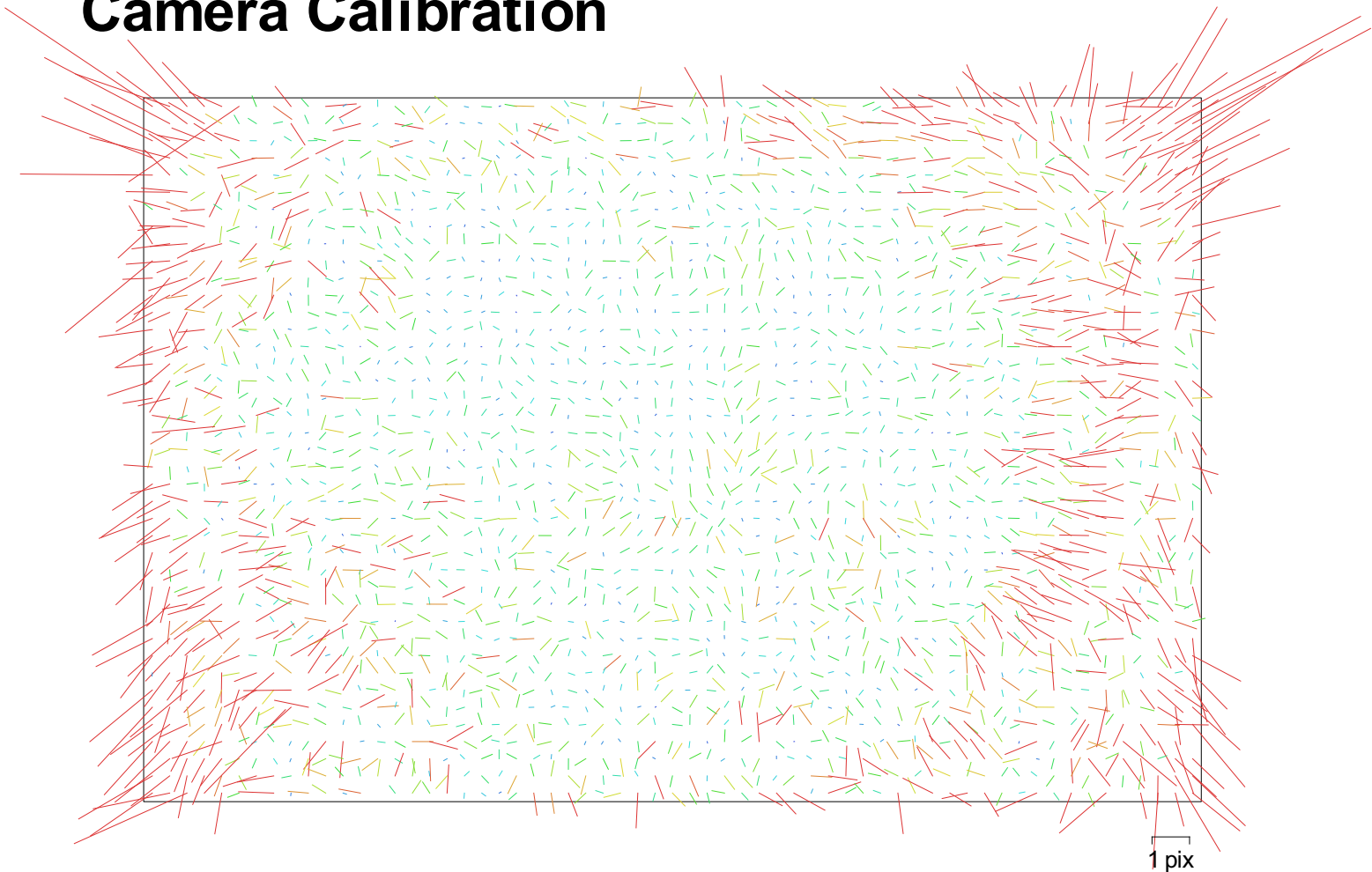


Fig. 2. Image residuals for ILCE-5000 (30 mm).

ILCE-5000 (30 mm)

Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
5456 x 3632	30 mm	4.4 x 4.4 μ m	No
Type:	Frame	Skew:	-0.921577
Fx:	7105.26	Cx:	2701.22
Fy:	7098.91	Cy:	1838.86
K1:	-0.115242	P1:	0.000512326
K2:	-0.31135	P2:	0.000684666
K3:	3.91863	P3:	0
K4:	-7.12886	P4:	0

Camera Calibration

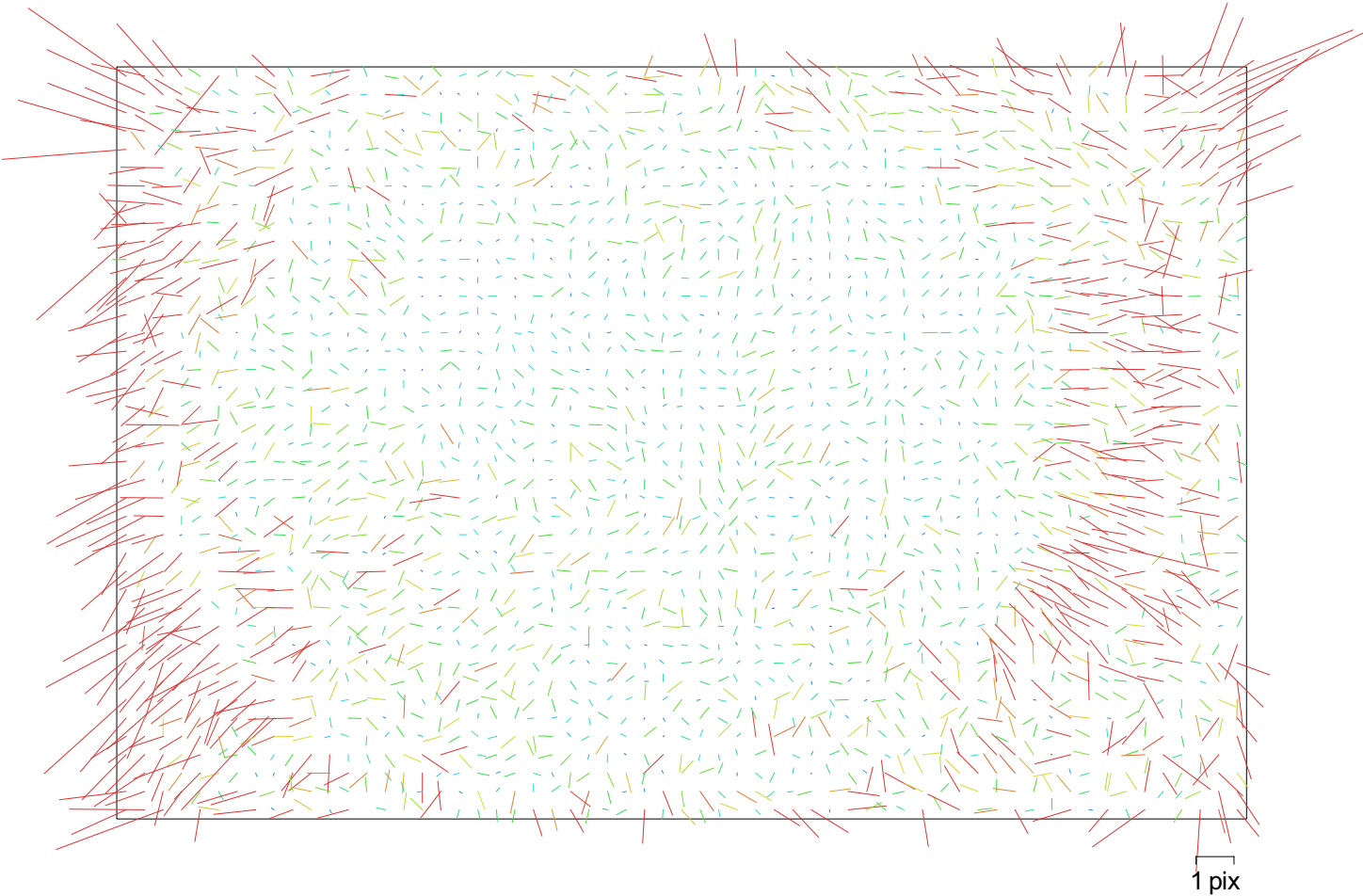


Fig. 3. Image residuals for ILCE-5000 (30 mm).

ILCE-5000 (30 mm)

Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
5456 x 3632	30 mm	4.4 x 4.4 μ m	No
Type:	Frame	Skew:	-0.921577
Fx:	7116.88	Cx:	2711.82
Fy:	7110.52	Cy:	1833.29
K1:	-0.120665	P1:	0.000512326
K2:	-0.251909	P2:	0.000684666
K3:	3.65979	P3:	0
K4:	-7.12886	P4:	0

Ground Control Points

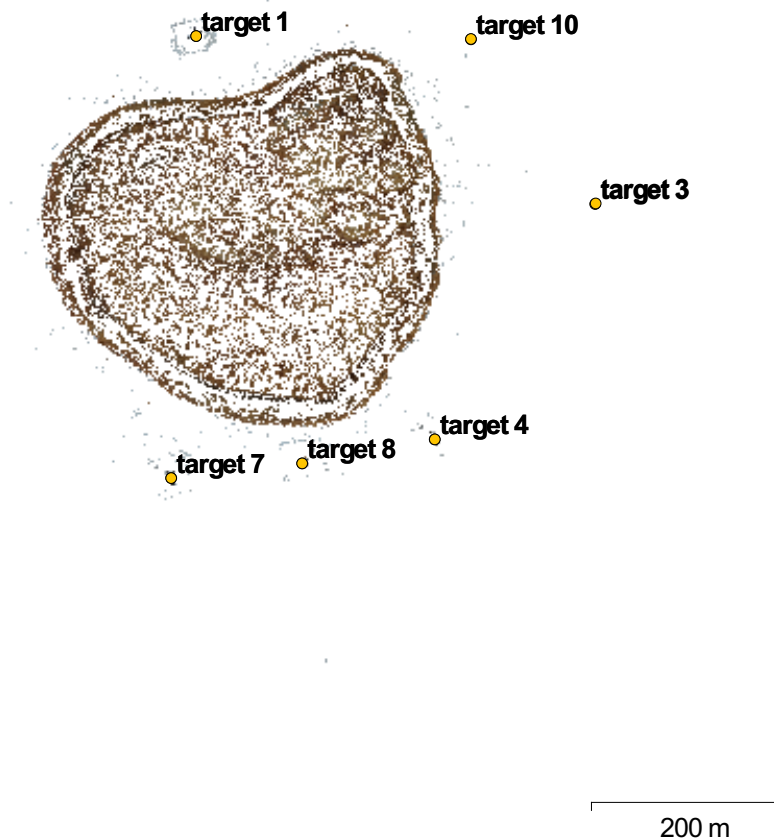


Fig. 4. GCP locations.

Label	XY error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
target 1	0.339959	0.00101112	0.339961	20	1.335
target 1	0.292193	-0.00186287	0.292199	20	1.385
target 4	0.374567	0.114489	0.391673	6	2.233
target 4	0.415498	0.106058	0.42882	6	2.242
target 7	1.06846	0.327321	1.11747	11	2.187
target 7	0.994015	0.309107	1.04097	11	1.925
target 8	0.627343	-0.355176	0.720909	9	1.596
target 8	0.647227	-0.339743	0.730977	9	1.432
Total	0.657268	0.242028	0.700414		1.709

Table 2. Control points.

Label	XY error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
target 3	0.375015	-2.03684	2.07108	3	1.082
target 3	1.09883	-2.00314	2.28473	3	1.855
target 10	0.583805	-1.96249	2.04749	2	0.696
target 10	0.958936	-1.73366	1.9812	2	0.585
Total	0.807536	1.93767	2.09921		1.244

Table 3. Check points.

Scale Bars

Label	Distance (m)	Error (m)
target 1_target 3	454.55	0.0498779
target 3_target 8	410.857	0.357373
Total		0.25515

Table 4. Control scale bars.

Label	Distance (m)	Error (m)
target 1_target 8	462.206	0.705581
target 1_target 7	464.687	-1.61268
Total		1.24471

Table 5. Check scale bars.

Digital Elevation Model

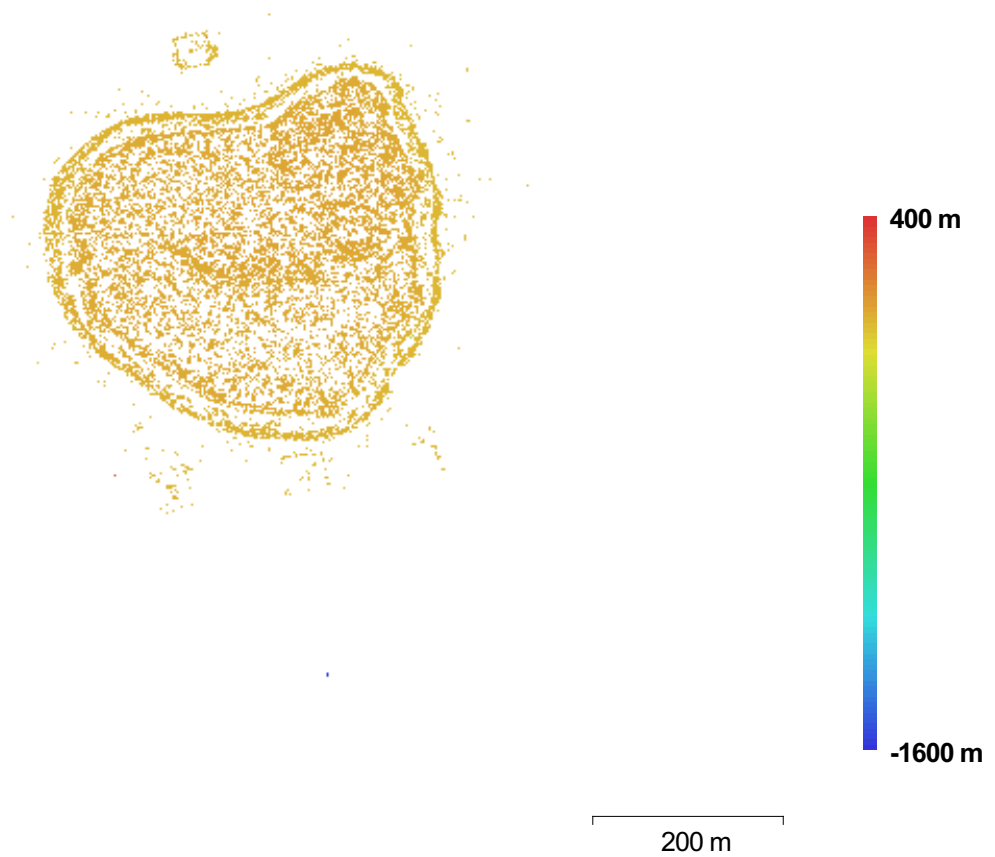


Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: unknown

Point density: unknown

Processing Parameters

General

Cameras	70
Aligned cameras	70
Markers	14
Scale bars	4
Coordinate system	Local Coordinates

