

dedicatoria

Nathan

Dedico este presente con mucho cariño, a mis padres Samuel Ccapa y Nazaria Ayala, por su entrega y sacrificio para con su familia, a mi abuela Angelica Choque por cuidar de mí mis primeros años de vida, a mis hermanos por creer siempre en mí, y a Shalom Crispin por su amor y apoyo incondicional.

Enrique

Dedico con todo mi corazón esta tesis a mi madre Gregoria Huayllapuma Huaman, por ser mi ejemplo de amor incondicional y sacrificio, este logro es de ambos. A Kely Suni Mendoza por todo el amor brindado y el apoyo absoluto ante mis proyectos, gracias por la paciencia y entrega para conmigo.

Agradecimientos

Al PRONABEC, por contribuir a una sociedad más equitativa brindando oportunidad a muchos jóvenes talentos para que puedan culminar la educación superior en condiciones de calidad.

Nuestra gratitud a AEC SPACE, empresa que promueve la innovación a través de la investigación en el campo de la ingeniería en cuyos espacios concebimos la idea de tesis y pudimos desarrollarla.

A nuestros jurados y asesor quienes también fueron nuestros docentes en las aulas, por sus aportes y recomendaciones que hicieron que esta investigación pueda generar un valor significativo al área de fotogrametría y geodesia en nuestra región.

A nuestros amigos Wildor, Dheivis, Juanjo, Gabi, Mayte, Fernando, Juanpa, Vladi, Victor y William.

A nuestros mentores Ing. Luis Aragón, Ing. Igor Serrano, Ing. Rubén Valenza, Ing. Carlos Luna, Ing. Abel Franco, Ing. Marcia Zevallos.

Índice

Símbolos y términos abreviados	11
Resumen	12
Abstract	13
Introducción	14
Capítulo 1 Aspectos Generales	15
1.1 Situación Problemática	15
1.2 Formulación Del Problema	19
1.2.1 Problema General	19
1.2.2 Problemas Específicos	19
1.3 Objetivos De La Investigación	19
1.3.1 Objetivo General	19
1.3.2 Objetivos Específicos	19
1.4 Hipótesis Y Variables	20
1.4.1 Hipótesis general	20
1.4.2 Hipótesis Específicas	20
1.5 Justificación De La Investigación	20
1.6 Importancia Del Trabajo De Investigación	21
1.7 Operacionalización De Variables	21
1.8 Limitaciones De La Investigación	22
1.9 Tipo De Investigación	23
1.10 Nivel De Investigación	23
1.11 Diseño De La Investigación	23
1.12 Unidad De Análisis	23
1.13 Población De Estudio	24
1.14 Selección De Muestras	25
1.15 Muestra	25

Capítulo 2 Marco Conceptual	27
2.1 Antecedentes De La Investigación	27
2.2 Fotogrametría	28
2.3 Clasificación De La Fotogrametría	29
2.4 Planificación De Vuelos	30
2.4.1 Parámetros De Planificación	30
2.4.2 Tipos De Vuelo Según Su Elevación	31
2.4.3 Distancia De Muestreo Del Suelo (GSD)	33
2.5 Procesamiento Fotogramétrico	35
2.5.1 Orientación interna con cámaras digitales	35
2.5.2 Orientación Relativa	35
2.5.3 Orientación Absoluta	37
2.6 Puntos De Apoyo Terrestre	37
2.7 Structure From Motion, Estructura Del Movimiento (SfM)	39
2.8 Productos Fotogramétricos	40
2.8.1 Nube De Puntos Densa	40
2.8.2 Modelo Digital de Elevación	41
2.8.3 Ortomosaico	42
2.9 Aeronave Pilotada A Distancia (RPA)	43
2.10 Sistema De Aeronave Pilotada A Distancia (RPAS)	43
2.11 Sistema Mundial de Navegación Por Satélite (GNSS)	43
2.11.1 Sistema de Posicionamiento Global (GPS)	44
2.11.2 Sistema Global De Navegación Por Satélite (GLONASS)	45
2.12 Geoide y/o nivel medio del mar	45
2.13 Elipsoide	46
2.14 Distancias Verticales	48
2.14.1 Altitud	48
2.14.2 Altitud Ortométrica (H)	48
2.14.3 Altura	48

2.14.4	Altura Elipsoidal	49
2.15	Sistema Geodésico Oficial Del Perú	49
2.16	Red Geodésica Peruana De Monitoreo Continuo (REGPMOC)	49
2.17	Sistema De Proyección Cartográfica UTM	50
2.18	Error de raíz cuadrada media (RMSE)	51
2.19	Exactitud	52
2.20	Precisión	52
2.21	Método estático relativo de posicionamiento de receptor GNSS	53
2.22	Marco legal	54
2.22.1	Norma técnica complementaria NTC 001-2015	54
2.22.2	Norma técnica geodésica	54
2.22.3	Especificaciones Técnicas para la Generación de Ortoimágenes	54
Capítulo 3	Recolección De Datos	55
3.1	Flujo De Trabajo	55
3.2	Recopilación De Información Geodésica	55
3.2.1	Datos Generales	55
3.2.2	Especificaciones Técnicas De Los Equipos Utilizados	57
3.2.3	Imágenes De Los Equipos Utilizados	58
3.2.4	Metodología para recopilación de información geodésica.	59
3.2.5	Análisis Del Procesamiento Y Ajuste De Red Generado Por El Software	68
3.3	Recopilación De Información Fotogramétrica	69
3.3.1	Planificación De Vuelos	69
3.3.2	Ejecución De Vuelos	73
3.3.3	Procesamiento Fotogramétrico	74
Capítulo 4	Desarrollo De Cálculos E Interpretación De Resultados	85
4.1	Determinación De RMSE	85
4.2	Desarrollo de la validación estadística	91
4.3	Análisis De Resultados	94
4.4	Discusión	106

Capítulo 5 Conclusiones y recomendaciones **111**

5.1 Conclusiones 111

5.2 Recomendaciones 111

Referencias **113**

Anexos **116**

Índice de tablas

Tabla. 1	<i>Área y porcentajes de terrenos categorizados por intervalos de pendientes dentro del distrito de Huaró.</i>	25
Tabla. 2	<i>Ubicación del punto geodésico CUS12124</i>	56
Tabla. 3	<i>Instrumento y equipos utilizados</i>	57
Tabla. 4	<i>Periodo y duración de registro de data satelital</i>	61
Tabla. 5	<i>Coordenadas geográficas y UTM WGS84 del punto CS01</i>	64
Tabla. 6	<i>Coordenadas geográficas y UTM WGS84 del punto CUS12124</i>	64
Tabla. 7	<i>Coordenadas finales de los puntos de control y verificación</i>	68
Tabla. 8	<i>Especificaciones del RPAS Mavic 2 pro</i>	70
Tabla. 9	<i>Parámetros de vuelo para las misiones tipo AGL. El traslape utilizado tanto en overlap como en frontlap es de 75 %</i>	72
Tabla. 10	<i>Parámetros de vuelo para las misiones tipo AMSL. El traslape utilizado tanto en overlap como en frontlap es de 75 %</i>	72
Tabla. 11	<i>Cantidad de PCT usados en cada escenario.</i>	75
Tabla. 12	<i>PCT y PVT utilizados en los diferentes escenarios</i>	76
Tabla. 13	<i>Valor calculado y valor real de los 15 puntos en el tipo de vuelo AGL 60 (escenario 1)</i>	88
Tabla. 14	<i>RMSE (m) en los ejes X, Y, Z, H (XY) y T (XYZ) para cada escenario en los PVT</i>	89
Tabla. 15	<i>RMSE (m) en los ejes X, Y, Z, H (XY) y T (XYZ) para cada escenario en los PCT</i>	90
Tabla. 16	<i>Relación RMSE/GSD para cada escenario en PVT</i>	91
Tabla. 17	<i>cálculo del coeficiente de correlación “r” para todos los RMSE</i>	93
Tabla. 18	<i>Resultados valores críticos para pruebas de hipótesis</i>	93
Tabla. 19	<i>Conclusion de prueba de Hipótesis</i>	93
Tabla. 20	<i>Incidencia de la cantidad de fotografías donde aparecen PVT en la relación RMSE/GSD</i>	103
Tabla. 21	<i>GSD y RMSE permisible</i>	109
Tabla. 22	<i>Verificación de la exactitud según normativa</i>	110

Índice de figuras

Figura. 1	<i>Vuelo en un solo plano horizontal (altitud constante o AMSL constante).</i>	16
Figura. 2	<i>Variación de GSD en ortomosaico resultado de un plan de vuelo AMSL constante.</i>	17
Figura. 3	<i>Planificación de vuelo manteniendo altura constante sobre el terreno (AGL).</i> . .	17
Figura. 4	<i>Ortomosaico de alta resolución con GSD constante.</i>	18
Figura. 5	<i>Operacionalización de variables</i>	22
Figura. 6	<i>Mapa de pendientes del distrito de Huaru.</i>	24
Figura. 7	<i>Zona de estudio. Distrito Huaru, provincia de Quispicanchi.</i>	26
Figura. 8	<i>Vuelo de altitud constante (AMSL).</i>	32
Figura. 9	<i>Vuelo de altura constante (AGL).</i>	32
Figura. 10	<i>Distancia de muestreo del suelo (GSD)</i>	33
Figura. 11	<i>Ortomosaico con GSD de 5 cm - más detallado.</i>	34
Figura. 12	<i>Ortomosaico con un GSD de 30 cm - menos detallado.</i>	34
Figura. 13	<i>Orientación interna con cámaras digitales.</i>	35
Figura. 14	<i>Orientación relativa</i>	36
Figura. 15	<i>Condición de coplaneidad</i>	36
Figura. 16	<i>Orientación absoluta</i>	37
Figura. 17	<i>RMSE/GSD en relación al número de puntos de control por cada 100 fotos</i> . . .	39
Figura. 18	<i>Proceso de Structure from Motion.</i>	40
Figura. 19	<i>Ejemplo de nube de puntos densa</i>	41
Figura. 20	<i>Ejemplo de un DEM, la escala de color representa la elevación</i>	42
Figura. 21	<i>Ejemplo de un ortomosaico</i>	43
Figura. 22	<i>Variación de la ondulación geoidal en Sudamérica</i>	46
Figura. 23	<i>Parámetros del elipsoide</i>	47
Figura. 24	<i>Variación de la ondulación geoidal en Sudamérica</i>	48
Figura. 25	<i>Infraestructura de datos geospaciales fundamentales de Perú</i>	50
Figura. 26	<i>Proyección Universal Transversal de Mercator</i>	51
Figura. 27	<i>Esquema de línea base para el método estático relativo</i>	53
Figura. 28	<i>Esquema del flujo de trabajo para la recopilación de datos</i>	55

Figura. 29	<i>Red vial nacional y red vial vecinal usadas para llegar a la ubicación de los puntos</i>	56
Figura. 30	<i>Características del receptor y antena GNSS</i>	58
Figura. 31	<i>Vista frontal y posterior del receptor GNSS</i>	59
Figura. 32	<i>Solicitud de código para grabado en la placa de bronce</i>	62
Figura. 33	<i>Proceso de monumentación del punto base</i>	63
Figura. 34	<i>Proceso de monumentación de los 14 puntos restantes.</i>	63
Figura. 35	<i>Línea base CS01-CUS12124</i>	66
Figura. 36	<i>Líneas base a partir del punto CUS12124</i>	66
Figura. 37	<i>Software de procesamiento de línea base</i>	67
Figura. 38	<i>RPAS (drone) modelo DJI Mavic 2 Pro</i>	69
Figura. 39	<i>Planificación de vuelos tipo AGL en la interfaz del software UgCS.</i>	71
Figura. 40	<i>Planificación de vuelos tipo AMSL en la interfaz del software UgCS.</i>	71
Figura. 41	<i>Dianas colocadas en los puntos de georreferenciación para la ejecución de vuelos.</i>	73
Figura. 42	<i>Ejecución de vuelo usando UgCS.</i>	74
Figura. 43	<i>Interfaz principal de Pix4D</i>	77
Figura. 44	<i>Configuración para procesamiento inicial en Pix4D.</i>	78
Figura. 45	<i>Reporte de calidad de Pix4D.</i>	78
Figura. 46	<i>Orientación interna y orientación relativa</i>	79
Figura. 47	<i>Orientación relativa</i>	79
Figura. 48	<i>Orientación absoluta</i>	80
Figura. 49	<i>Vista de mapa, se muestra la ubicación de las cámaras y los PCT.</i>	81
Figura. 50	<i>Configuración para creación de nube de puntos en Pix4D.</i>	82
Figura. 51	<i>Nube de puntos densa del modelo.</i>	82
Figura. 52	<i>Configuración para creación DEM y ortomosaico en Pix4D.</i>	83
Figura. 53	<i>Modelo digital de elevación de la zona de estudio para el escenario 8, generado en Pix4D.</i>	84
Figura. 54	<i>Ortomosaico de la zona de estudio para el escenario 8, generado en Pix4D.</i>	84
Figura. 55	<i>Ubicación del punto P-2 sobre la diana del Ortomosaico AGL 60</i>	85
Figura. 56	<i>Determinación del valor de elevación para cada PCT y PVT</i>	86

Figura. 57	<i>Determinación de las coordenadas horizontales en el software QGIS 3.18</i>	87
Figura. 58	<i>RMSE en el eje X para los escenarios AGL y AMSL en los PVT</i>	95
Figura. 59	<i>RMSE en el eje Y para los escenarios AGL y AMSL en los PVT</i>	95
Figura. 60	<i>RMSE en el eje Z para los escenarios AGL y AMSL en los PVT</i>	96
Figura. 61	<i>RMSE en el eje horizontal H (XY) para los escenarios AGL y AMSL en los PVT</i>	96
Figura. 62	<i>RMSE total T (XYZ) para los escenarios AGL y AMSL en los PVT</i>	97
Figura. 63	<i>RMSE en el eje X para los escenarios AGL y AMSL en los PCT</i>	97
Figura. 64	<i>RMSE en el eje Y para los escenarios AGL y AMSL en los PCT</i>	98
Figura. 65	<i>RMSE en el eje Z para los escenarios AGL y AMSL en los PCT</i>	98
Figura. 66	<i>RMSE en el eje horizontal H (XY) para los escenarios AGL y AMSL en los PCT</i>	99
Figura. 67	<i>RMSE total T (XYZ) para los escenarios AGL y AMSL en los PCT</i>	99
Figura. 68	<i>Relación RMSE H y el GSD en cada escenario</i>	101
Figura. 69	<i>Relación RMSE Z y el GSD en cada escenario</i>	101
Figura. 70	<i>Relación RMSE T y el GSD en cada escenario</i>	102
Figura. 71	<i>Resolución de los puntos de apoyo en el escenario 01 AGL 60m</i>	104
Figura. 72	<i>Resolución de los puntos de apoyo en el escenario 08 AMSL 60m</i>	104
Figura. 73	<i>Correlacion entre la altura de vuelo (H) y el RMSE</i>	105
Figura. 74	<i>GSD promedio de cada escenario</i>	106

Simbolos y términos abreviados

AGL: Above Ground Level (sobre el nivel del suelo).

AMSL: Above Mean Sea Level (sobre el nivel medio del mar)

BIM: Building Information Modeling (modelado de información de construcción)

DEM: Modelo digital de elevación.

ERP: Estación de rastreo permanente.

GNSS: Sistema Mundial de Navegación Por Satélite.

GSD: Ground Sampling Distance (Distancia De Muestreo Del Suelo)

IGN: Instituto Geográfico Nacional.

MDT: Modelo Digital del Terreno.

NSSDA: National Standard for Spatial Data Accuracy.

NTC: Norma técnica peruana.

PCT: Punto de control terrestre.

PVT: Punto de verificación terrestre.

REGPMOC: Red Geodésica Peruana de Monitoreo Continuo.

RMSE: Root Mean Square Error (Error medio cuadrático)

RPA: Remotely Piloted Aircraft (aeronaves pilotadas a distancia)

RPAS: Remotely Piloted Aircraft System (sistema de aeronaves pilotadas a distancia)

RTK: Real Time Kinematic.

SFM: structure from motion.

SRTM: Misión Topográfica Shuttle Radar.

TIN: Red Irregular Triangular.

UAV: Unmanned Aerial Vehicle (vehículo aéreo no tripulado)

USGS: U.S. Geological Survey. (Servicio Geológico de Estados Unidos)

UTM: Universal transversal de Mercator.

VIM: Vocabulario internacional de metrología.

Resumen

Durante los últimos años se viene impulsando en el Perú la adopción de metodologías de modelos de información que faciliten la gestión de proyectos de ingeniería, arquitectura y construcción. Es así que la captura de realidad a través de modelos generados por fotogrametría con RPAS son cada vez más requeridos en nuestra región, sin embargo la bibliografía y normatividad en nuestro país es aún escasa y dispersa por lo que se desconoce los alcances técnicos de esta tecnología y aún más en zonas con topografía accidentada como en la sierra del Perú, es así el objetivo principal de esta investigación fue determinar la exactitud de levantamientos fotogramétricos con RPAS en terrenos empinados.

La metodología utilizada fue determinar el error medio cuadrático (RMSE) de los modelos digitales de terreno y ortomosaicos de 14 escenarios, siete con altura constante sobre el terreno (AGL) y siete con altitud constante (AMSL) para elevaciones de 60, 80, 100, 120, 140, 160 y 180m en cada caso. Para esto se utilizaron 15 puntos de apoyo de características de orden “C” medidos con receptores GNSS, coordenadas que se tomaron como valores verdaderos y se distribuyeron en cada escenario como puntos de control terrestre (PCT) y puntos de verificación terrestre (PVT) para finalmente compararlos con las coordenadas generadas en los productos fotogramétricos. La población de estudio estuvo conformada por terrenos empinados del distrito de Huaró del cual se tomó una muestra de 15 hectáreas, con vegetación escasa y pendiente mayor a 25 %.

Los resultados muestran RMSE totales menores a 3.31 veces GSD en todos los escenarios, siendo 1.376 y 3.038 veces GSD los RMSE máximos en planimetría y altimetría respectivamente. De estos resultados se concluye que se puede alcanzar RMSE menores a 3.31 veces GSD en levantamiento fotogramétricos en terrenos empinados.

Palabras clave: Exactitud, terrenos empinados, fotogrametría, RMSE, AGL, AMSL

Abstract

In recent years, the adoption of information model methodologies that facilitate the management of engineering, architecture and construction projects has been promoted in Peru. Thus, the capture of reality through models generated by photogrammetry with RPAS are increasingly required in our country, however the bibliography and regulations are still scarce and dispersed, so the technical scope of this technology is unknown. and even more so in areas with rugged topography such as in the mountains of Perú, so the main objective of this research was to determine the accuracy of photogrammetric surveys with RPAS on steep terrain.

The methodology used was to determine the root mean square error (RMSE) of the digital terrain and orthomosaic models of 14 photogrammetric surveys, seven with above ground level constant (AGL) and seven with about mean sea level constant (AMSL) for elevations of 60, 80, 100 , 120, 140, 160 and 180m in each case. For this, 15 support points of C order features measured with GNSS receivers were used, coordinates that were taken as true values and distributed in each scenario as ground control points (GCP) and ground verification points (PVT). to finally compare them with the coordinates generated in the photogrammetric products. The study population was made up of steep terrain in the Huaro district, from which a sample of 15 hectares was taken, with scarce vegetation and a slope greater than 25 %.