Point Cloud

Points	38,492 of 48,998
RMS reprojection error	0.411214 (1.97805 pix)
Max reprojection error	3.74755 (48.6634 pix)
Mean key point size	5.54692 pix
Effective overlap	8.03319

Optimization parameters

Parameters	f, cx, cy, k1-k3
Optimization time	7 seconds

Agisoft PhotoScan

**INFORME HUELLA 3
Puntos de comprobacion
Distancias de comprobación**

28 July 2018



Survey Data

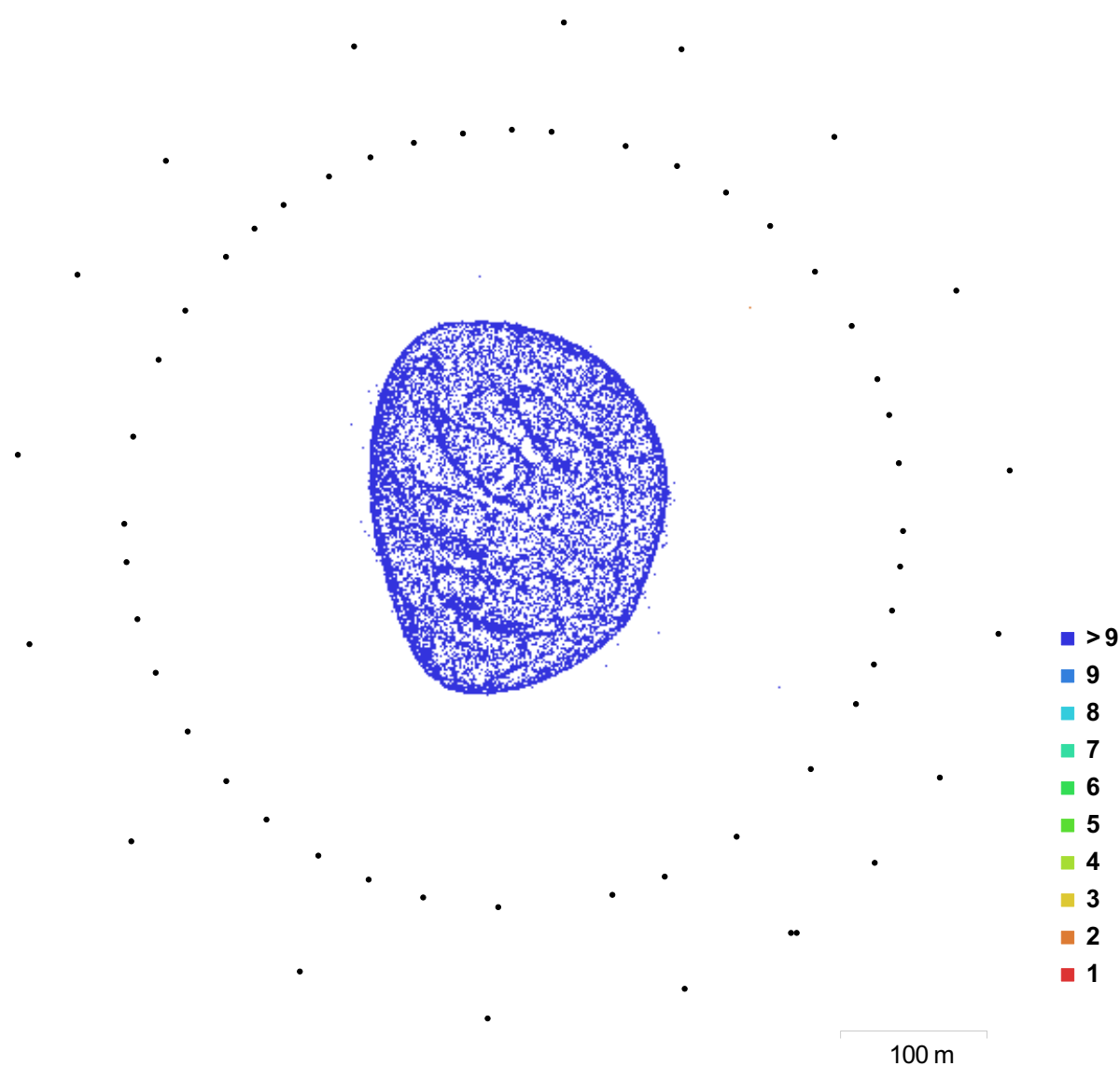


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	60	Camera stations:	60
Flying altitude:	383 m	Tie points:	28,415
Ground resolution:	5.28 cm/pix	Projections:	167,152
Coverage area:	2.24e+04 sq m	Reprojection error:	1.55 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
ILCE-5000 (30 mm)	5456 x 3632	30 mm	4.4 x 4.4 um	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

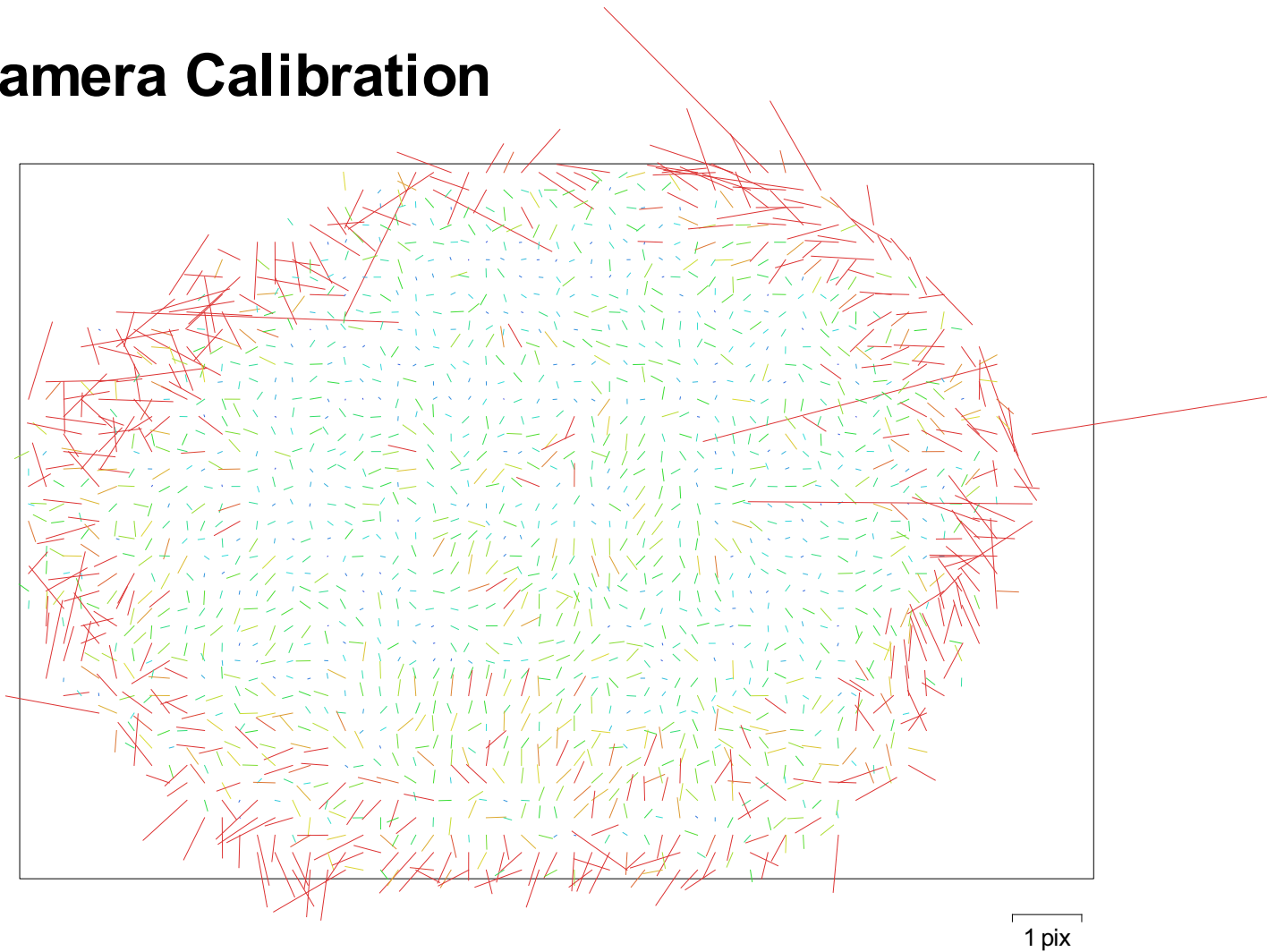
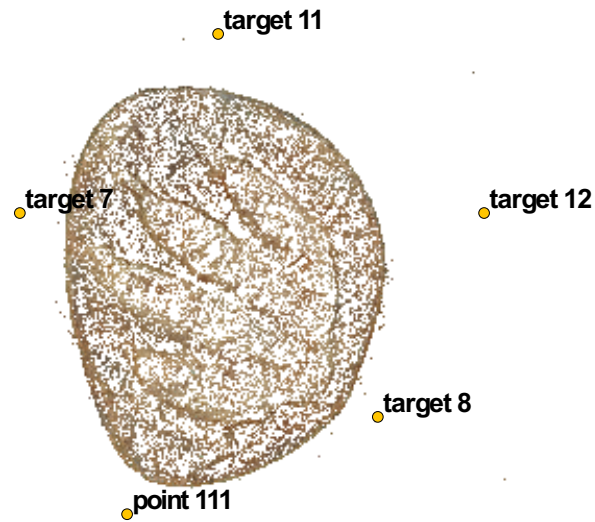


Fig. 2. Image residuals for ILCE-5000 (30 mm).

ILCE-5000 (30 mm)

Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
5456 x 3632	30 mm	4.4 x 4.4 μ m	No
Type:	Frame	Skew:	2.49879
Fx:	7255.6	Cx:	2680.72
Fy:	7254.48	Cy:	1754.94
K1:	-0.143026	P1:	-0.000215475
K2:	0.309977	P2:	-9.40485e-05
K3:	-1.13194	P3:	0
K4:	5.7934	P4:	0

Ground Control Points



100 m

Fig. 3. GCP locations.

Label	XY error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
target 7	0.0497928	-0.11017	0.1209	44	0.630
target 8	0.0401298	0.00727374	0.0407837	53	0.439
target 11	0.0921468	0.102963	0.138175	23	0.783
target 12	0.0230729	-0.0831354	0.0862777	22	0.548
point 111	0.0312322	0.066369	0.0733505	40	0.588
Total	0.0530821	0.0825931	0.0981801		0.585

Table 2. Control points.

Scale Bars

Label	Distance (m)	Error (m)
target 7_point 111	204.476	-0.0236974
target 7_target 8	263.499	-0.00142318
target 11_target 12	205.085	0.0850266
target 8_point 111	172.035	0.0345593
target 8_target 12	147.043	0.04258
target 7_target 11	170.9	-0.100499
target 7_target 12	296.965	-0.034961
Total		0.0562176

Table 3. Control scale bars.

Label	Distance (m)	Error (m)
target 8_target 11	265.36	
target 12_point 111	298.756	
target 11_point 111	312.631	
Total		

Table 4. Check scale bars.

Digital Elevation Model

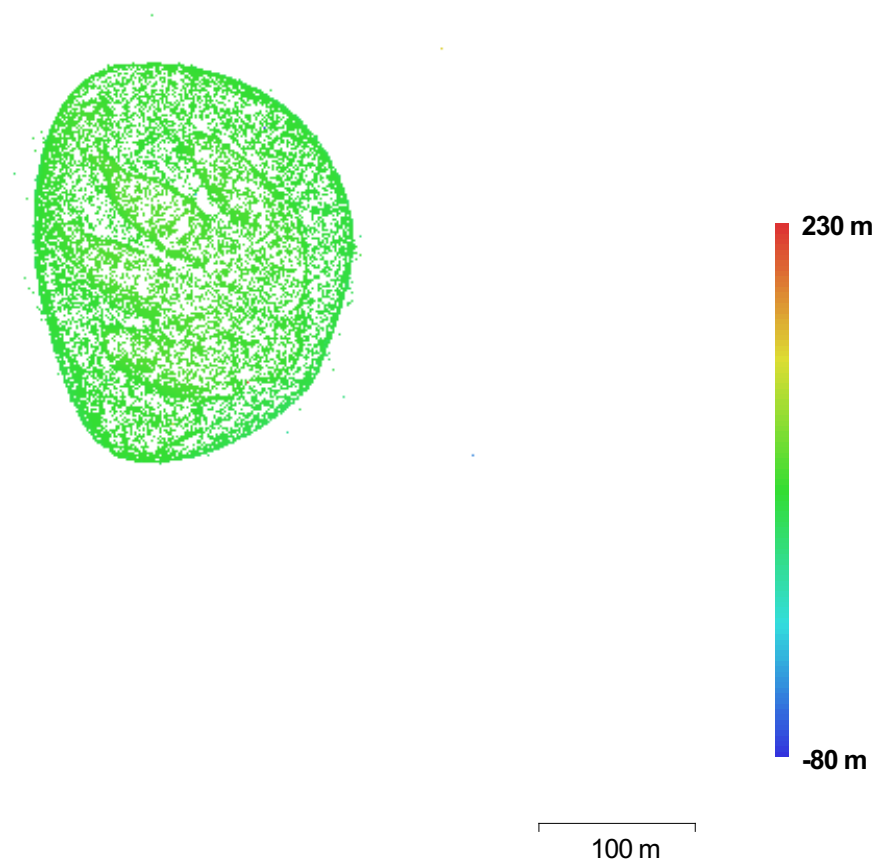


Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: unknown

Point density: unknown

Processing Parameters

General

Cameras	60
Aligned cameras	60
Markers	5
Scale bars	10
Coordinate system	Local Coordinates

Point Cloud

Points	28,415 of 37,893
RMS reprojection error	0.29137 (1.5549 pix)
Max reprojection error	1.27186 (53.8183 pix)
Mean key point size	4.97318 pix
Effective overlap	6.78178

Alignment parameters

Accuracy	High
Pair preselection	Disabled
Keypoint limit	40,000
Tie point limit	4,000
Constrain features by mask	No
Matching time	27 minutes 53 seconds
Alignment time	30 seconds