The results show total RMSE less than 3.31 times GSD in all scenarios, with 1,376 and 3,038 times GSD being the maximum RMSE in planimetry and altimetry, respectively. From these results it is concluded that RMSE less than 3.31 times GSD can be achieved in photogrammetric surveys on steep terrain.

Keywords: Accuracy, steep terrain, photogrammetry, RMSE, AGL, AMSL

Introducción

La presente investigación está conformada por cinco (05) capítulos descritos a continuación:

En el primer capítulo se describen los aspectos generales donde se aborda la situación problemática actual referente a captura de realidad a través de levantamientos fotogramétricos en terrenos empinados, así mismo se plantean los objetivos y las hipótesis que derivan del planteamiento del problema, así como la justificación y metodología en la cual se enmarca el desarrollo de la tesis.

En el segundo capítulo se aborda un marco conceptual que consiste en una investigación bibliográfica sobre las exactitudes de levantamiento fotogramétricos con RPAS en estudios anteriores y la relación que existe entre estas con los puntos de control, el tipo de líneas de vuelo y las altura de vuelo descritas en artículos científicos y tesis semejantes, vemos como a nivel nacional la bibliografía es aun escasa sin embargo a nivel internacional existen antecedentes que nos dejan buena referencia para validaciones posteriores. Seguidamente se describen conceptos relacionados a las áreas de fotogrametría y geodesia cuyos conceptos son utilizados para la recolección de información y el posterior análisis y discusión.

El tercer capítulo describe los procedimientos que se utilizaron la para recopilación de información geodésica la cual tiene como propósito determinar las coordenadas de puntos de apoyo cuyas precisiones corresponden a puntos de orden "C" según la normatividad establecida por el Instituto Geográfico Nacional del Perú y sirvieron como control y verificación terrestres. Por otro lado, se describe los procesos fotogramétricos que fueron empleados para obtener los modelos digitales de terreno y ortomosaicos de 14 escenarios desde la planificación y ejecución de vuelos hasta los procesos digitales en gabinete.

En el capítulo cuatro (04) se describen los cálculos para determinar los RMSE de los 14 escenarios de levantamiento fotogramétrico sobre la base de los puntos de apoyo y generación de modelos obtenidos en el capítulo anterior, así mismo se realiza un análisis y discusión de resultados en relación al tipo de punto de apoyo, el eje coordenado, el tipo de planificación, la altura de vuelo y la normatividad vigente.

Finalmente, en el capítulo cinco (05) informamos sobre las conclusiones finales y compartimos algunas recomendaciones para posteriores investigaciones.

Capítulo 1. Aspectos Generales

1.1. Situación Problemática

Durante los últimos años, gracias al continuo desarrollo tecnológico, el sector de los drones o RPAs ha experimentado una extraordinaria evolución en el ámbito civil, siendo en la actualidad capaces de generar modelos 3D de edificaciones, obras de infraestructura y terrenos, compatibles con las herramientas más avanzadas de control y seguimiento de ejecución de obras e instalaciones, como las que siguen el estándar BIM (Building Information Modeling). El potencial del empleo de dichas aeronaves para estos fines cobrará un papel más relevante durante los próximos años (Ministerio de fomento del gobierno de España, 2018).

Sin embargo, la exactitud de tales representaciones rara vez se evalúa completamente, pese a la gran cantidad de aplicaciones utilizando RPAs, la información bibliográfica es aún escasa y dispersa; además, los trabajos no siempre reportan la exactitud obtenida respecto a métodos convencionales. Los productos topográficos derivados de información capturada mediante RPA requieren validación y calibración local bajo condiciones de campo para ser considerados de alta exactitud. (Sanz-Ablanedo, Chandler, Rodríguez-Pérez, y Ordóñez, 2018)

Uno de los procedimientos más importantes es la planificación del vuelo, es decir, el diseño de una secuencia de líneas de vuelo que cubrirá el área de interés, seleccionar la altura de vuelo, especificar la velocidad de vuelo, asignar el traslape frontal y lateral y finalmente realizar la configuración de los parámetros de la cámara, particularmente la dimensión del sensor, la resolución de píxeles y la distancia focal. (Eisenbeiß, 2009)

Todos estos factores afectan la distancia de muestreo en tierra o ground sampling distance (GSD), el cual influye en la exactitud de los productos fotogramétricos ya que la exactitud normalmente se asocia a la resolución final del ortomosaico (Manconi, Ziegler, Blöchliger, y Wolter, 2019). En general, los planes de vuelo para los RPAs se discretizan utilizando una secuencia de puntos de referencia con la misma altura sobre la posición de despegue, es decir, las líneas

de vuelo se encuentran en un solo plano horizontal a una altitud constante sobre el nivel del mar que en términos aeronáuticos según la Dirección General de Aeronáutica Civil del Perú (DGAC) constituyen vuelos AMSL o above mean sea level constante, (ver figura 1)

Figura 1:

Vuelo en un solo plano horizontal (altitud constante o AMSL constante).



Estas condiciones son adecuadas para áreas relativamente planas, y/o cuando la distancia AGL es lo suficientemente alta como para considerar cambios en GSD y distorsiones topográficas insignificantes (Manconi et al., 2019)

Sin embargo, estas condiciones no son propias del tipo de terreno presente en regiones montañosas como los presentes en la región del Cusco donde prevalecen los terrenos con pendientes muy fuertes que oscilan entre los 25° y 45° y ocupan un 28.46% del área total de la región (Vílchez Mata, Sosa Senticala, Pari Pinto, y Peña Laureano, 2020). Al realizar levantamientos fotogramétricos bajo esta configuración se produce un rango de GSD debido a la diferencia de alturas sobre el terreno, así como traslapes entre fotografías que no cumplen las configuraciones programadas, generando productos de baja calidad. (ver figura 2)

Figura 2:

Variación de GSD en ortomosaico resultado de un plan de vuelo AMSL constante.



Nota: Fragmento de ortomosaico con resolución variable.

Por lo tanto, para este tipo de terreno se requiere una planificación de vuelo específica a fin de reducir la influencia de las diferentes distancias AGL y las distorsiones y/o imprecisiones posteriores en los resultados finales. En los últimos tiempos, varios autores han abordado el problema de la planificación del vuelo preservando el GSD de los productos finales y/o para lograr planes de vuelo 3D precisos en contextos específicos (Chiabrando, Lingua, Maschio, y Losè, 2017; Eisenbeiß, 2009) Además, las soluciones de software están cada vez más disponibles para implementar las llamadas rutas de vuelo de "seguimiento del terreno". (Ver figura 3 y 4)

Figura 3:

Planificación de vuelo manteniendo altura constante sobre el terreno (AGL).

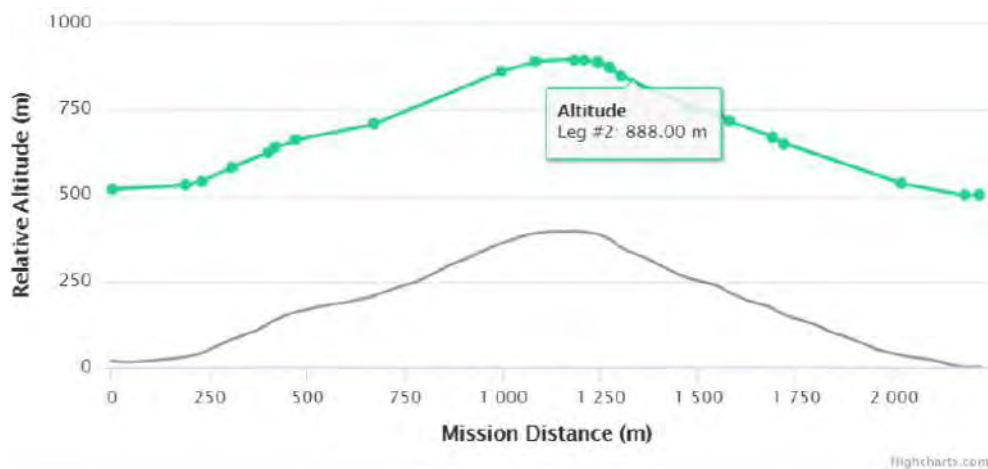


Figura 4:
Ortomosaico de alta resolución con GSD constante.



Nota: Se muestra un fragmento de ortomosaico preservando su resolución el cual se obtuvo con una planificación tipo AGL.

Actualmente, existen algunas software comerciales como UgCS, Drone Harmony, Map pilot, Dronedeploy, que sus versiones avanzadas ofrecen la función de incluir un DEM externo o descargar datos de elevación del proyecto SRTM para incorporarlos en la planificación de vuelo. En este trabajo de investigación se pretende determinar el RMSE de levantamiento fotogramétrico en terrenos empinados considerando específicamente el tipo de plan de vuelo y la correlación que tiene el GSD con las exactitudes del trabajo. El enfoque de esta investigación va destinado a aplicaciones específicas en terrenos empinados de la región Cusco.

El término exactitud es un valor cualitativo que nos indica la cercanía de la medida al valor verdadero. En este caso El IGN (Instituto Geográfico Nacional) en el documento “Especificaciones Técnicas Para Generación de Ortoimágenes” adopta el término “Exactitud Posicional” para la estandarizar la calidad del producto fotogramétrico. Y utiliza el valor numérico del RMSE como valor de comparación de diferentes productos. Además, La Sociedad Americana de Fotogrametría y Percepción Remota (ASPRS – American Society for Photogrammetry and Remote Sensing) elaboró los estándares de exactitud posicional para datos geospaciales digitales, a fin de garantizar la confiabilidad y posibilitar la evaluación de la exactitud de los resultados obtenidos mediante el uso de las nuevas tecnologías digitales.

1.2. Formulación Del Problema

1.2.1. *Problema General*

P.G: ¿Cuánto es la exactitud de levantamientos fotogramétricos con RPAS en terrenos empinados del sector Huaro, región Cusco 2021?

1.2.2. *Problemas Específicos*

P.E.01: ¿Cuál es la exactitud de levantamientos fotogramétricos con RPAS planificando con AGL constante en terrenos empinados del sector Huaro, región Cusco 2021?