Optimization parameters

Parameters	f, cx, cy, k1-k3
Optimization time	8 seconds

Agisoft PhotoScan

INFORME TRILOBITES
Puntos de comprobacion
Distancias de comprobación

27 July 2018



Survey Data

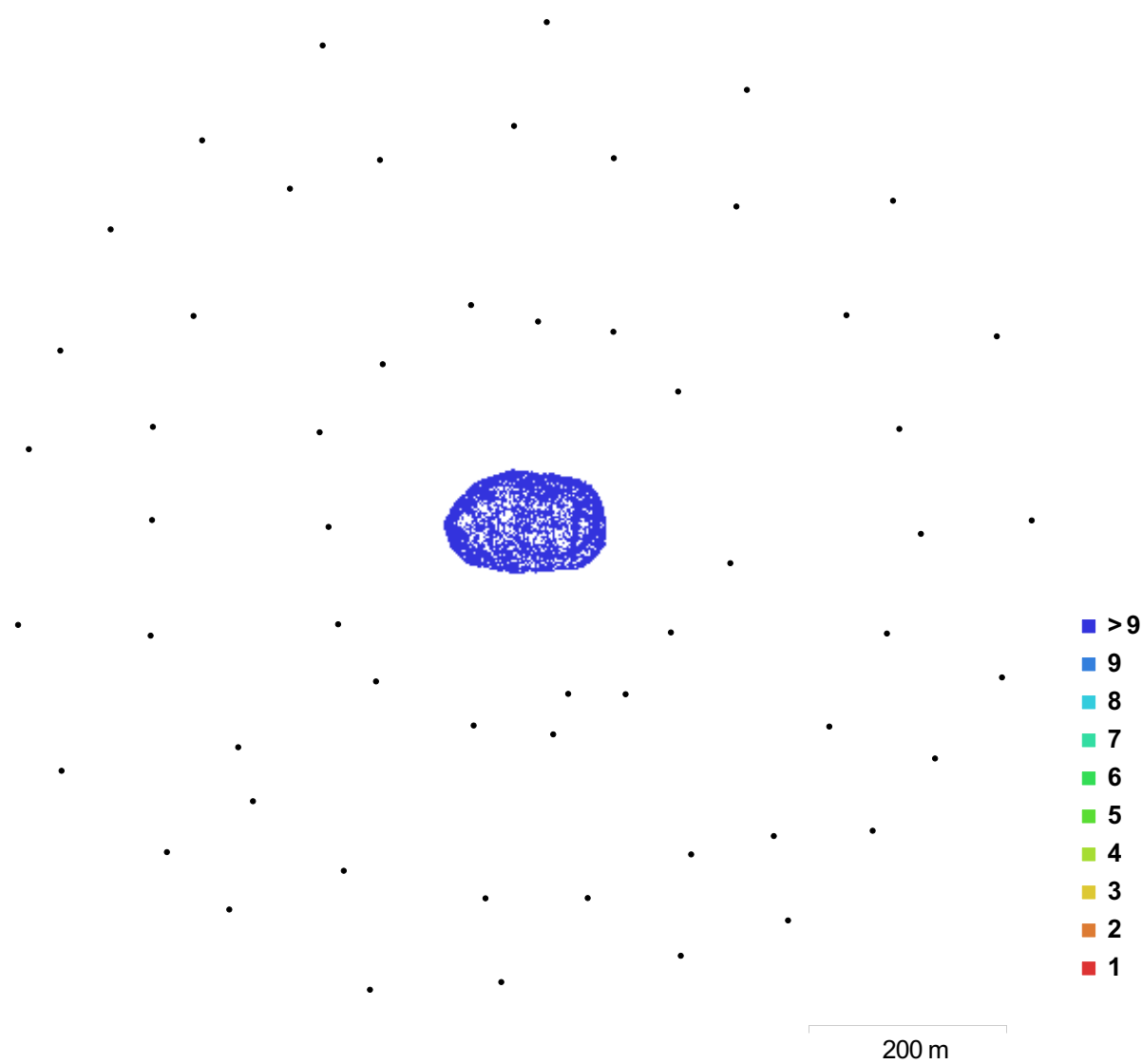


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	58	Camera stations:	57
Flying altitude:	557 m	Tie points:	9,562
Ground resolution:	6.39 cm/pix	Projections:	68,985
Coverage area:	1.09e+04 sq m	Reprojection error:	1.36 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
Canon EOS 5D Mark II (50 mm)	5616 x 3744	50 mm	6.55 x 6.55 um	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

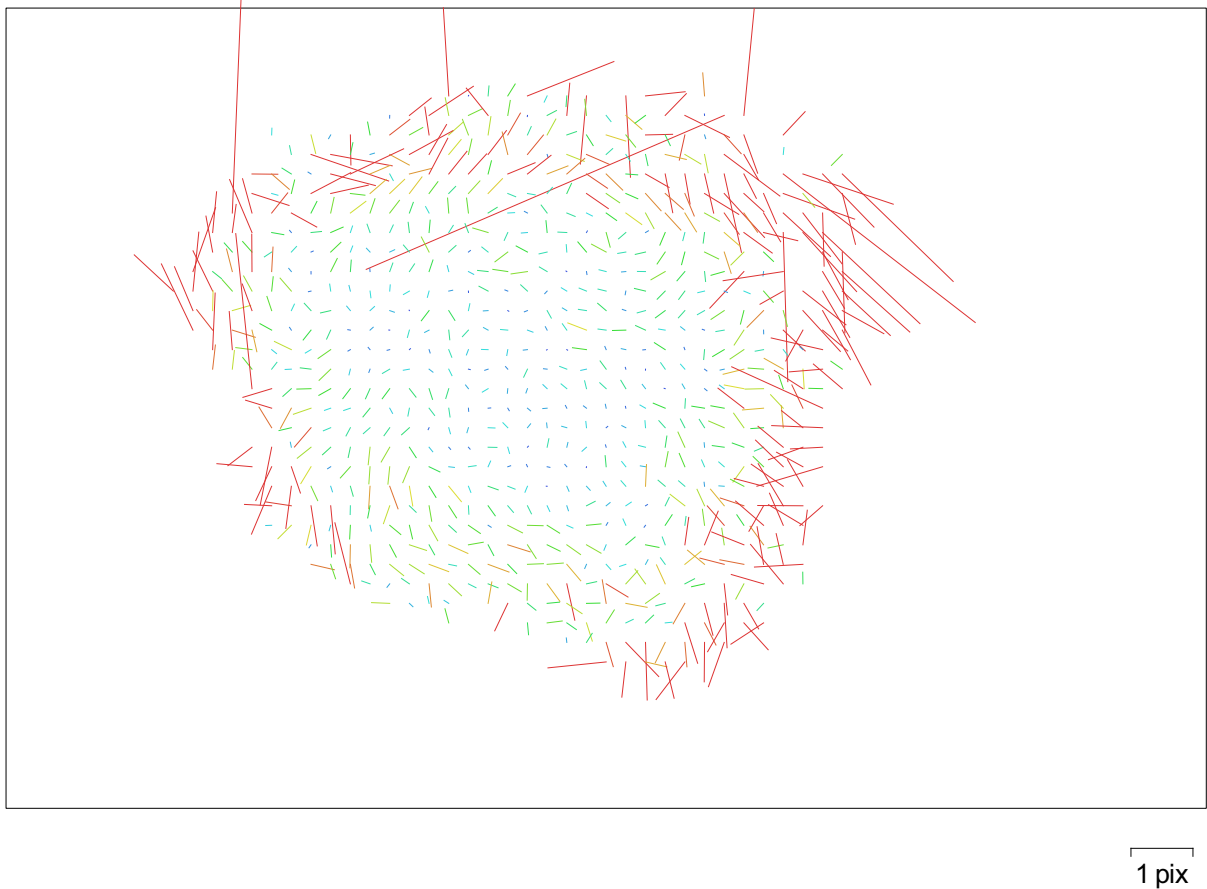


Fig. 2. Image residuals for Canon EOS 5D Mark II (50 mm).

Canon EOS 5D Mark II (50 mm)

Resolution 5616 x 3744	Focal Length 50 mm	Pixel Size 6.55 x 6.55 um	Precalibrated No
Type:	Frame	Skew:	0
Fx:	8727.08	Cx:	2892.92
Fy:	8727.08	Cy:	1817.27
K1:	-0.247542	P1:	-3.51834e-06
K2:	1.01313	P2:	0.000780733
K3:	-6.1891	P3:	0
K4:	0	P4:	0

Ground Control Points

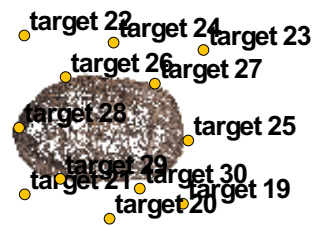


Fig. 3. GCP locations.

Label	XY error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
target 19	0.588251	-0.0108166	0.588351	52	0.607
target 20	0.905228	-0.00263305	0.905231	52	0.446
target 21	0.413099	0.0143106	0.413346	47	0.599
target 22	0.470553	0.0398766	0.47224	52	0.549
target 23	0.400938	0.0533111	0.404466	53	0.572
target 24	0.79871	-0.0957653	0.804431	50	0.632
Total	0.626663	0.048187	0.628513		0.570

Table 2. Control points.

Label	XY error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
target 25				29	0.647
target 26				28	0.332
target 27				27	0.458
target 28				26	0.460
target 29				31	0.666
target 30				39	0.513
Total					

Table 3. Check points.

Scale Bars

Label	Distance (m)	Error (m)
target 19_target 20	72.1789	-0.0211432
target 23_target 24	86.9091	-0.0908792
target 20_target 21	85.0539	0.0538793
target 22_target 24	86.2932	0.293222
target 20_target 24	169.755	0.0549517
target 21_target 23	221.44	-0.0597043
target 19_target 22	222.831	-0.168535
target 19_target 23	149.481	-0.0189742
target 21_target 22	153.116	0.116241
Total		0.127562

Table 4. Control scale bars.

Label	Distance (m)	Error (m)
target 20_target 22	194.728	
target 21_target 24	169.497	
target 19_target 24	169.061	
target 20_target 23	186.08	
Total		

Table 5. Check scale bars.

Digital Elevation Model

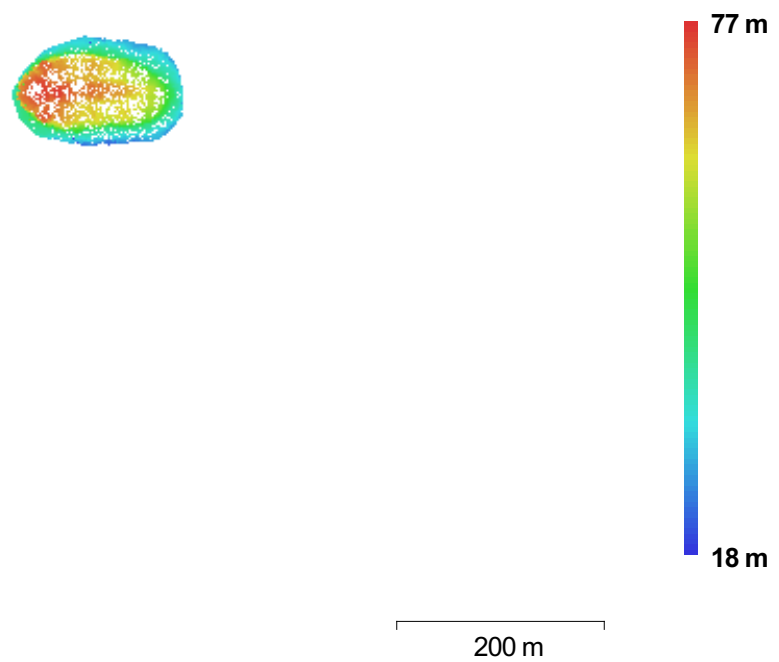


Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: unknown

Point density: unknown

Processing Parameters

General

Cameras	58
Aligned cameras	57
Markers	12
Scale bars	13
Coordinate system	Local Coordinates

Point Cloud

Points	9,562 of 58,861
RMS reprojection error	0.29101 (1.36024 pix)
Max reprojection error	1.75172 (58.1645 pix)
Mean key point size	4.80333 pix
Effective overlap	3.92525

Alignment parameters

Accuracy	High
Pair preselection	Disabled
Keypoint limit	40,000
Tie point limit	4,000
Constrain features by mask	No
Matching time	28 minutes 39 seconds
Alignment time	21 seconds

Optimization parameters

Parameters	f, cx, cy, k1-k3
Optimization time	2 seconds

Agisoft PhotoScan

INFORME CRÁNEO BALLENA

Puntos de comprobacion

Distancias de comprobación

28 July 2018



Survey Data

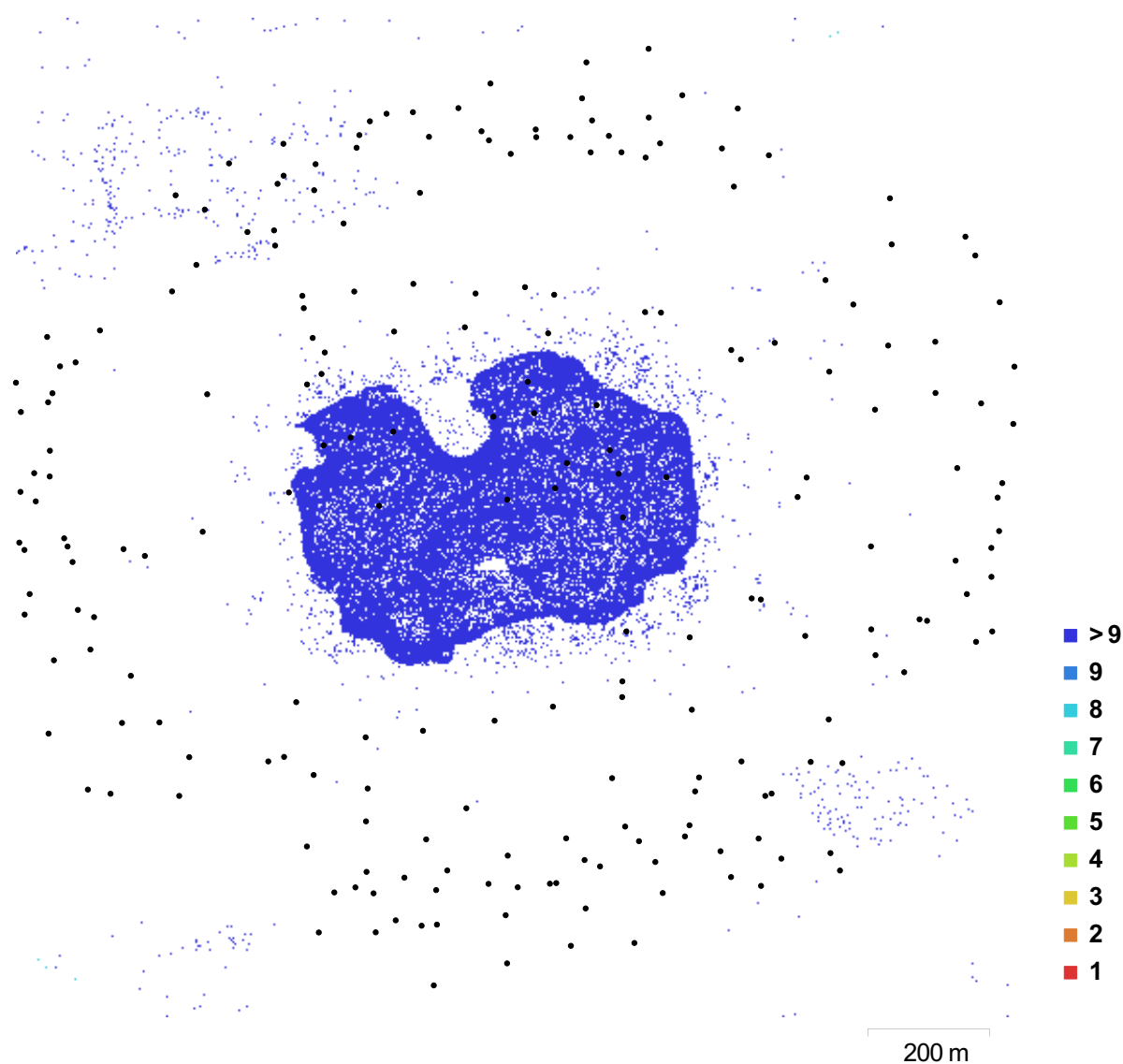


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	218	Camera stations:	217
Flying altitude:	581 m	Tie points:	87,535
Ground resolution:	8.13 cm/pix	Projections:	445,235
Coverage area:	2.23e+05 sq m	Reprojection error:	4.02 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
ILCE-5000 (30 mm)	5456 x 3632	30 mm	4.4 x 4.4 um	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