P.E.02: ¿Cuál es la exactitud de levantamientos fotogramétricos con RPAS planificando con AMSL constante en terrenos empinados del sector Huaro, región Cusco 2021?

P.E.03: ¿Cómo se relaciona la exactitud con la altura de vuelo en levantamientos fotogramétricos con RPAS en terrenos empinados del sector Huaro, región Cusco 2021?

1.3. Objetivos De La Investigación

1.3.1. *Objetivo General*

O.G: Determinar la exactitud de levantamientos fotogramétricos con RPAS en terrenos empinados del sector Huaro, región Cusco 2021.

1.3.2. *Objetivos Específicos*

O.E. 01: Cuantificar el RMSE en levantamientos fotogramétricos con RPAS planificando con AGL constante en terrenos empinados del sector Huaro, región Cusco 2021.

O.E. 02: Cuantificar el RMSE en levantamientos fotogramétricos con RPAS planificando con AMSL constante en terrenos empinados del sector Huaro, región Cusco 2021.

O.E. 03: Establecer la relación entre la exactitud y la altura de vuelo de levantamientos fotogramétricos con RPAS en terrenos empinados del sector Huaro, región Cusco 2021.

1.4. Hipótesis Y Variables

1.4.1. *Hipótesis general*

H.G: La exactitud de levantamientos fotogramétricos con RPAS en terrenos empinados del sector Huaro es menor que tres (03) veces el GSD, región Cusco 2021.

1.4.2. *Hipótesis Específicas*

H.E. 01: La planificación de vuelos con AGL constante produce RMSE menores que tres (03) veces el GSD en levantamientos fotogramétricos con RPAS en terrenos empinados del sector Huaro, región Cusco 2021.

H.E. 02: La planificación de vuelos con AMSL constante produce RMSE menores que tres (03) veces el GSD en levantamientos fotogramétricos con RPAS en terrenos empinados del sector Huaro, región Cusco 2021.

H.E. 03: Existe una correlación lineal entre el error medio cuadrático y la altura de vuelo en levantamientos fotogramétricos con RPAS en terrenos empinados del sector Huaro, región Cusco 2021.

1.5. Justificación De La Investigación

Este estudio se realiza con la finalidad de determinar el RMSE en levantamientos fotogramétricos con RPAS en terrenos empinados aplicando planificación AGL y AMSL constantes, con el fin de determinar los RMSE en cada caso y cual seria el mejor para este tipo de terrenos.

Metodológicamente se justifica porque se basa en métodos analíticos y estadísticos, por lo que permite establecer el tipo de investigación de tipo aplicada, con un diseño experimental, enmarcado en un nivel de estudio descriptivo-correlacional.

Teóricamente se justifica porque se sustenta en bibliografía científica como, libros, tesis y otros estudios e informes relacionados al planteamiento del problema, además el levantamiento fotogramétrico con RPAS, permite hacer uso de la tecnología aplicada al área de la fotogrametría, topografía, gestión de riesgos, entre otros.

Socialmente se justifica porque la investigación servirá de ayuda a profesionales técnicos, ingenieros y topógrafos para mejorar el proceso de recopilación de datos con RPAS en terrenos empinados considerando el tipo de vuelo más adecuado para la exactitud que se quiera alcanzar y si satisfacen o no las especificaciones técnica para un determinado proyecto.

Económicamente se justifica porque la investigación servirá para dar a conocer las exactitudes alcanzadas en levantamientos fotogramétricos por medio de RPAS en terrenos empinados, siendo este un criterio que puede ser tomado en cuenta para optar esta tecnología en trabajos cuyas exactitudes estén dentro de los alcances de esta metodología, maximizando así el costo beneficio a la hora de la recopilación de datos en un determinado proyecto.

Por lo tanto se necesita total veracidad de la información recolectada en campo para realizar el correcto análisis y emitir las conclusiones y recomendaciones necesarias para alcanzar los objetivos de este proyecto de investigación y que resulte de vital importancia para la sociedad y entidades que requieran de levantamientos fotogramétricos con RPAS en terrenos empinados.

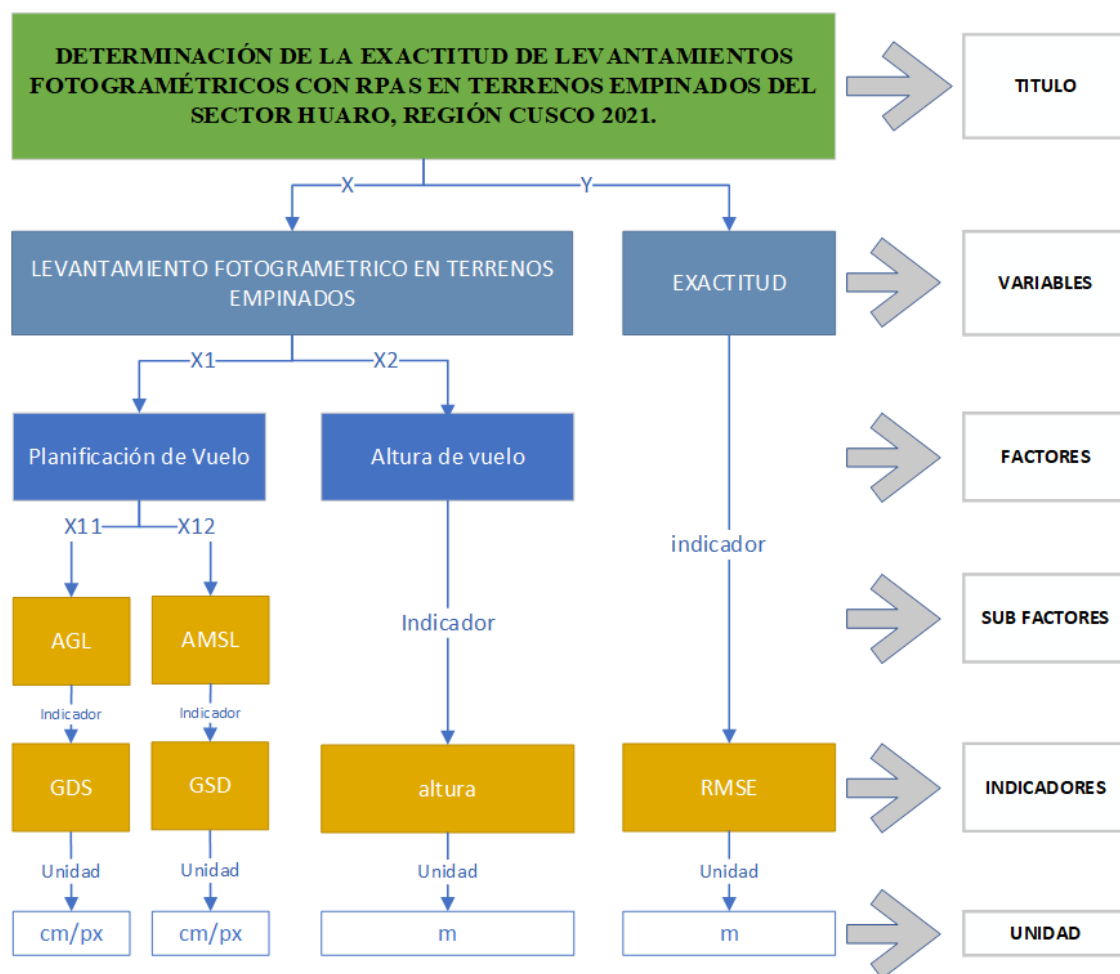
1.6. Importancia Del Trabajo De Investigación

Desarrollar esta investigación es importante porque permitirá tener una referencia real sobre la precisión y exactitud que se puede alcanzar al realizar un levantamiento fotogramétrico con RPAs en terrenos empinado de la región del Cusco, esto permitirá validar el uso de esta tecnología para la elaboración de proyectos de infraestructura considerando sus limitaciones en cuanto a precisión y exactitud.

1.7. Operacionalización De Variables

Las variable dependiente (Y), las variables independiente (X), los factores, sub factores, indicadores y unidades se presentan en la figura 5.

Figura 5:
Operacionalización de variables



Nota: Puede consultar el tabla de símbolos y términos abreviados

1.8. Limitaciones De La Investigación

- Con el fin de reducir la influencia de la vegetación en los resultados finales, esta investigación se limita a la muestra en estudio, que corresponde a un área de 15 hectáreas de baja o nula vegetación y pendientes pronunciadas mayores a 25 % correspondientes a una zona de puna por encima de los 4200 msnm en la comunidad campesina de Arawara del distrito de Huaro de la región Cusco.
- Los resultado de exactitud de la presente investigación están limitados por las condiciones climáticas agrestes y aleatorias propias de este tipo de relieve, puesto que son factores externos que se constituyen en una limitante para garantizar la calidad de todas las imágenes.

1.9. Tipo De Investigación

Por la finalidad, el tipo de investigación es aplicada, ya que sus aportes están orientados a comprender los alcances y limitaciones de precisión y exactitud al realizar levantamientos fotogramétricos en terrenos empinados característicos de la región del Cusco. Así mismo evaluar una posible solución para obtener mejores resultados aplicando planes de vuelos con AGL constante.

Según el énfasis de los datos manejados, el tipo de investigación es cuantitativa, ya que todas las variables en análisis serán cuantificadas para correlacionar su incidencia en el RMSE.

1.10. Nivel De Investigación

Este trabajo corresponde al nivel DESCRIPTIVO-CORRELACIONAL, ya que la investigación busca medir el RMSE de levantamientos fotogramétricos describiendo qué aspectos afectan a esta variable así como el grado de correlación que tiene con el GSD, el tipo de plan de vuelo y la altura de vuelo.

1.11. Diseño De La Investigación

El diseño de la investigación es experimental, debido a que se observará el comportamiento del RMSE al modificar los tipos de vuelo AGL y AMLS para distintas alturas.