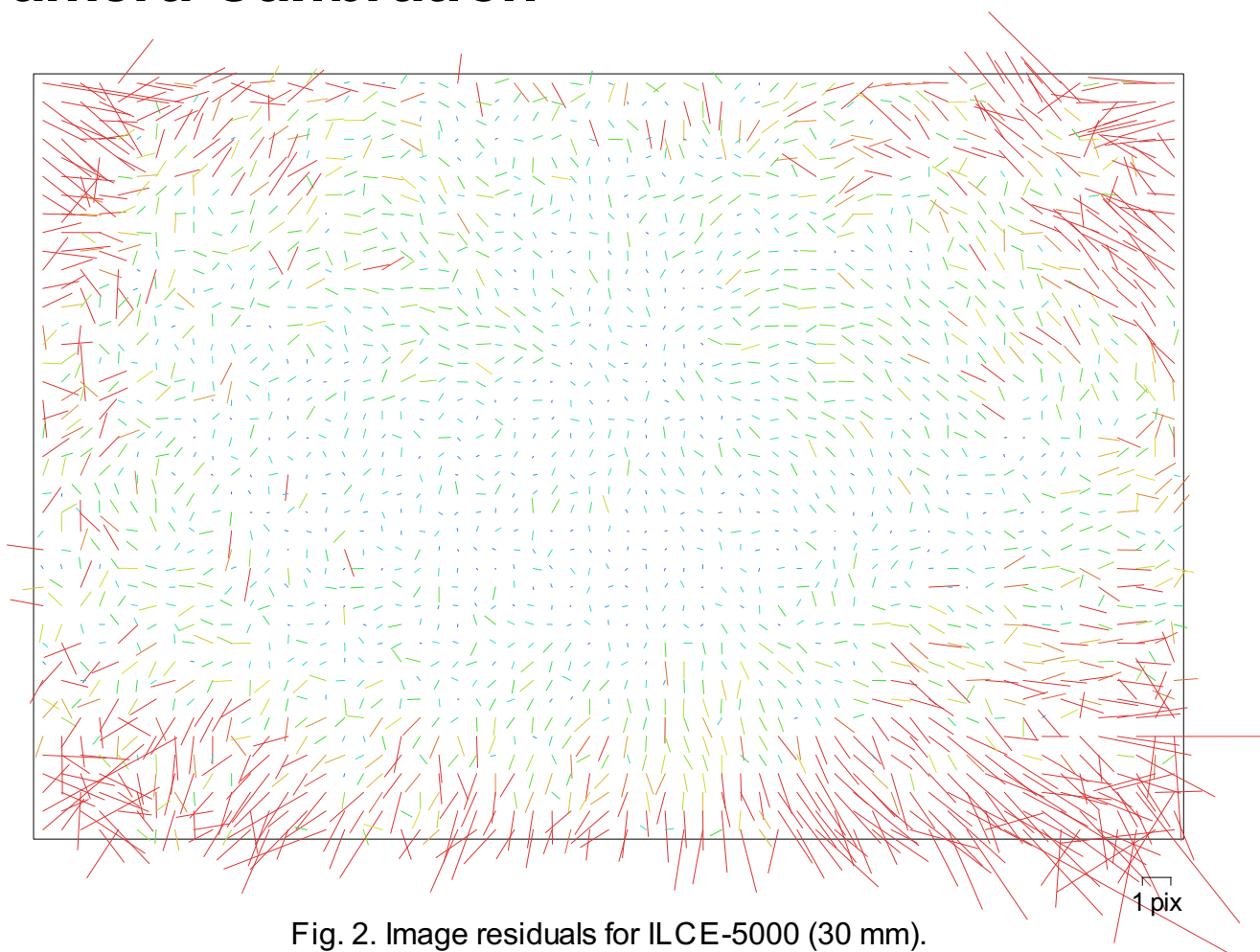


Fig. 2. Image residuals for ILCE-5000 (30 mm).

ILCE-5000 (30 mm)

Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
5456 x 3632	30 mm	4.4 x 4.4 μ m	No
Type:	Frame	Skew:	-0.616303
Fx:	7149.93	Cx:	2713.73
Fy:	7155.59	Cy:	1801.81
K1:	-0.133145	P1:	-0.000664518
K2:	0.312519	P2:	0.000811746
K3:	-0.442215	P3:	0
K4:	0	P4:	0

Ground Control Points

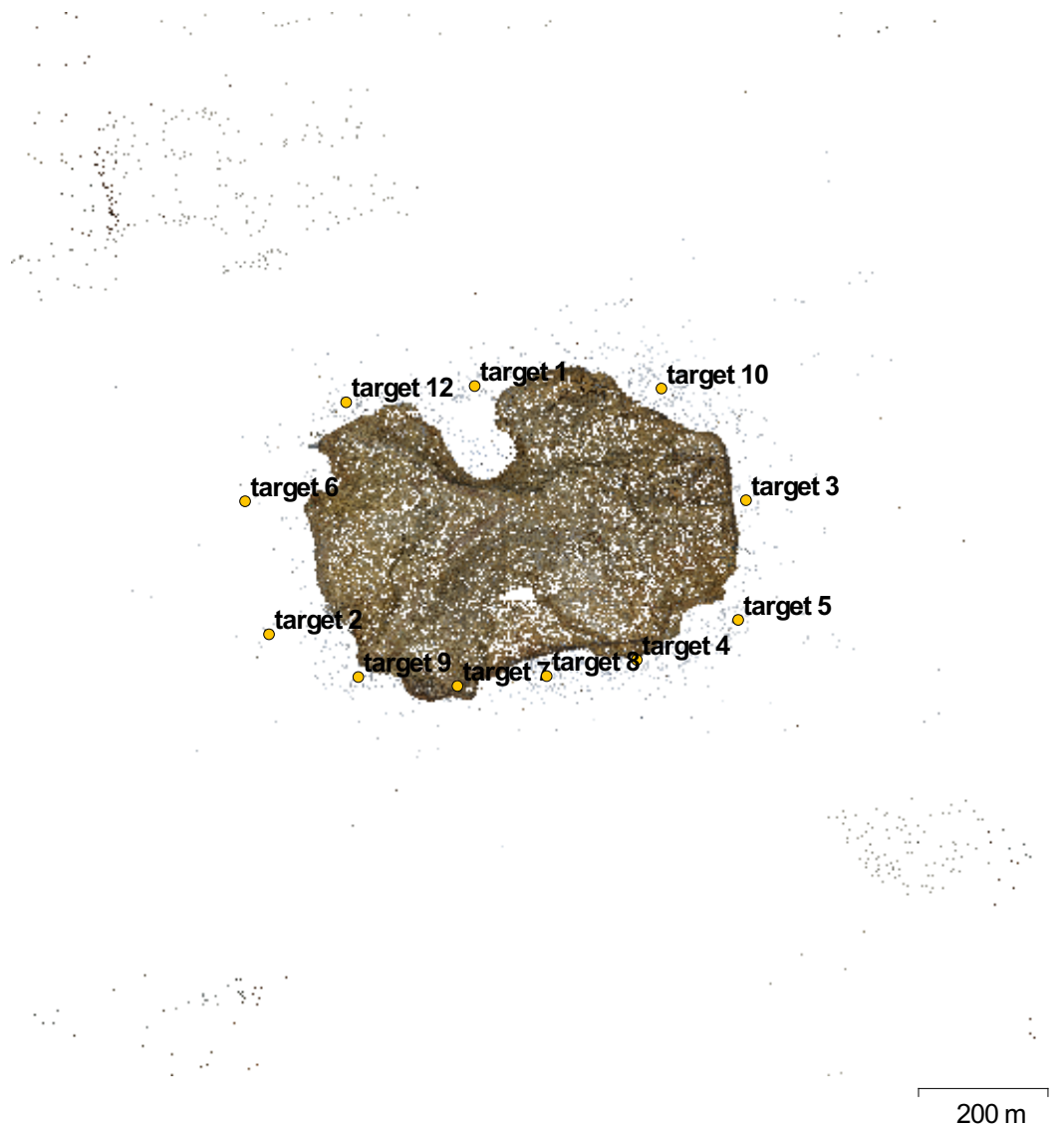


Fig. 3. GCP locations.

Label	XY error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
target 1	0.487167	-0.0441437	0.489163	14	2.601
target 3	0.189212	-0.516654	0.550212	23	2.444
target 4	0.279631	0.177742	0.331339	23	1.724
target 8	0.11348	0.117323	0.163225	22	5.737
target 9	0.409949	-0.0316275	0.411167	17	2.599
target 10	0.13437	0.571813	0.587388	20	2.679
target 12	0.346028	-0.175691	0.388076	21	3.594
Total	0.309389	0.310086	0.438036		3.332

Table 2. Control points.

Label	XY error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
target 2				5	0.922
target 5				15	1.562
target 6				7	1.961
target 7				23	6.985
Total					

Table 3. Check points.

Scale Bars

Label	Distance (m)	Error (m)
target 1_target 3	454.705	0.205222
target 3_target 8	410.605	0.104974
target 1_target 8	461.487	-0.0131674
target 3_target 12	635.912	-0.00261945
target 3_target 9	658.19	0.0329415
target 3_target 4	298.782	-0.104347
target 3_target 5	185.236	0.0579589
target 9_target 12	424.693	-0.0877518
Total		0.0976914

Table 4. Control scale bars.

Digital Elevation Model

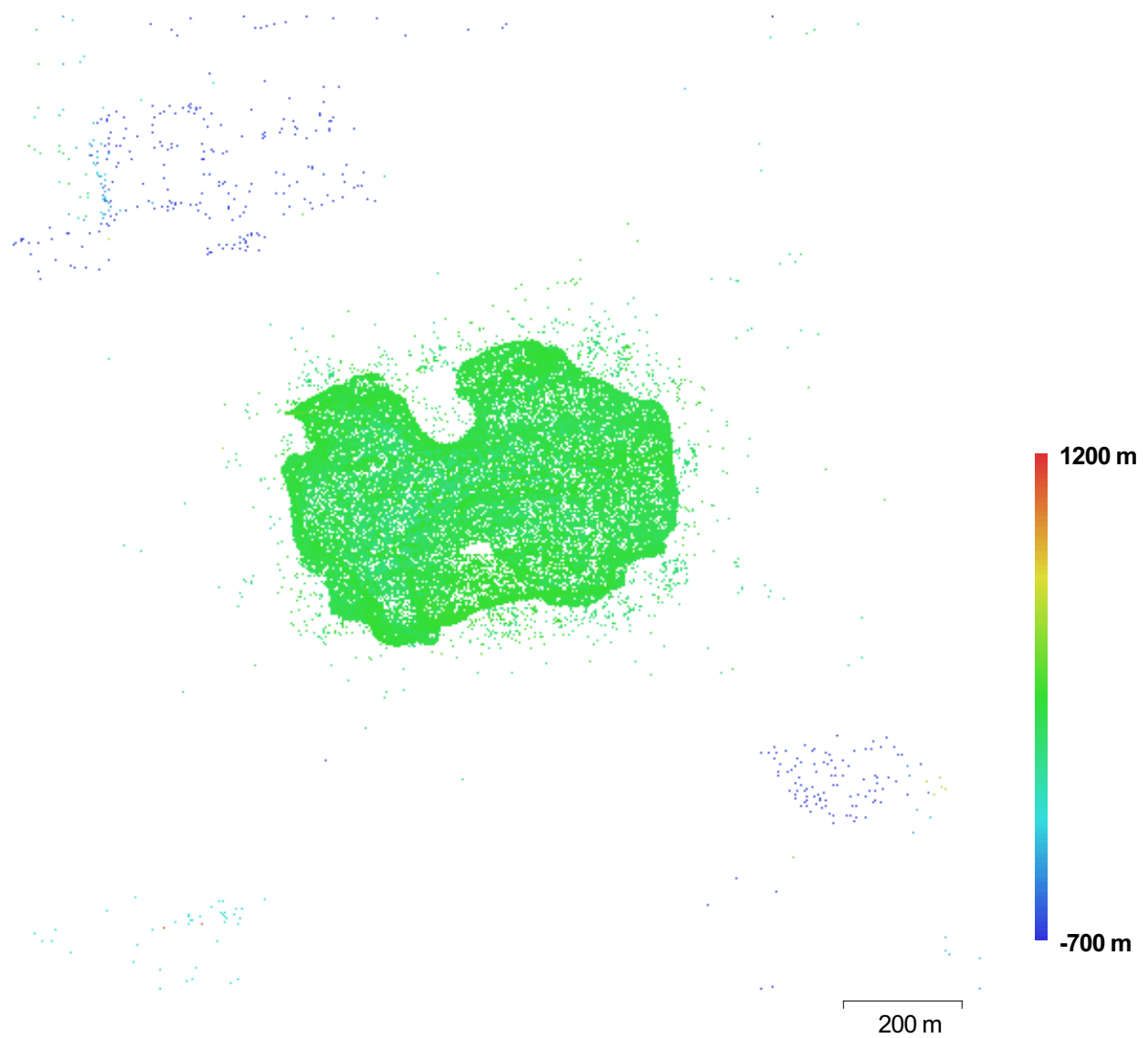


Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: unknown

Point density: unknown

Processing Parameters

General

Cameras	218
Aligned cameras	217
Markers	11
Scale bars	8
Coordinate system	Local Coordinates

Point Cloud

Points	87,535 of 193,281
RMS reprojection error	0.765165 (4.01997 pix)
Max reprojection error	20.2294 (85.5211 pix)
Mean key point size	5.8393 pix
Effective overlap	5.02753

Alignment parameters

Accuracy	High
Pair preselection	Disabled
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Constrain features by mask	No
Matching time	5 hours 54 minutes
Alignment time	5 minutes 46 seconds

Optimization parameters

Parameters	fx, fy, cx, cy, skew, k1-k3
Optimization time	10 seconds

Agisoft PhotoScan

INFORME TÓRAX PINNIPEDO

Puntos de comprobacion

Distancias de comprobación

28 July 2018

1000



Survey Data

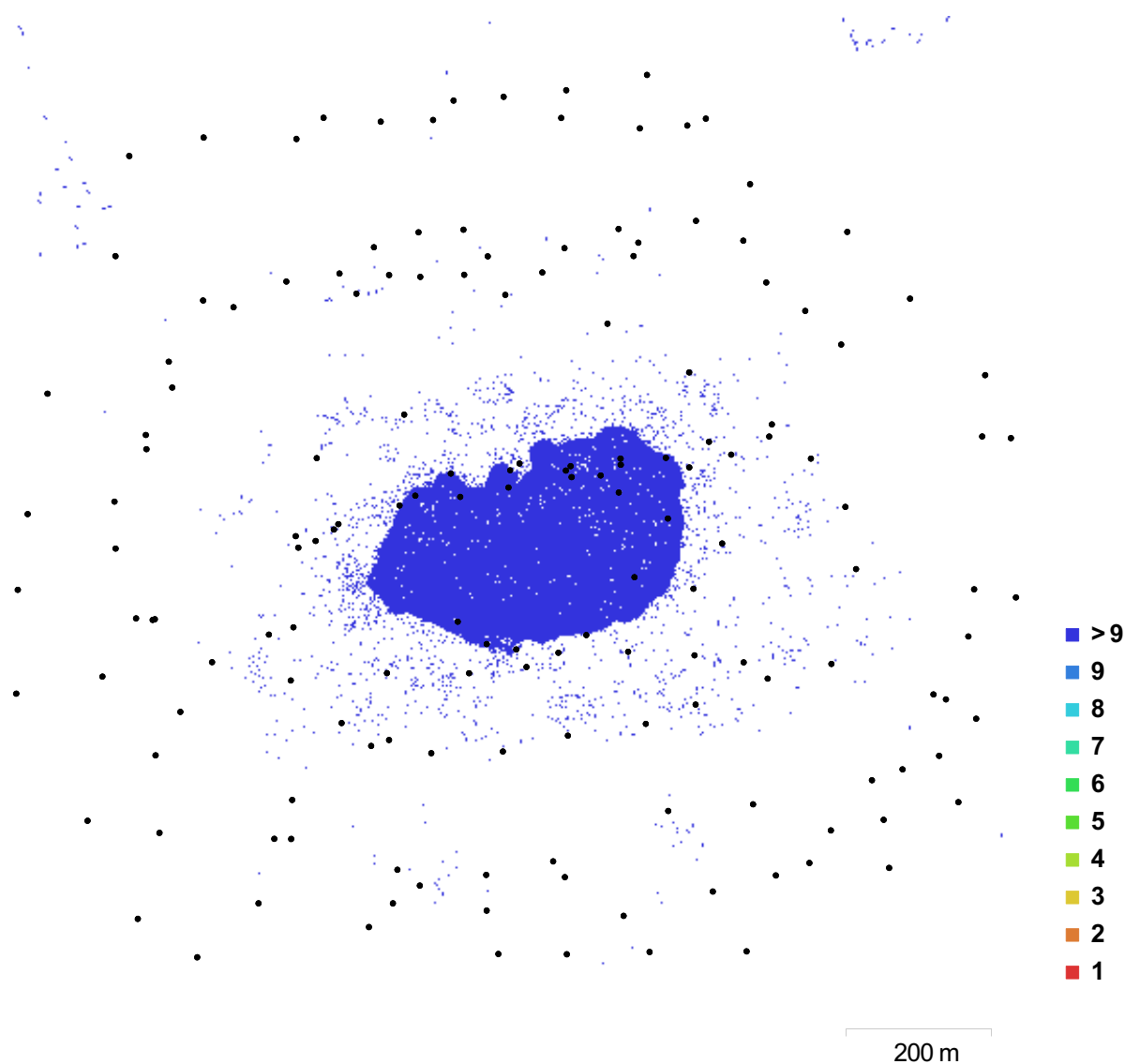


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	488	Camera stations:	479
Flying altitude:	522 m	Tie points:	225,653
Ground resolution:	6.62 cm/pix	Projections:	693,787
Coverage area:	1.06e+05 sq m	Reprojection error:	4.44 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
ILCE-5000 (30 mm)	5456 x 3632	30 mm	4.4 x 4.4 um	No
ILCE-5000 (30 mm)	5456 x 3632	30 mm	4.4 x 4.4 um	No
ILCE-5000 (30 mm)	5456 x 3632	30 mm	4.4 x 4.4 um	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

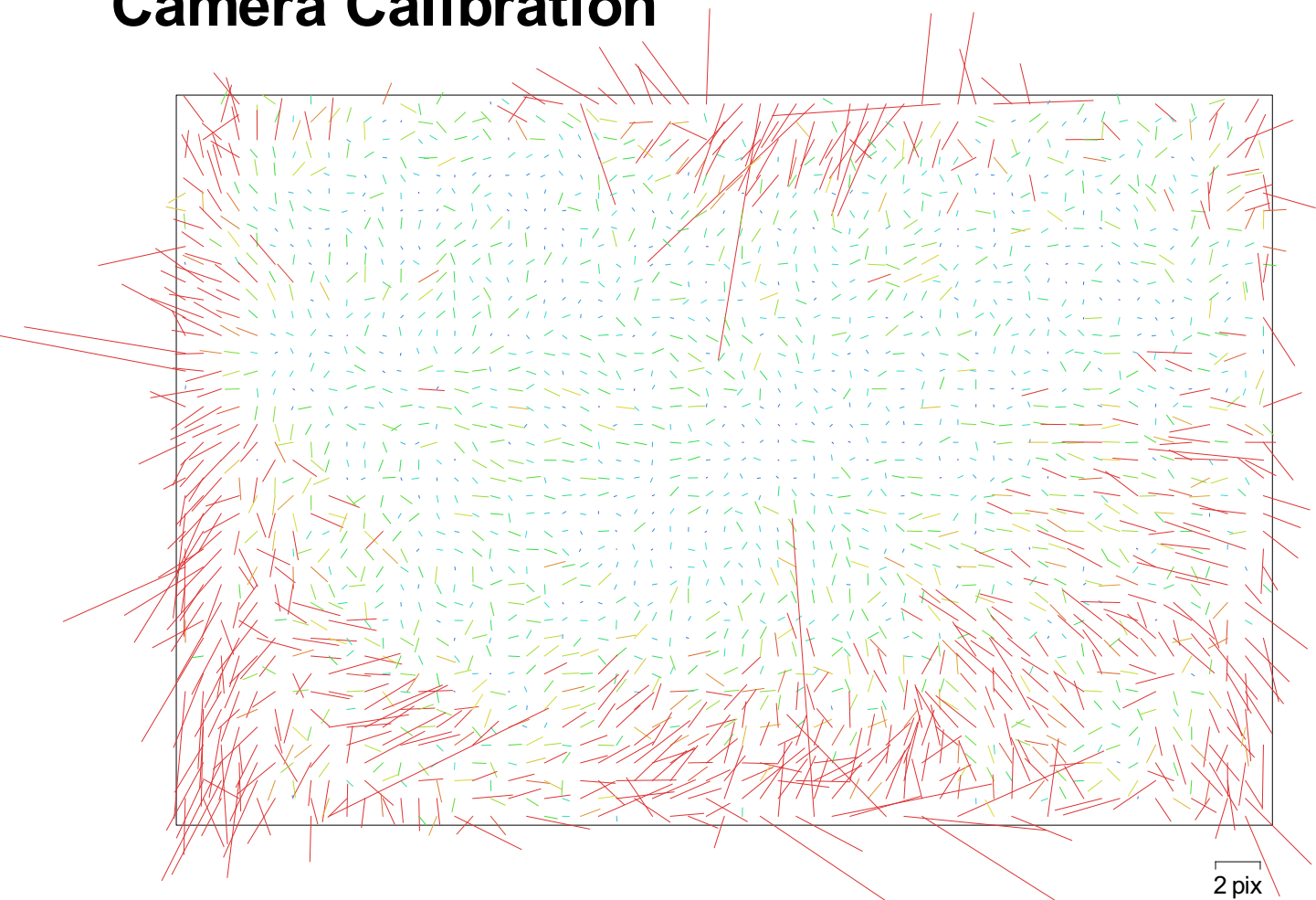


Fig. 2. Image residuals for ILCE-5000 (30 mm).

ILCE-5000 (30 mm)

Resolution 5456 x 3632	Focal Length 30 mm	Pixel Size 4.4 x 4.4 um	Precalibrated No
Type:	Frame	Skew:	-21.6783
Fx:	7869.85	Cx:	2705.43
Fy:	7881.29	Cy:	1680.45
K1:	-0.0771037	P1:	-0.000798741
K2:	-1.46259	P2:	0.00051646
K3:	17.1384	P3:	0
K4:	-48.0114	P4:	0

Camera Calibration

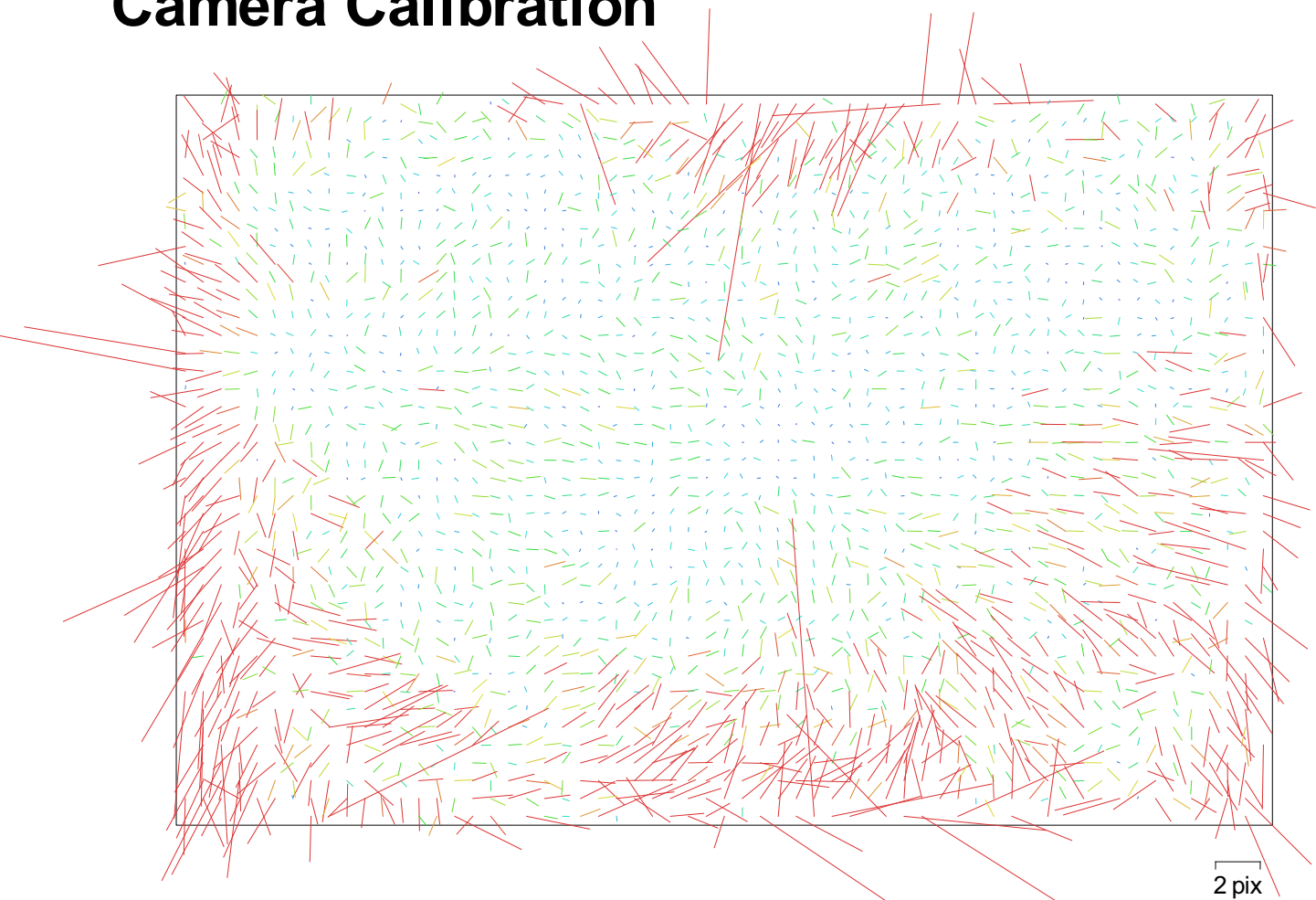


Fig. 3. Image residuals for ILCE-5000 (30 mm).

ILCE-5000 (30 mm)

Resolution 5456 x 3632	Focal Length 30 mm	Pixel Size 4.4 x 4.4 um	Precalibrated No
Type:	Frame	Skew:	-21.6783
Fx:	7869.85	Cx:	2705.43
Fy:	7881.29	Cy:	1680.45
K1:	-0.0771037	P1:	-0.000798741
K2:	-1.46259	P2:	0.00051646
K3:	17.1384	P3:	0
K4:	-48.0114	P4:	0

Camera Calibration

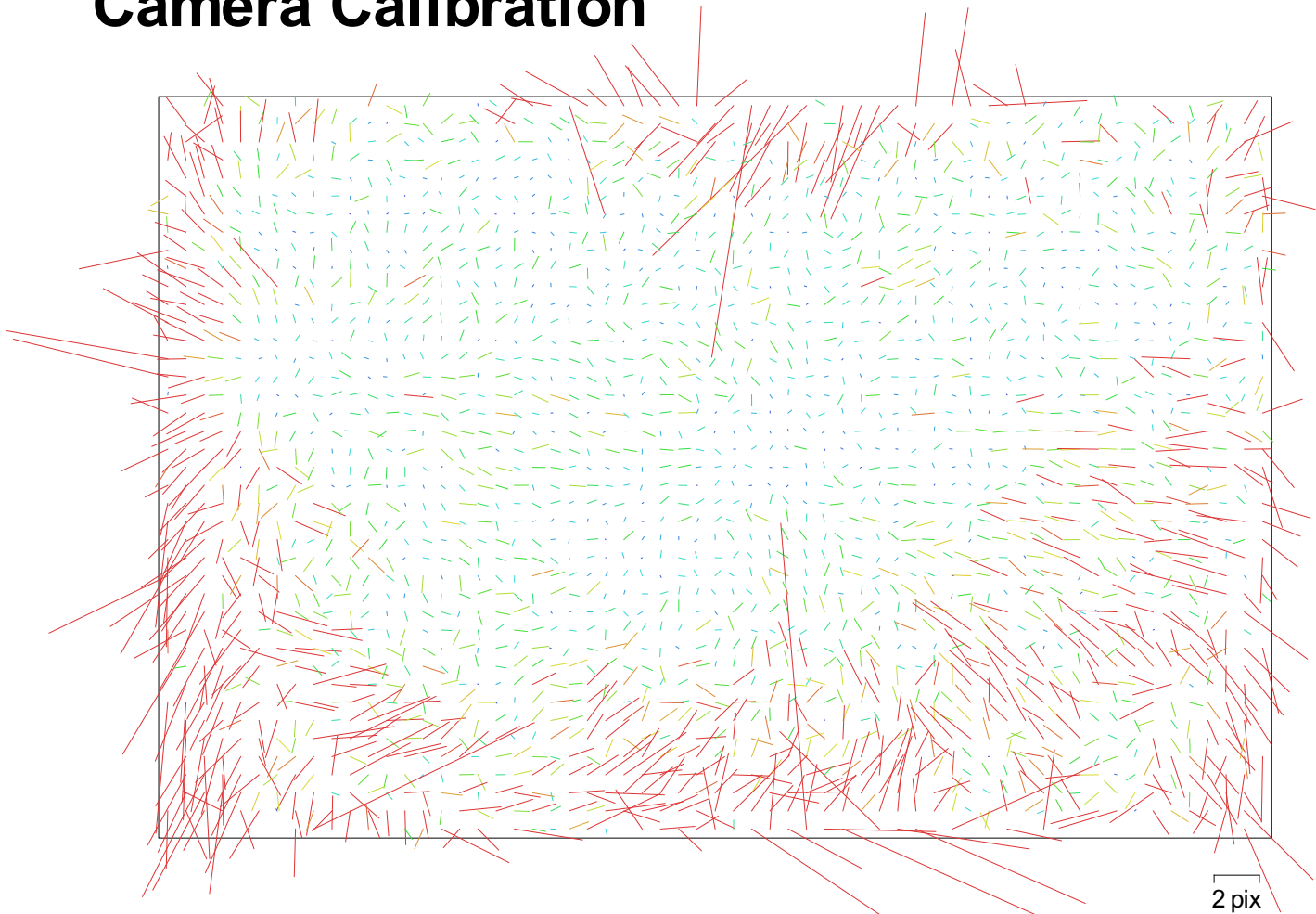


Fig. 4. Image residuals for ILCE-5000 (30 mm).