Según su prolongación en el tiempo, la investigación es de tipo transversal, porque la captura de los datos se realizará de forma puntual a través de toma de fotografías aéreas y no se considerará la variable del tiempo para ningún análisis.

1.12. Unidad De Análisis

La unidad de análisis esta al oeste del distrito de Huaró, provincia de Quispicanchi, departamento de Cusco. Se encuentra en el límite provincial con Acomayo a una altitud de 3800 m.s.n.m. Se escogió esta zona considerando una orografía accidentada, con pendientes mayores al 25%; además, se tomó en cuenta la escasez de vegetación para evitar la inclusión de más variables dentro del análisis.

1.13. Población De Estudio

La población de estudio esta conformada por todos los terrenos empinados que se encuentran dentro del Distrito de Huaro, provincia de Quispicanchi, Departamento de Cusco. Como se muestra en la figura 6, se observa la distribución de pendientes desde llano a muy escarpado, esta clasificación se realizó según criterio de clasificación del Instituto geológico, minero y metalúrgico del Perú.

Se considera como terreno empinado las pendientes muy fuertes y muy escarpadas (mayores a 25 ° de pendiente). haciendo un total de 2779.74 hectáreas en todo el distrito de Huaro. Además en la tabla 1 se puede observar los porcentajes del área total para cada uno de los tipos de terreno. Donde se puede observar que para terrenos con pendientes mayores a 25° el área cubierta es 26.15 % del área total, siendo aproximadamente la cuarta parte del área total.

Figura 6:
Mapa de pendientes del distrito de Huaro.

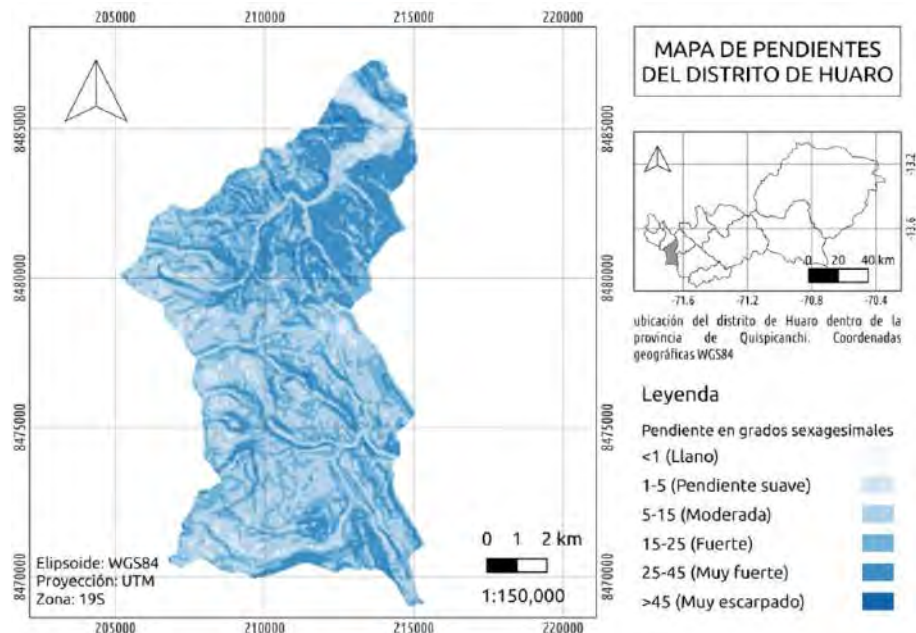


Tabla 1:

Área y porcentajes de terrenos categorizados por intervalos de pendientes dentro del distrito de Huaro.

Pendiente	Terreno	Área (ha)	Porcentaje de área (%)
<1	Llano	27.66	0.26
1-5	Pendiente suave	537.67	5.06
5-15	Moderada	3518.31	33.09
15-25	Fuerte	3769.37	35.45
25-45	Muy fuerte	2724.90	25.63
>45	Muy escarpado	54.84	0.52

1.14. Selección De Muestras

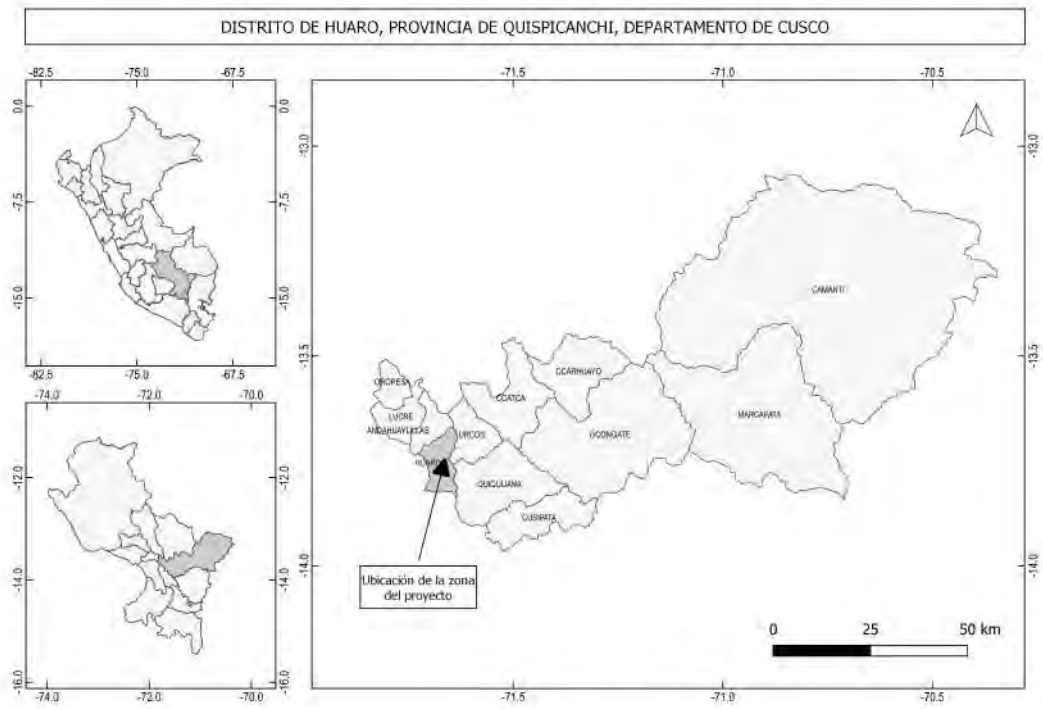
Dado que el análisis se centra en la determinación del RMSE en un determinado contexto, este requiere una cuidadosa y controlada elección de características específicas del terreno para evitar la influencia de variables ajenas a los objetivos de la investigación, la selección de muestra pertenece al tipo NO PROBABILÍSTICO, el muestreo se realizó a conveniencia de forma intencional.

1.15. Muestra

La muestra seleccionada corresponde a un área de 15 hectáreas que corresponde al área aproximada cubierta para un vuelo fotogramétrico con características estándar, con vegetación escasa y con pendientes mayores a 25°, la misma se visualiza en la figura 7.

Dentro de esta delimitación del terreno se realizó una serie de vuelos con diferentes características (tipo de vuelo y altura de vuelo) para que posteriormente se elabore el correspondiente procesamiento y análisis de la información.

Figura 7:
Zona de estudio. Distrito Huaro, provincia de Quispicanchi.



Capítulo 2. Marco Conceptual

2.1. Antecedentes De La Investigación

Sanz-Ablanedo et al., (2018) en el artículo titulado “Accuracy of unmanned aerial vehicle (UAV) and SfM photogrammetry survey as a function of the number and location of ground control points used”, tuvo como objetivo de determinar la relación que existe entre el número y la ubicación de los puntos de control terrestre (PCT) y el GSD con la exactitud de reconstrucciones fotogramétricas. La muestra estuvo conformada por 1200 ha de una zona minera de carbón en Santa Lucia, León - España. Se utilizaron más de 100 PCT y más de 2500 fotografías, luego se realizaron tres mil cuatrocientas sesenta y cinco combinaciones diferentes de puntos de control alternando entre los existentes como control y verificación. El análisis demuestra cuánto mejora la exactitud a medida que aumenta el número de puntos PCT, así como la importancia de una distribución uniforme, así mismo se ve cuánto se sobre-estima la exactitud cuando se cuantifica el RMSE solo utilizando puntos de control en lugar de puntos de verificación, y cómo el GSD de un proyecto se relaciona con la máxima exactitud que se puede lograr en un levantamiento fotogramétrico. Este artículo se relaciona a la presente investigación debido a que se hace uso de los PVT para determinar el RMSE.

Manconi et al.,(2019) en el artículo “Technical Note: Optimization of UAV flight planning in steep terrains”, tuvo como objetivo probar la incorporación de un DEM en la planificación de vuelos a fin de generar productos fotogramétricos de muy alta resolución en áreas caracterizadas por pendientes moderadas a pronunciadas que oscilan entre 30° y 60° en el lado este del lago Grimbél en Suiza. Para su desarrollo se utilizó un RPA hexacoptero XR6 Airbone Robotic equipado con una cámara digital Sony Alpha 6000 (24 megapíxeles, tamaño del sensor de imagen 15,6 mm x 23,5 mm, distancia focal 19 mm), para la planificación de misiones se utilizó el “Ardupilot” que es un software de código abierto, el cual permite insertar DEM externos para incluirlos en las líneas de vuelo. La muestra estuvo conformada por un terreno de 6 ha. Como resultado los productos fotogramétricos obtenidos realizados considerando un DEM externo con el planificador de vuelo de Ardupilot fueron de muy alta resolución en áreas

caracterizadas por pendientes moderadas a pronunciadas en comparación a planificadores de vuelo con AMSL constante tradicionales. Se hace referencia al presente artículo dado que se incorpora DEM externos para realizar la planificación de vuelos tipo AGL en esta investigación.

Jiménez et al.,(2017) en el artículo “Cuantificación del error de modelos digitales de terreno derivados de imágenes adquiridas con UAV” tuvo como objetivo estimar la precisión de los MDT generados a partir de imágenes de alta resolución adquiridas con un RPA mediante la geolocalización de 23 puntos terrestres (11 de control y 12 de verificación) obtenidos en campo con un GPS-RTK. Para la generación de cada MDT se realizó el procesamiento fotogramétrico con diferentes cantidades de puntos de control terrestres (PCT): 4, 5, 6, 8, 9, 10 y 11. La muestra estuvo conformada por un área de 37.4 ha de la comunidad de Tlaola, en el estado de Puebla, México. El MDT procesado con cuatro puntos tuvo un RMSE mayor a 3 m, y los de 9, 10 y 11 presentaron una RMSE menor a 7 cm. El MDT georreferenciado con 11 PC representó con mejor precisión la topografía del sitio. El mayor RMSE fue de 5.9 cm, la cual es menor a tres veces la resolución espacial del ortomosaico (2 cm.pixel-1). La investigación concluye que son indispensables al menos cinco PCT bien distribuidos a lo largo de la zona de estudio por cada 15 ha de superficie levantada; además, es necesario agregar un punto por cada 3 ha adicionales para obtener una precisión mínima de 6 cm en el eje Z y de 7 cm en el plano (X, Y, Z). Este artículo se relaciona al presente trabajo haciendo uso del criterio de área para la determinación de la cantidad de PCT a utilizarse en el procesamiento fotogramétrico

2.2. Fotogrametría

Existen diferentes definiciones de fotogrametría como:

La Sociedad Internacional de Fotogrametría y Teledetección (ISPRS), menciona que: “La fotogrametría es la ciencia y tecnología de extraer información geométrica y temática tridimensional fiable, frecuentemente con el paso del tiempo, 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.”

Por otro lado, (Claros, Guevara, y Pacas, 2016) define a la fotogrametría como una técnica de medición indirecta que permite obtener las propiedades geométricas de los objetos y las situaciones espaciales mediante el procesamiento de imágenes fotográficas. (pág. 40)

2.3. Clasificación De La Fotogrametría

(Hilario Tacca, 2015), clasifica a la fotogrametría en:

- a. La fotogrametría analógica, que aparece por los años 1930, esta basada en aparatos de restitución, con este tipo de fotogrametría se levanto la mayor parte de la cartografía mundial. Consiste en la colocacion de un par de fotografías en un restituidor óptico o mecánico. El operador realiza la orientación interna y externa de forma manual para crear el modelo estereoscópico, debidamente escalado y nivelado.
- b. La fotogrametría analítica, surgió por los años 1957 como un desarrollo natural de la interrelación entre los restituidores analógicos y los inicios de la computación. En ella, la obtención de información es analógica y el modelado geométrico es matemático.
- c. La fotogrametría digital, vigente actualmente, surgió gracias al gran desarrollo en la programación, que dio origen al procesamiento fotogramétrico mediante el uso de ordenadores. Con la fotogrametría digital crece la posibilidad de obtener toda la información contenida dentro una fotografía, a la vez que simplifica y automatiza los procedimientos, permitiendo con ello la generación mas rápida y eficiente de modelos de elevación del terreno, ortoimágenes y estereortoimágenes, generación y visualización de modelos tridimensionales etc.

Por otro lado (Claros et al., 2016) clasifica la fotogrametría en:

- a. Metrofotografía (1850 hasta 1900): Se inicia con la invención de la fotografía por Niepce y Daguerre en 1839 en Francia. El término Metrofotografía fue ideado por el coronel francés Laussedat (hacia 1851), a quien se lo considera el fundador de la Fotogrametría.

- b. Fotogrametría analógica (1900 a 1960): este ciclo inicia con la aparición de dos inventos muy importantes, primero la estereoscopia dando origen a la estereofotogrametría y segundo el invento de plataformas adecuadas para los sensores (cámaras) como los zeppelines y el aeroplano.
- c. Fotogrametría analítica (1960 hasta 1980): este ciclo inicio con la aparición de las computadoras.
- d. Fotogrametría digital (1980 hasta la actualidad): ciclo que inició con el lanzamiento del primer satélite artificial, el Sputnik de origen ruso lanzado el 4 de septiembre de 1957 y por el uso del satélite Landsat, de origen estadounidense, que actualmente está equipado con instrumentos de teledetección multiespectral (Landsat 8) y registra un total de 11 bandas espectrales.

2.4. Planificación De Vuelos

El objetivo principal de realizar una planificación de vuelo es cubrir estereoscópicamente el área de interés con el mínimo número de fotografías, esto quiere decir que debe existir superposición de fotografías adyacentes en toda la superficie. La planificación de las líneas servirá de apoyo al equipo que realizará el trabajo en campo puesto que permitirá optimizar el tiempo de recopilación de información, así como asegurar una calidad adecuada que se traducirán en productos fotogramétricos de precisos y exactos. (Centro de fotogrametría, cartografía y catastro, 2005).

Es indispensable que toda el área que se desee ser cartografiada esté dentro de la cobertura estereoscópica del vuelo.(Barragan, 2018).

2.4.1. *Parámetros De Planificación*

Según (Eisenbeiß, 2009) los principales parámetros a considerar en la planificación del vuelo con fines fotogramétricos son:

- I. Área de interés: Delimitado por el área de interés sobre la cual debe existir la condición de estereoscopia.
- II. Altura de vuelo AGL o AMSL: Se refiere a la elección de tipo de vuelo que permita

alcanzar la escala y GSD requerido, así obtener la información de mejor calidad posible.

- III. Velocidad de vuelo: Velocidad que permita reducir los errores productos del movimiento del RPA al momento de tomar las fotografías.
- IV. Traslape de fotografías: Definir el traslape frontal y lateral para garantizar que exista estereoscopia dentro del área de interes.
- V. Parámetros de la cámara digital: particularmente dimensión del sensor, píxel resolución y distancia focal.

2.4.2. *Tipos De Vuelo Según Su Elevación*

- I. Vuelos de altitud constante o AMSL

Es un acrónimo del inglés de Above Mean Sea Level, que en español quiere decir «sobre el nivel medio del mar». Es utilizado en aeronáutica para referirse a la altitud de la aeronave sobre el nivel medio del mar. (Dirección General de Aeronáutica Civil del Perú, 2018), la figura 8 muestra un ejemplo de una planificación tipo AMSL, donde se muestra en color verde la trayectoria del RPAS a una altitud constante

- II. Vuelos de altura constante o AGL

Es un acrónimo del inglés Above ground level, y se traduce como «sobre el nivel del suelo». Término que es usado en aeronáutica para referirse a la altura real de la aeronave sobre el nivel del terreno (Dirección General de Aeronáutica Civil del Perú, 2018), la figura 9 muestra un ejemplo de una planificación tipo AGL, donde se muestra en color verde la trayectoria del RPAS a una altura constante respecto al terreno.

Figura 8:
Vuelo de altitud constante (AMSL).

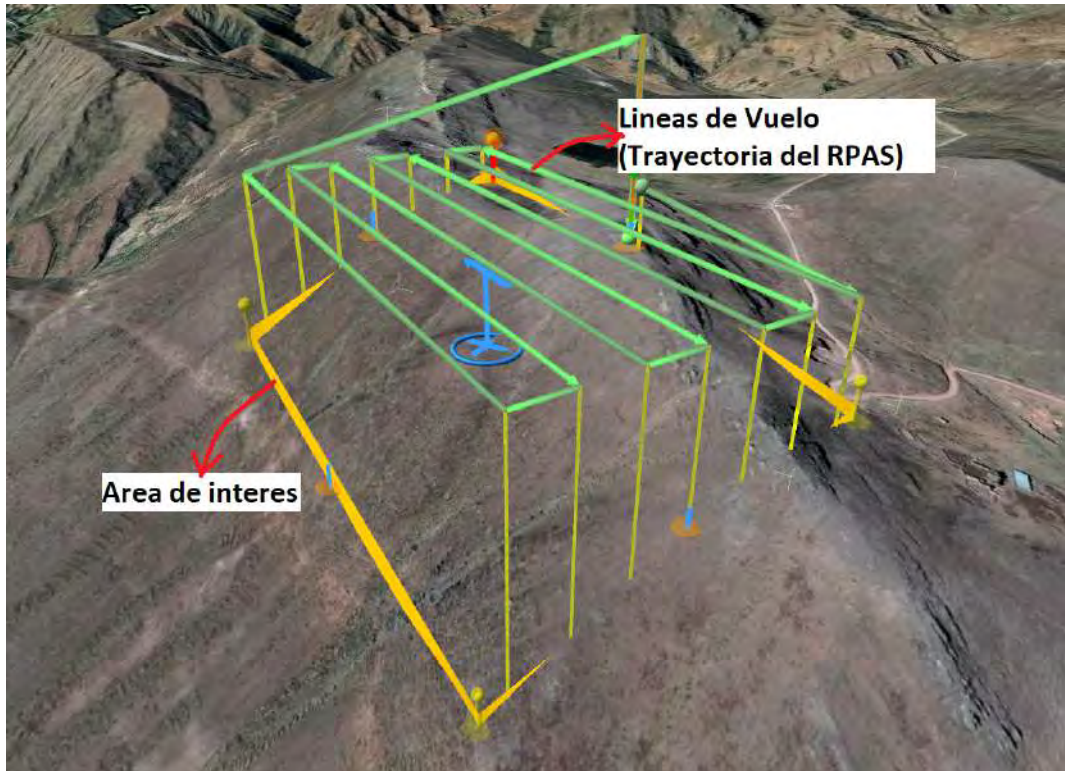
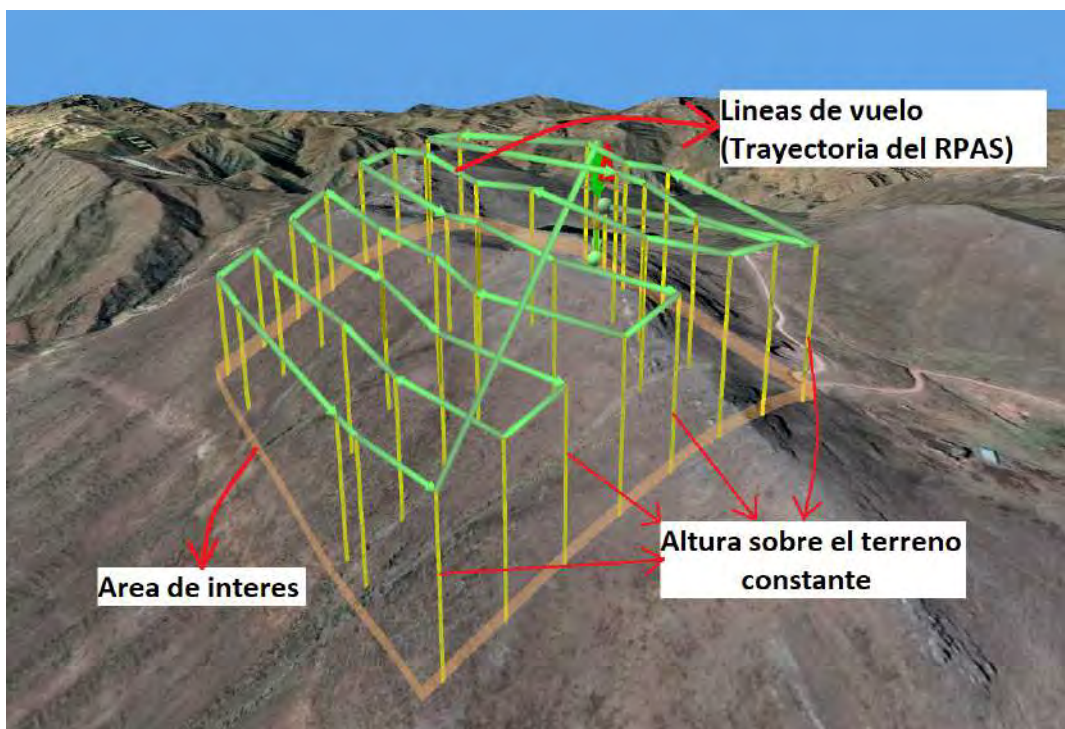