ILCE-5000 (30 mm)

Resolution 5456 x 3632	Focal Length 30 mm	Pixel Size 4.4 x 4.4 um	Precalibrated No
Type:	Frame	Skew:	-21.6783
Fx:	7877.66	Cx:	2707.36
Fy:	7889.12	Cy:	1675.11
K1:	-0.078638	P1:	-0.000798741
K2:	-1.43149	P2:	0.00051646
K3:	17.0285	P3:	0
K4:	-48.0114	P4:	0

Ground Control Points

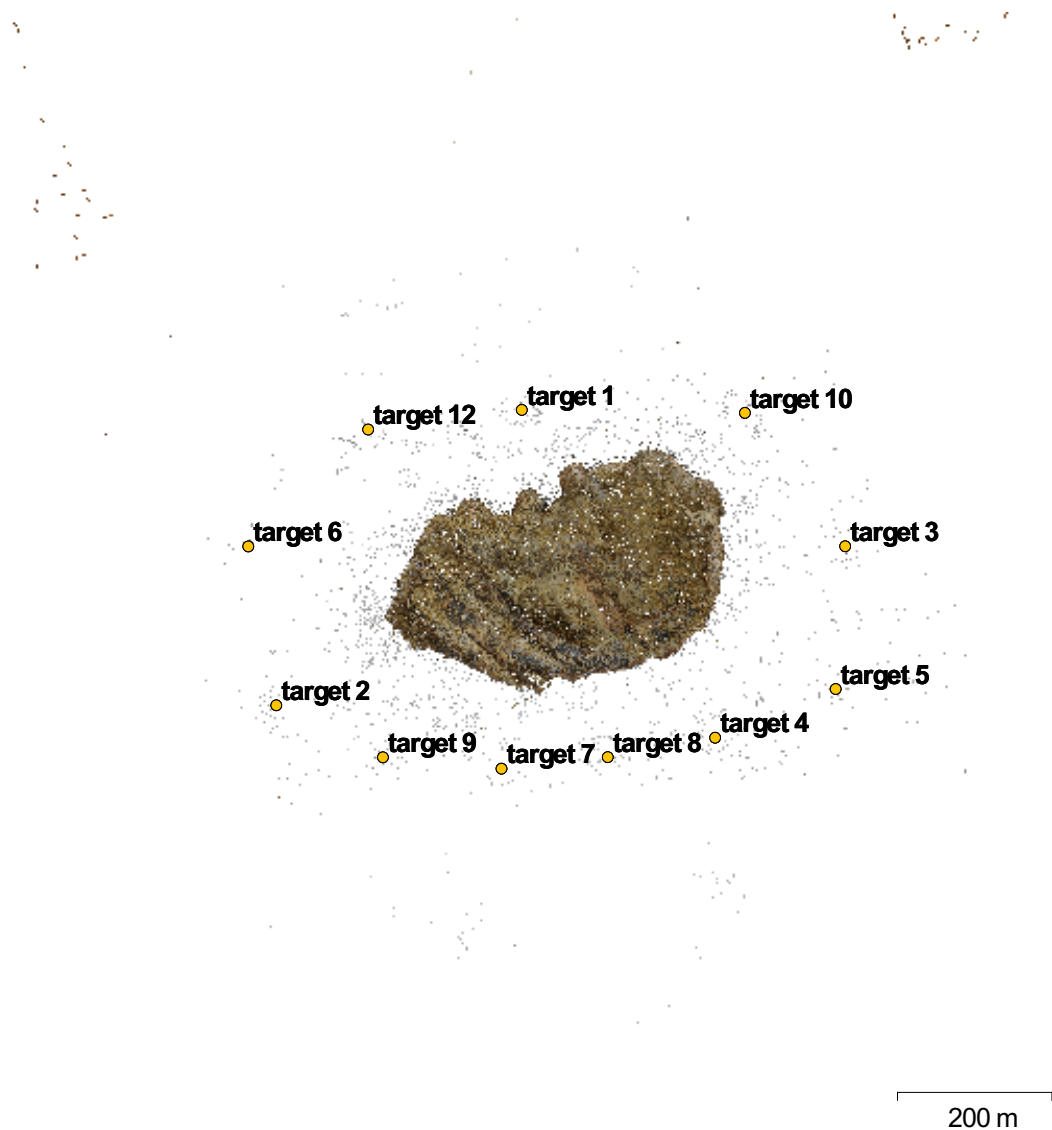


Fig. 5. GCP locations.

Label	XY error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
target 1	0.23716	0.0216553	0.238147	21	0.752
target 1	0.243925	0.0193647	0.244693	20	0.761
target 1	0.23716	0.0216553	0.238147	21	0.752
target 2	0.37338	0.171686	0.41096	8	1.236
target 2	0.370212	0.169696	0.407251	8	1.231
target 2	0.37338	0.171686	0.41096	8	1.236
target 3	0.0924509	-0.225747	0.243944	11	1.831
target 3	0.0881084	-0.224056	0.240758	11	1.816
target 3	0.0924509	-0.225747	0.243944	11	1.831

Label	XY error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
target 5	0.0735828	0.284409	0.293774	11	1.982
target 5	0.0735828	0.284409	0.293774	11	1.982
target 5	0.0704378	0.278965	0.28772	11	1.970
target 6	0.167548	-0.162773	0.233597	7	1.178
target 6	0.167548	-0.162773	0.233597	7	1.178
target 6	0.166641	-0.163295	0.233312	7	1.201
target 7	0.357811	-0.0715148	0.364888	20	1.776
target 7	0.357811	-0.0715148	0.364888	20	1.776
target 7	0.361352	-0.0633524	0.366864	19	1.787
target 9	0.191269	0.0827723	0.208411	12	1.506
target 9	0.191269	0.0827723	0.208411	12	1.506
target 9	0.197094	0.0692033	0.20889	12	1.519
target 12	0.140743	-0.0100403	0.141101	10	1.246
target 12	0.140743	-0.0100403	0.141101	10	1.246
target 12	0.145378	-0.00804345	0.1456	10	1.281
Total	0.230202	0.157247	0.278782		1.485

Table 2. Control points.

Label	XY error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
target 4	1.39147	-0.0964153	1.3948	19	2.352
target 4	1.37986	-0.0664012	1.38146	18	2.354
target 4	1.39147	-0.0964153	1.3948	19	2.352
target 8	1.80586	0.271945	1.82622	23	2.058
target 8	1.80586	0.271945	1.82622	23	2.058
target 8	1.77151	0.288079	1.79478	22	2.053
target 10	0.63003	-2.67338	2.74662	13	1.297
target 10	0.63003	-2.67338	2.74662	13	1.297
target 10	0.616921	-2.64651	2.71746	13	1.274
Total	1.35857	1.54747	2.05921		2.016

Table 3. Check points.

Scale Bars

Label	Distance (m)	Error (m)
target 1_target 3	454.554	0.0541714
target 3_target 8	411.292	0.792467
target 1_target 8	463.287	1.78746
target 2_target 5	724.786	0.286404
target 1_target 7	465.376	-0.923692
target 3_target 6	773.068	0.0684258
target 2_target 3	765.061	0.561311
target 9_target 7	154.266	-0.234075
Total		0.801229

Table 4. Check scale bars.

Digital Elevation Model

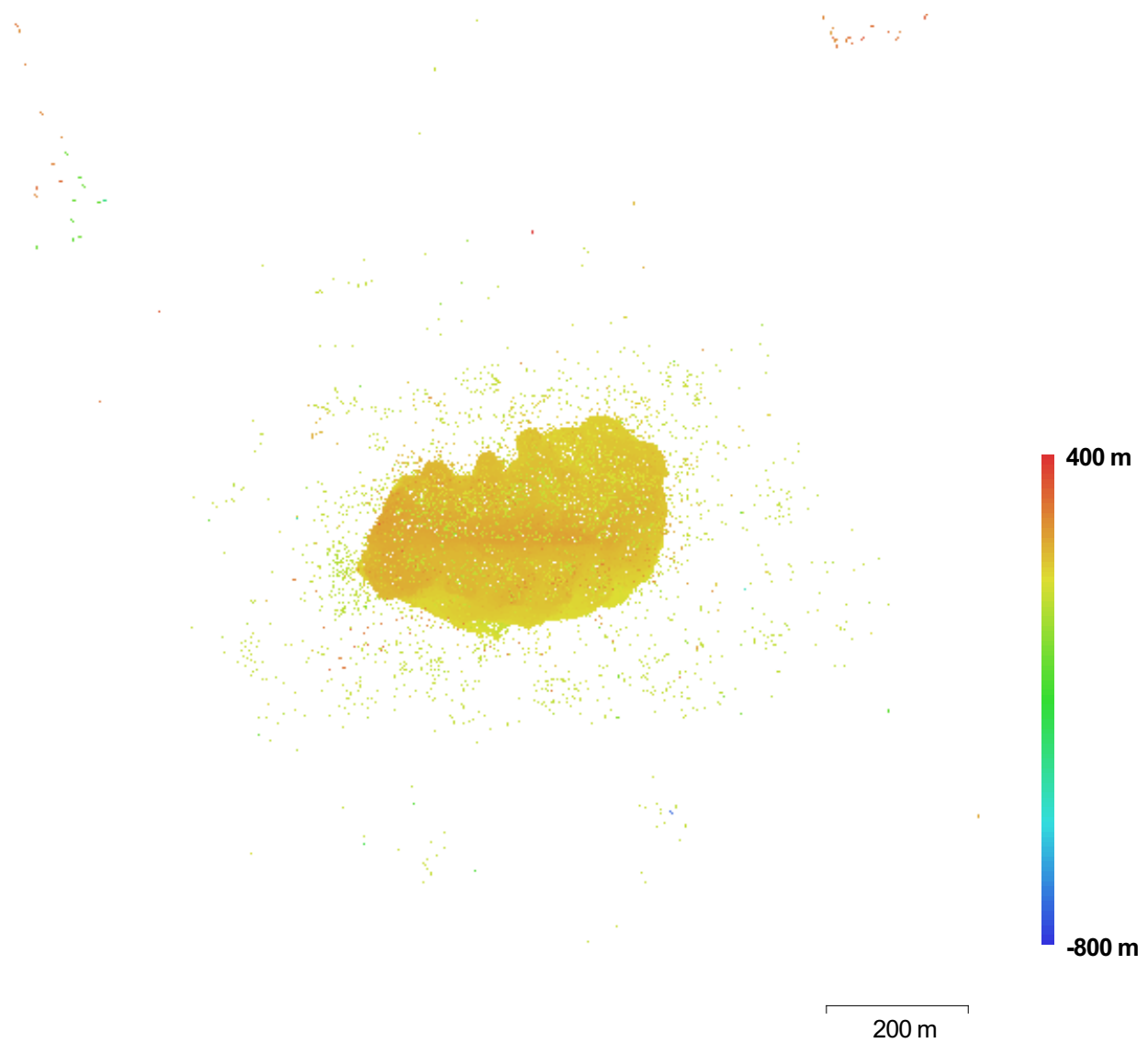


Fig. 6. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: unknown

Point density: unknown

Processing Parameters

General

Cameras	488
Aligned cameras	479
Markers	33
Scale bars	8
Coordinate system	Local Coordinates

Point Cloud

Points	225,653 of 282,243
RMS reprojection error	0.384476 (4.43543 pix)
Max reprojection error	5.49217 (60.1494 pix)
Mean key point size	14.1032 pix
Effective overlap	3.58214

Optimization parameters

Parameters	f, cx, cy, k1-k3
Optimization time	1 minutes 5 seconds

Agisoft PhotoScan

INFORME DIENTE 1
Puntos de comprobacion
Distancias de comprobación

28 July 2018



Survey Data

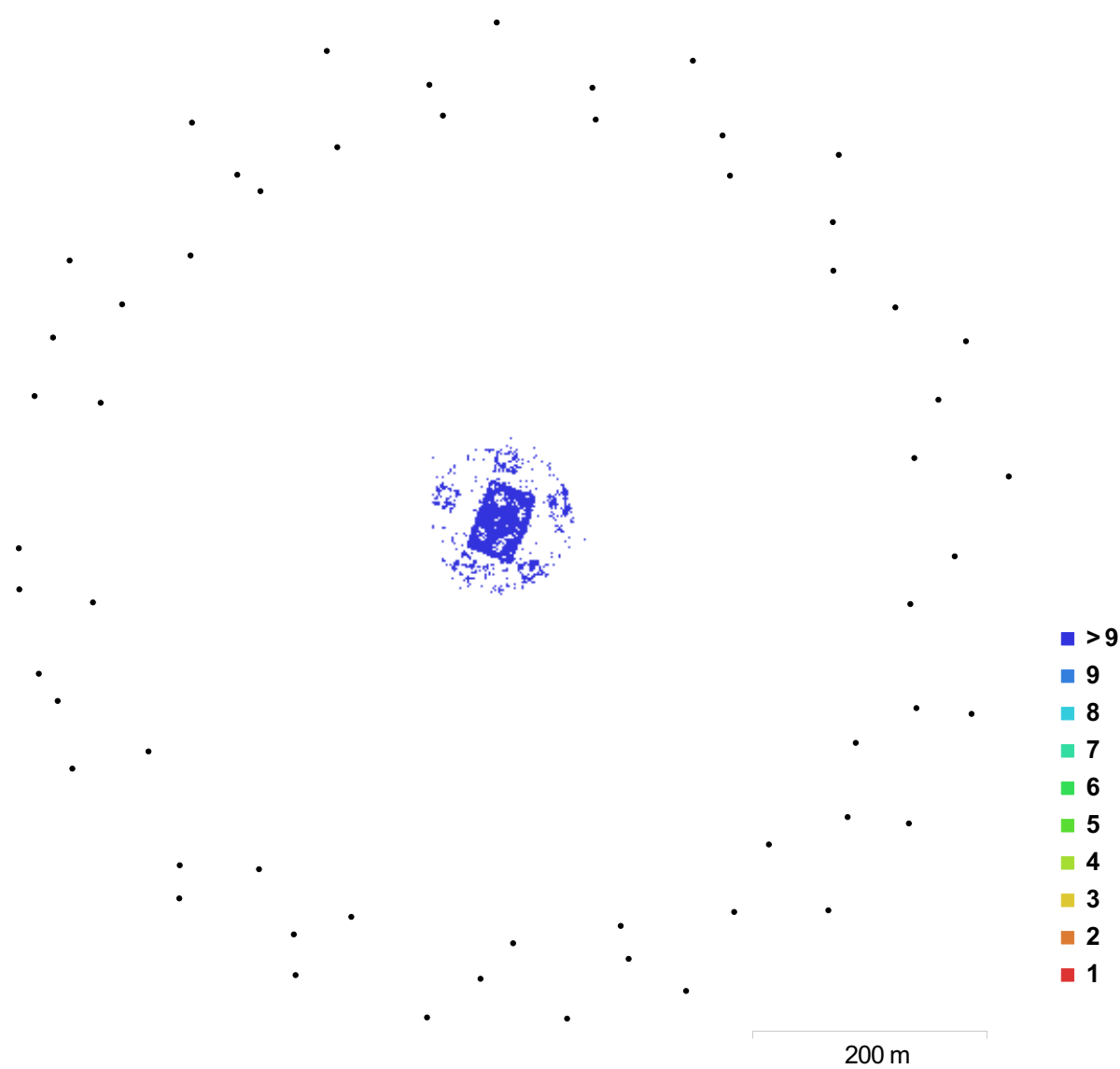


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	57	Camera stations:	57
Flying altitude:	455 m	Tie points:	17,272
Ground resolution:	5.09 cm/pix	Projections:	60,220
Coverage area:	3.79e+03 sq m	Reprojection error:	1.36 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
Canon EOS 5D Mark II (50 mm)	5616 x 3744	50 mm	6.55 x 6.55 um	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