Figura 9:
Vuelo de altura constante (AGL).



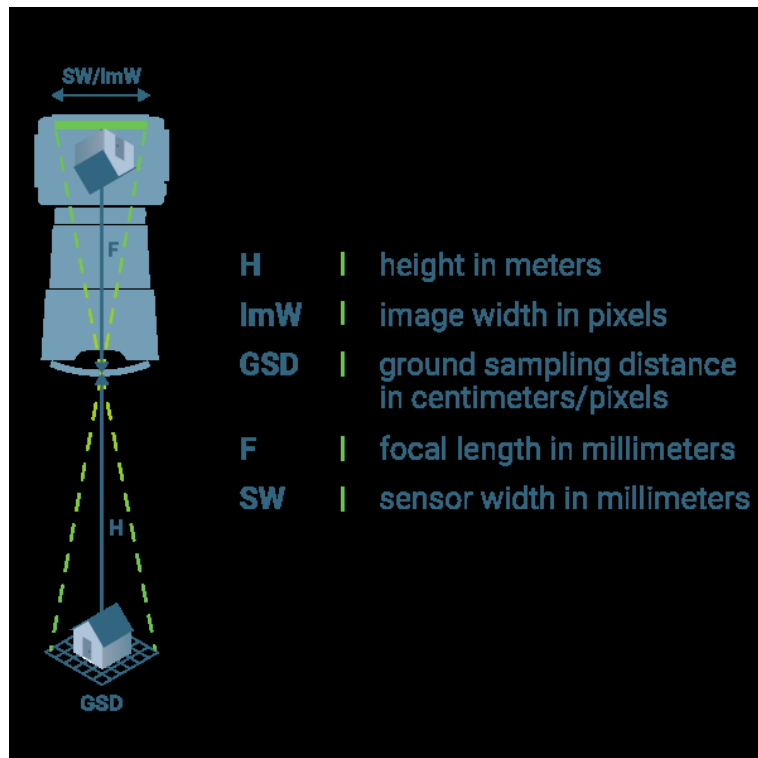
2.4.3. *Distancia De Muestreo Del Suelo (GSD)*

La distancia de muestreo del suelo o Ground Sampling Distance (GSD) es la distancia entre dos centros de píxeles consecutivos medidos en el suelo, ver figura 10. Cuanto mayor sea el valor de la imagen GSD, menor será la resolución espacial de la imagen y los detalles menos visibles (Pix4D, 2014).

El GSD se calcula en base a:

- I. La altura de vuelo (H).
- II. Ancho de la imagen (ImW).
- III. Ancho del sensor (SW).
- IV. Distancia focal (F).

Figura 10:
Distancia de muestreo del suelo (GSD)



Fuente: Pix4D (2014)

Es importante decidir el valor GSD antes de comenzar la adquisición de imágenes para ajustar la altura de vuelo y las especificaciones de la cámara a los requisitos del proyecto. Por ejemplo, cuando se necesita una reconstrucción detallada del área, se recomienda volar más cerca del objeto de interés, lo cual permite obtener un GSD menor como se muestra en la figura 11. Por otro lado, al cubrir grandes áreas que no necesitan resultados muy detallados o GSD altos, volar más alto puede reducir en gran medida el tiempo de adquisición y las baterías necesarias, así como reducir el tiempo de procesamiento, ver figura 12 (Pix4D, 2014).

Figura 11:
Ortomosaico con GSD de 5 cm - más detallado.



Fuente: Pix4D (2014)

Figura 12:
Ortomosaico con un GSD de 30 cm - menos detallado.



Fuente: Pix4D (2014)

2.5. Procesamiento Fotogramétrico

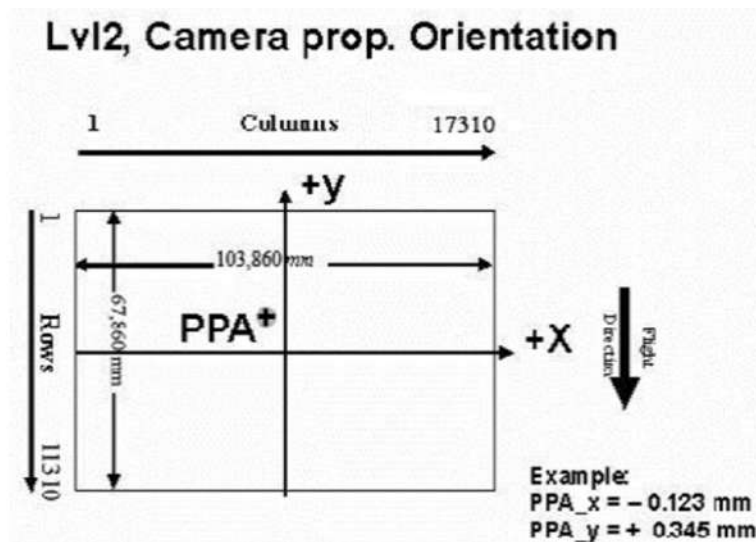
2.5.1. Orientación interna con cámaras digitales

Según (Quirós Rosado, 2014) la orientación interna de las imágenes adquiridas con cámara digital consiste únicamente en la determinación de la posición del punto principal de la foto, con respecto al centro de la imagen digital (fila, columna).

Estas imágenes carecen de marcas fiduciales, con lo que el proceso es completamente automático. Lo único que hay que determinar son los parámetros de calibración de la cámara (Figura 13).

Figura 13:

Orientación interna con cámaras digitales.

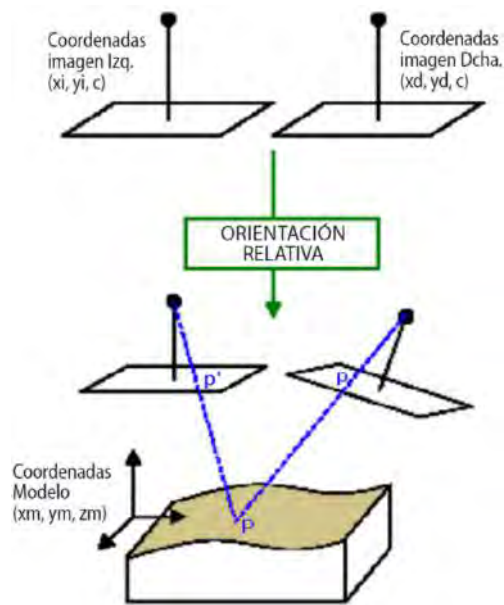


Fuente: Quirós (2014)

2.5.2. Orientación Relativa

Según (Quirós Rosado, 2014) la orientación relativa es la fase del proceso en la que se relacionan geoméricamente las imágenes estereoscópicas, formándose el modelo estereoscópico (figura 14). Esta fase consiste en identificar puntos homólogos en cada fotografía para posteriormente reconstruir los haces y generar el modelo.

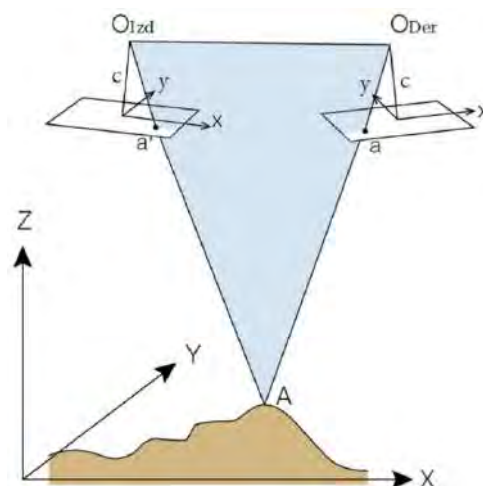
Figura 14:
Orientación relativa



Fuente: Quirós (2014)

La reconstrucción de los haces se realiza por la condición de coplaneidad, que obliga que se encuentren los dos centros de proyección, los puntos de imágenes homólogos y el punto terreno en un solo plano, ver figura 15.