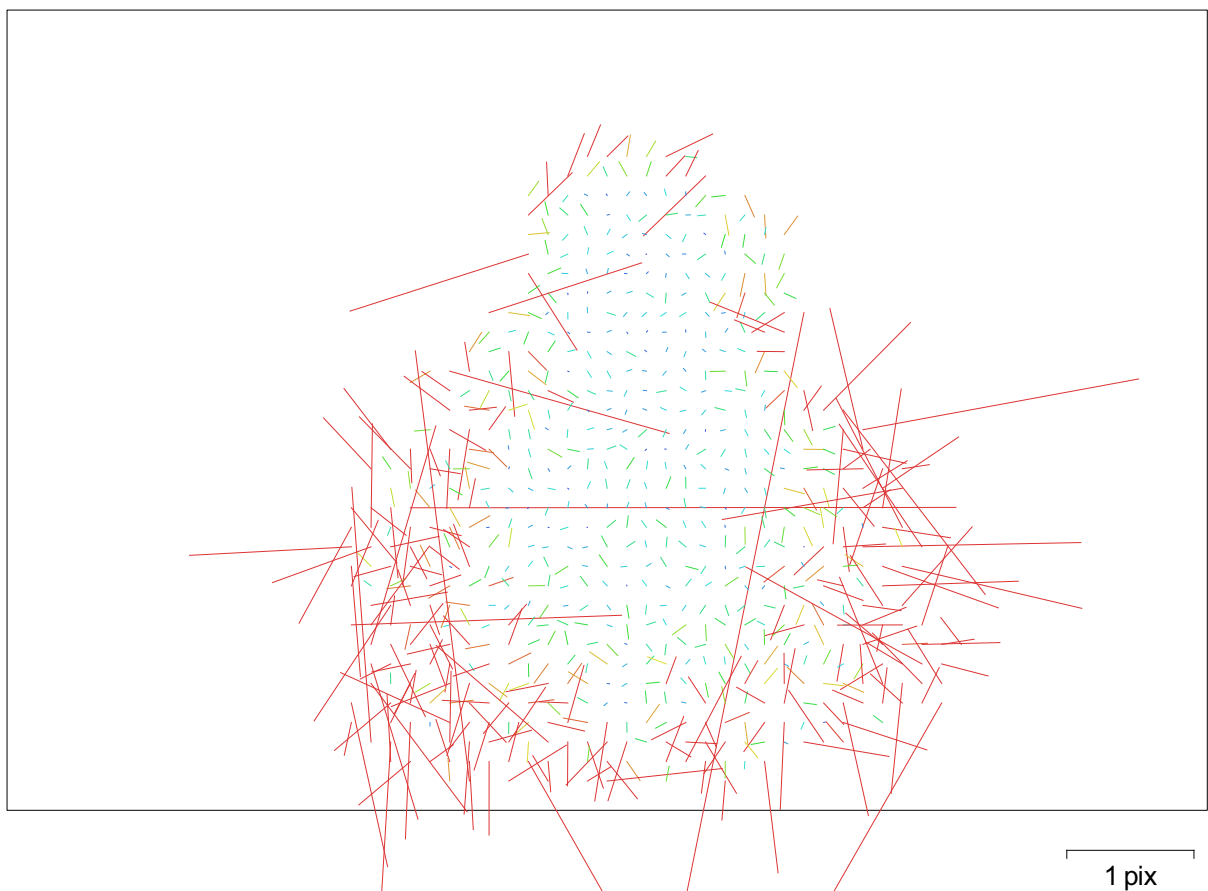


Fig. 2. Image residuals for Canon EOS 5D Mark II (50 mm).

Canon EOS 5D Mark II (50 mm)

Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
5616 x 3744	50 mm	6.55 x 6.55 um	No
Type:	Frame	Skew:	0.303268
Fx:	8934.32	Cx:	2904.42
Fy:	8940.15	Cy:	1775.19
K1:	-0.132646	P1:	-0.000347322
K2:	-1.5063	P2:	0.0010198
K3:	10.961	P3:	0
K4:	47.8763	P4:	0

Ground Control Points

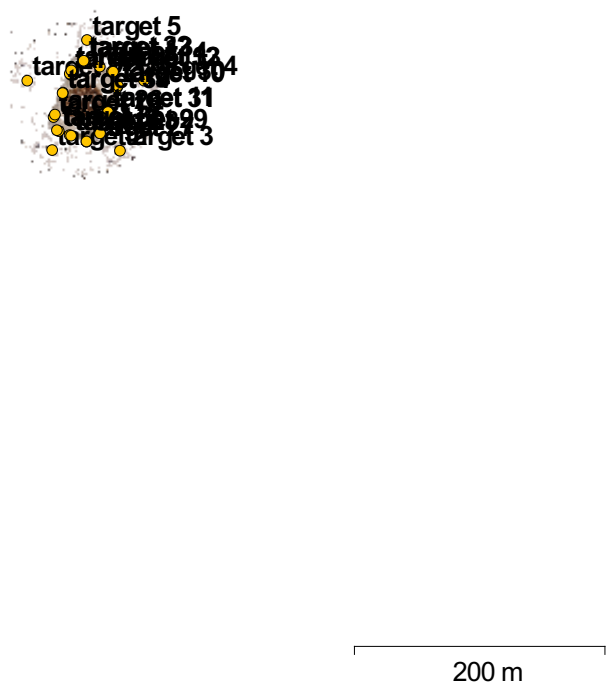


Fig. 3. GCP locations.

Label	XY error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
target 1	0.0574665	0.0343581	0.0669543	41	0.300
target 2	0.0370545	-0.0244755	0.0444082	42	0.349
target 3	0.0343236	0.00502833	0.03469	43	0.347
target 4	0.0331706	0.0182591	0.037864	45	0.406
target 5	0.0416714	-0.0332109	0.0532867	44	0.378
Total	0.0416902	0.0254604	0.0488498		0.359

Table 2. Control points.

Label	XY error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
-------	--------------	-------------	-----------	-------------	-------------

Label	XY error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
target 6	0.0869183	-0.085933	0.122226	25	0.298
target 7	0.197021	-0.120864	0.231139	24	0.259
target 8	0.198924	-0.100149	0.222712	25	0.396
target 9	0.0536761	-0.14194	0.15175	24	0.343
target 10	0.0290952	-0.0579469	0.0648412	24	0.424
target 11	0.0677501	-0.120446	0.138193	24	0.284
target 12	0.0243648	-0.0239744	0.0341821	21	0.377
target 13	0.00855305	-0.0164695	0.018558	21	0.344
target 14	0.0470757	-0.00576084	0.0474269	21	0.269
target 15	0.0615266	-0.0925123	0.111104	23	0.364
target 16	0.1305	-0.145688	0.19559	23	0.321
target 17	0.0658704	-0.0802779	0.103843	23	0.265
target 25				23	0.518
target 26				23	0.229
target 27				25	0.289
target 28				25	0.362
target 29				24	0.277
target 30				24	0.492
target 31				24	0.387
target 32				21	0.351
target 33				21	0.231
target 34				23	0.334
target 35				25	0.323
Total	0.100953	0.0944906	0.138275		0.333

Table 3. Check points.

Scale Bars

Label	Distance (m)	Error (m)
target 1_target 2	58.8613	-0.0222277
target 2_target 3	54.1552	-0.0145524
target 3_target 4	59.1412	0.0406064
target 4_target 5	55.8282	-0.0217661
target 1_target 5	57.7173	0.0132873
target 1_target 4	93.1677	
target 1_target 3	92.7503	
target 2_target 5	92.1913	
target 2_target 4	91.9255	
target 3_target 5	92.2011	
Total		0.0245154

Table 4. Check scale bars.

Digital Elevation Model

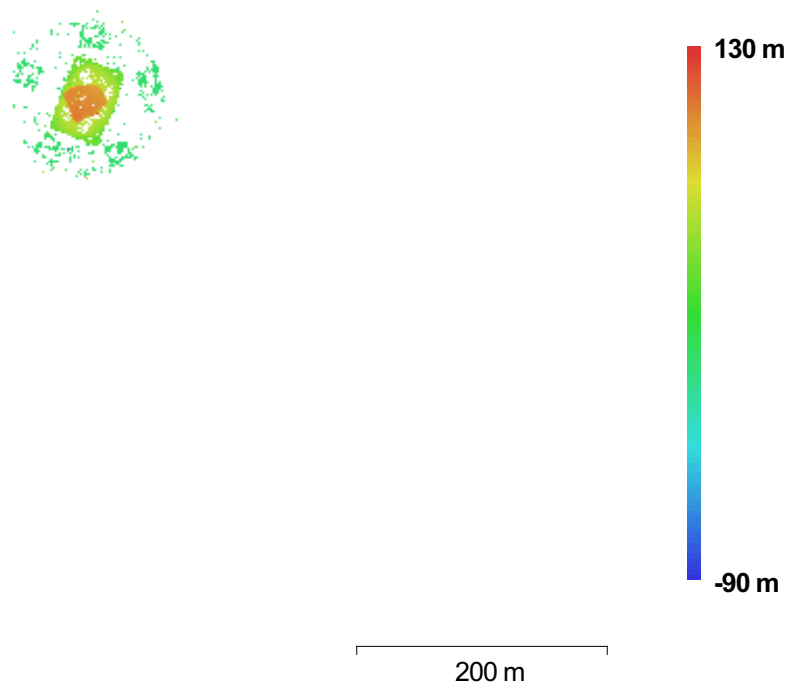


Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: unknown

Point density: unknown

Processing Parameters

General

Cameras	57
Aligned cameras	57
Markers	28
Scale bars	10
Coordinate system	Local Coordinates

Point Cloud

Points	17,272 of 22,388
RMS reprojection error	0.179278 (1.35907 pix)
Max reprojection error	0.720447 (44.5308 pix)
Mean key point size	5.33888 pix
Effective overlap	3.73548

Alignment parameters

Accuracy	High
Pair preselection	Generic
Keypoint limit	40,000
Tie point limit	4,000
Constrain features by mask	No
Matching time	7 minutes 54 seconds
Alignment time	15 seconds

Optimization parameters

Parameters	f, cx, cy, k1-k3
Optimization time	1 seconds

Agisoft PhotoScan

INFORME DIENTE 2
Puntos de comprobacion
Distancias de comprobación

28 July 2018



Survey Data

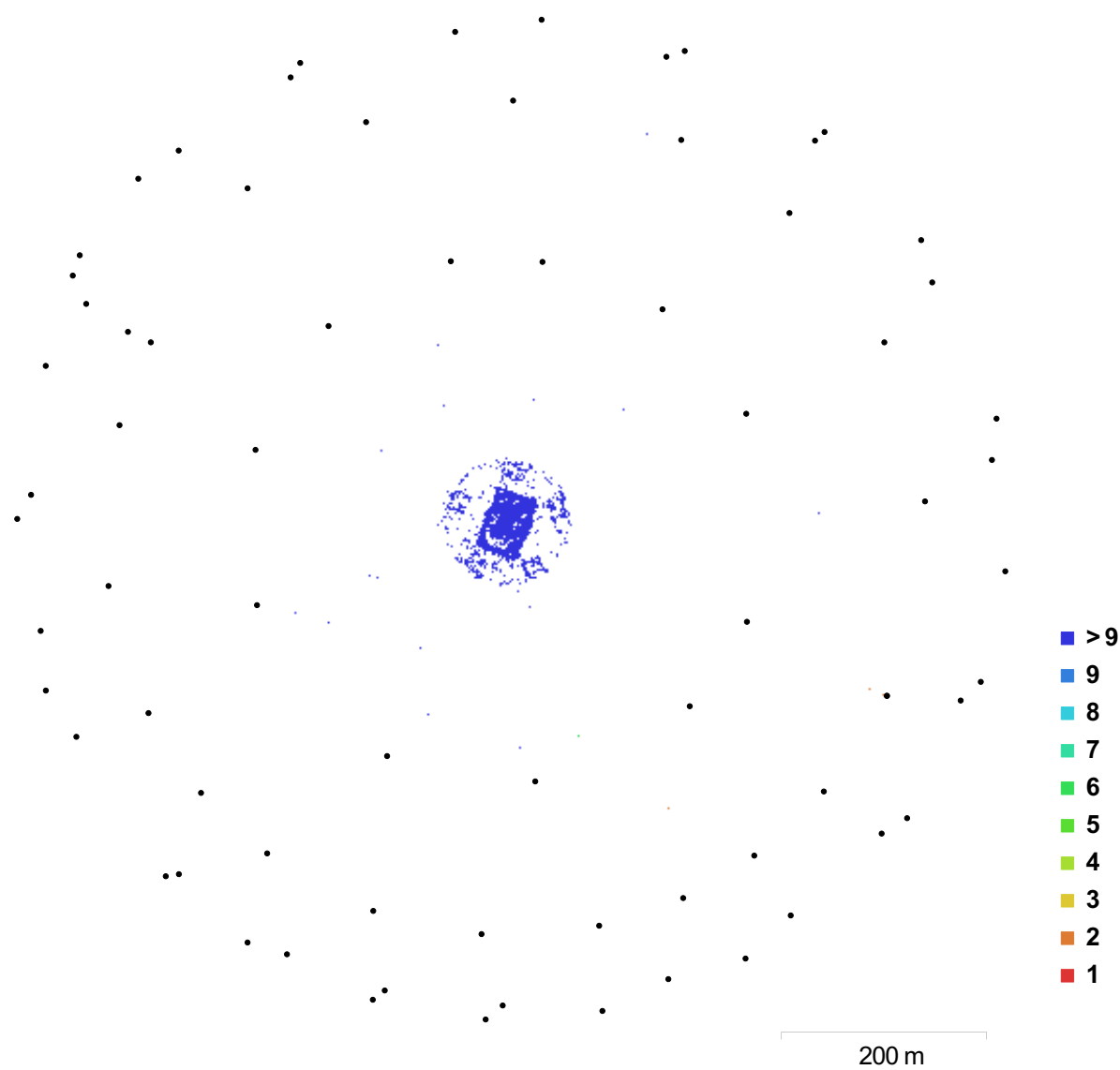


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	73	Camera stations:	73
Flying altitude:	503 m	Tie points:	17,285
Ground resolution:	5.74 cm/pix	Projections:	63,582
Coverage area:	4.3e+03 sq m	Reprojection error:	1.36 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
Canon EOS 5D Mark II (50 mm)	5616 x 3744	50 mm	6.55 x 6.55 um	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

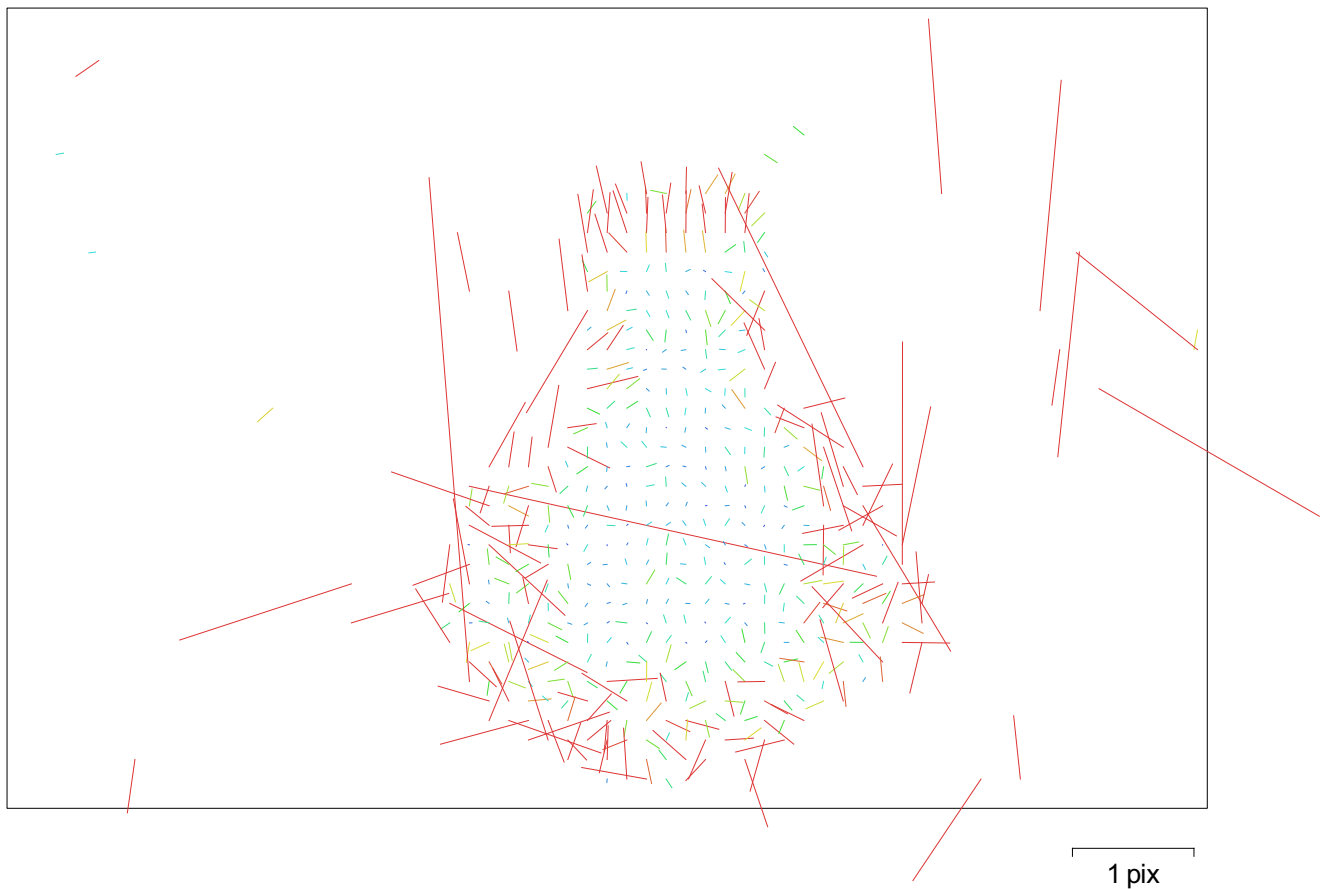


Fig. 2. Image residuals for Canon EOS 5D Mark II (50 mm).

Canon EOS 5D Mark II (50 mm)

Resolution 5616 x 3744	Focal Length 50 mm	Pixel Size 6.55 x 6.55 um	Precalibrated No
Type:	Frame	Skew:	-1.24922
Fx:	8762.81	Cx:	2914.28
Fy:	8762.05	Cy:	1986.5
K1:	-0.129372	P1:	-0.00037243
K2:	-0.892236	P2:	0.00103236
K3:	-5.18717	P3:	0
K4:	0	P4:	0

Ground Control Points

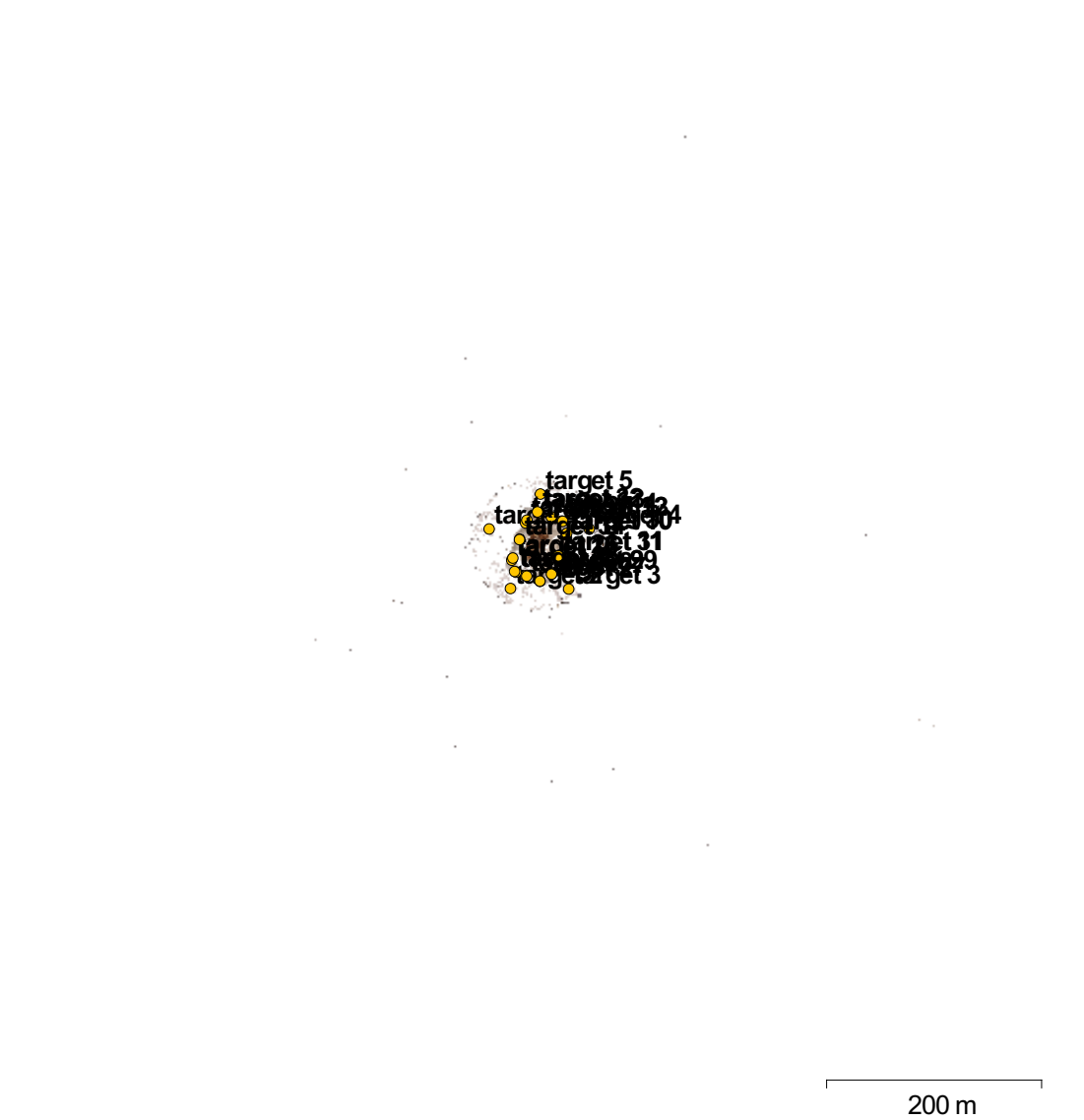


Fig. 3. GCP locations.

Label	XY error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
target 1	0.06347	0.0394316	0.0747214	55	0.296
target 2	0.0292418	-0.0294537	0.0415043	54	0.301
target 3	0.036148	0.00785565	0.0369917	55	0.338
target 4	0.0294109	0.0190192	0.0350248	59	0.288
target 5	0.0443804	-0.0369713	0.0577624	56	0.308
Total	0.0424849	0.0290265	0.0514539		0.306

Table 2. Control points.

Label	XY error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
-------	--------------	-------------	-----------	-------------	-------------

Label	XY error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
target 6				31	0.320
target 7				31	0.373
target 8				31	0.339
target 9				29	0.372
target 10				29	0.403
target 11				29	0.430
target 12				26	0.353
target 13				26	0.312
target 14				26	0.471
target 15				28	0.341
target 16				28	0.232
target 17				28	0.304
target 25				28	0.504
target 26				28	0.282
target 27				31	0.341
target 28				31	0.344
target 29				29	0.406
target 30				29	0.346
target 31				29	0.282
target 32				26	0.448
target 33				26	0.216
target 34				28	0.331
target 35				31	0.364
Total					

Table 3. Check points.

Scale Bars

Label	Distance (m)	Error (m)
target 1_target 2	58.8487	-0.0348469
target 2_target 3	54.1541	-0.0157029
target 3_target 4	59.1462	0.0455974
target 4_target 5	55.8427	-0.00724855
target 1_target 5	57.7115	0.00752356
target 3_target 5	92.2166	0.0419819
target 2_target 5	92.1857	0.0715825
target 1_target 4	93.1655	
target 1_target 3	92.7489	
target 2_target 4	91.9193	
Total		0.0387956

Table 4. Check scale bars.

Digital Elevation Model

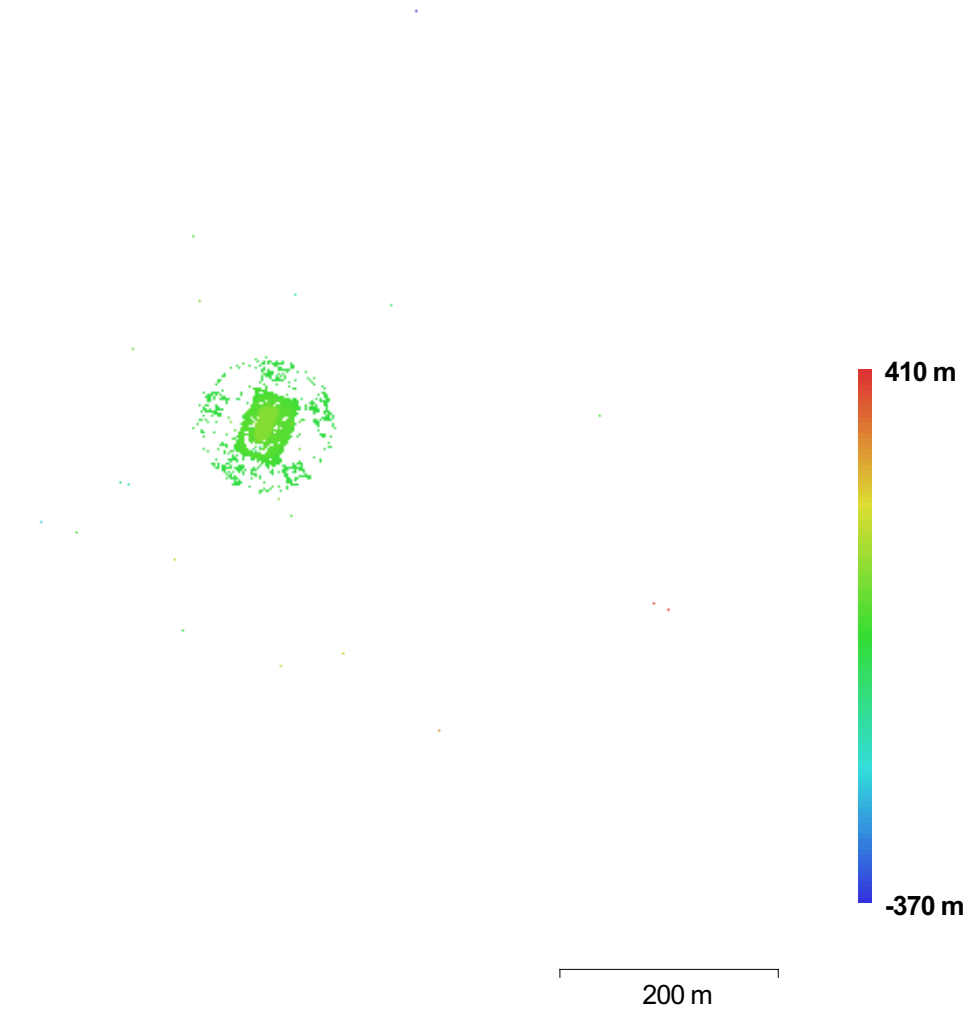


Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: unknown

Point density: unknown

Processing Parameters

General

Cameras	73
Aligned cameras	73
Markers	28
Scale bars	10
Coordinate system	Local Coordinates

Point Cloud

Points	17,285 of 26,807
RMS reprojection error	0.181466 (1.35508 pix)
Max reprojection error	0.646004 (42.3717 pix)
Mean key point size	5.0037 pix
Effective overlap	3.96314

Alignment parameters

Accuracy	High
Pair preselection	Generic
Keypoint limit	40,000
Tie point limit	4,000
Constrain features by mask	No
Matching time	16 minutes 30 seconds
Alignment time	17 seconds

Optimization parameters

Parameters	f, cx, cy, k1-k3
Optimization time	1 seconds