Figura 15:
Condición de coplaneidad

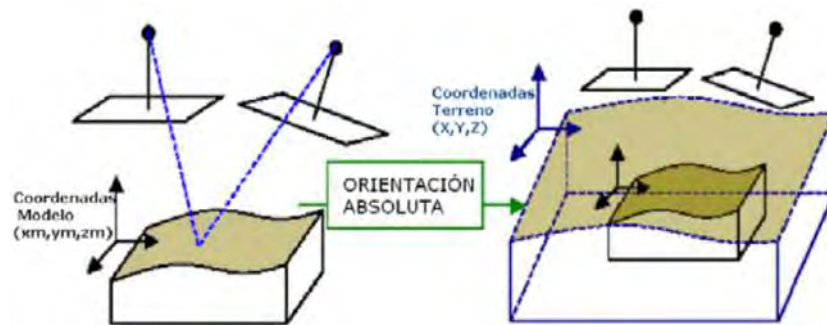


Fuente: Quirós (2014)

2.5.3. Orientación Absoluta

Según (Quirós Rosado, 2014) la orientación absoluta consiste en nivelar el modelo, escalar y trasladar a su verdadera posición en el espacio, tal y como se observa en la figura 16.

Figura 16:
Orientación absoluta



Fuente: Quirós (2014)

Para esto se deben conocer una serie de puntos $n \geq 3$, tanto en el sistema de coordenadas modelo como en el sistema de coordenadas terreno.

Cada punto generaría, por tanto, 3 ecuaciones y tenemos 7 incógnitas por resolver (Quirós Rosado, 2014) .

En la práctica se utilizan al menos 4 puntos de apoyo para una posible resolución del sistema mediante mínimos cuadrados y así tener un control de la exactitud de esta fase.(Quirós Rosado, 2014).

2.6. Puntos De Apoyo Terrestre

Los puntos de apoyo son puntos uniformemente distribuidos en el terreno y claramente identificados en la fotografía, de los que se conocen las coordenadas (Quispe Flores, 2017; Sanz-Ablanedo et al., 2018; Jiménez et al., 2017).

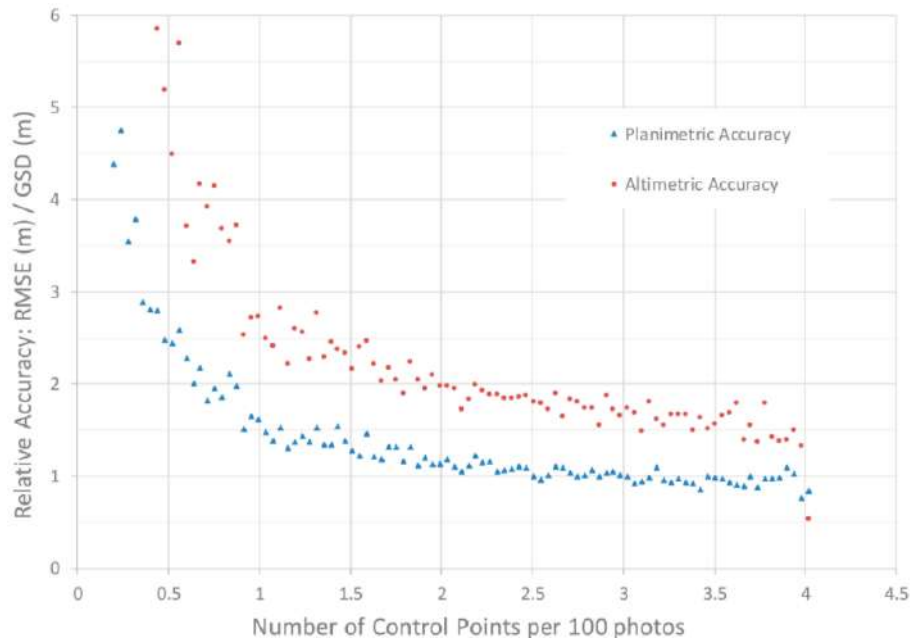
Es importante tomar puntos de apoyo para utilizarlos como puntos de control terrestre (PCT) y puntos de verificación terrestre (PVT) independientes puesto que al solo considerarlos como puntos de control las precisiones se sobreestiman en el modelo (Sanz-Ablanedo et al., 2018)

Son indispensables al menos cinco PCT bien distribuidos a lo largo de la zona de estudio por cada 15 ha de superficie levantada; además, es necesario agregar un punto por cada 3 ha adicionales para obtener una precisión mínima de 6 cm en el eje Z y de 7 cm en el plano (X, Y, Z) (Jiménez et al., 2017)

Según (Sanz-Ablanedo et al., 2018), en el marco de su investigación, presentó la figura 17 la cual analiza la exactitud en los puntos de verificación (PVT) en función de la cantidad de PCT por cada 100 fotos utilizadas. El eje Y representa el RMSE en relación con el GSD, por lo que puede usarse de manera más útil para comparar proyectos con diferentes GSD. El eje X define el número de PCT por cada 100 fotos. Cada punto de datos individual en la figura se ha derivado del promedio de las 35 pruebas utilizando la misma cantidad de PCT. Esto demuestra que se puede lograr RMSE planimétricos similares al GSD con aproximadamente 2,5 a 3 PCT por cada 100 fotografías. Con más de 3 PCT por cada 100 fotos, la exactitud horizontal no mejora de manera sensible. Sin embargo, la exactitud vertical siempre mejora hacia 1,5 GSD, que fue la precisión vertical máxima alcanzada en sus pruebas usando 4 PCT por cada 100 fotos.

Figura 17:

RMSE/GSD en relación al número de puntos de control por cada 100 fotos



Nota: Precisión en los PVT frente al “número de puntos de control por cada 100 fotos”

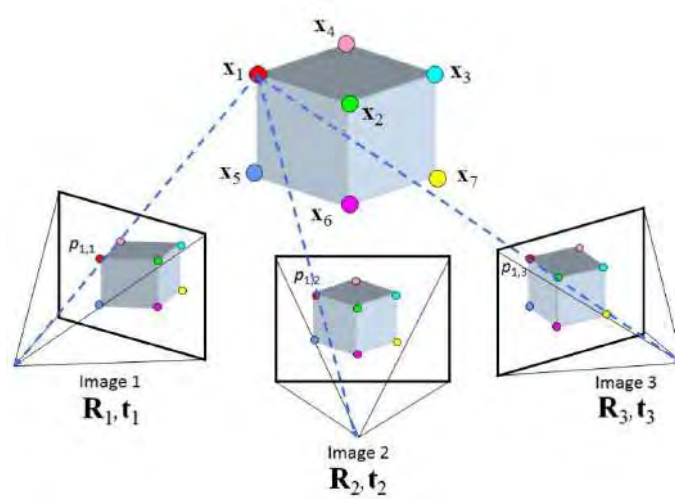
(Sanz-Ablanedo et al., 2018)

2.7. Structure From Motion, Estructura Del Movimiento (SfM)

Structure from Motion (SfM) es una técnica que es considerada como un método de fotogrametría automatizada de bajo costo y alta resolución. Al igual que la fotogrametría estereoscópica, este método se basa en principio de la superposición de imágenes para resolver la estructura en 3D. Sin embargo, sus orígenes se encuentran en el campo de la visión artificial y el desarrollo de los algoritmos de correlación automática de imágenes (CAI) diferenciándose fundamentalmente de la fotogrametría convencional, debido a que la geometría del modelo, las posiciones de cámara y la orientación se resuelve automáticamente sin la necesidad de establecer a priori, una red de puntos de control de coordenadas 3D conocidas. En lugar de ello, las ecuaciones de colinearidad son resueltas a partir del elevado número de puntos conjugados (puntos comunes a las imágenes) identificados durante la fase de correlación automática de un conjunto de imágenes superpuestas adquiridas de forma no estructurada (Tomás-Jover, Guill, González, Fernández, y Jordá, 2016). La figura 18 muestra como la estructura real (cubo) se refleja desde múltiples puntos de vista (Imagen 1, Imagen 2, Imagen 3). Al proyectar (líneas

discontinuas) las ubicaciones de los píxeles ($p_{1,1}, p_{1,2}, \dots$) que son puntos característicos del objeto en las imágenes (x_1, x_2, \dots), y el movimiento de la cámara ($R_1, T_1; R_2, T_2, \dots$) se logra estimar el modelo 3D de la estructura.

Figura 18:
Proceso de Structure from Motion.



Fuente: Tomas-Jover et al., (2016)

2.8. Productos Fotogramétricos

2.8.1. Nube De Puntos Densa

Una nube de puntos es un conjunto de puntos de datos en el espacio. Los puntos pueden representar una forma u objeto 3D. Cada posición de punto tiene su conjunto de coordenadas cartesianas (X, Y, Z). Las nubes de puntos generalmente son producidas por escáneres 3D o por software de fotogrametría, que miden muchos puntos en las superficies externas de los objetos que los rodean. Como resultado de los procesos de escaneo 3D, las nubes de puntos se utilizan para muchos propósitos, incluso para crear modelos CAD 3D para piezas fabricadas, para metrología e inspección de calidad, y para una multitud de aplicaciones de visualización, animación, renderizado y personalización masiva. La figura 19 muestra un ejemplo de nube de puntos densa obtenida por fotogrametría.

Figura 19:
Ejemplo de nube de puntos densa



Nota: La figura muestra una nube de puntos a color en el espacio.

2.8.2. *Modelo Digital de Elevación*

Según el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) Un Modelo de Elevación Digital (Digital Elevation Model) es una representación de la superficie topográfica del suelo desnudo de la Tierra, excluyendo árboles, edificios y cualquier otro objeto de superficie.

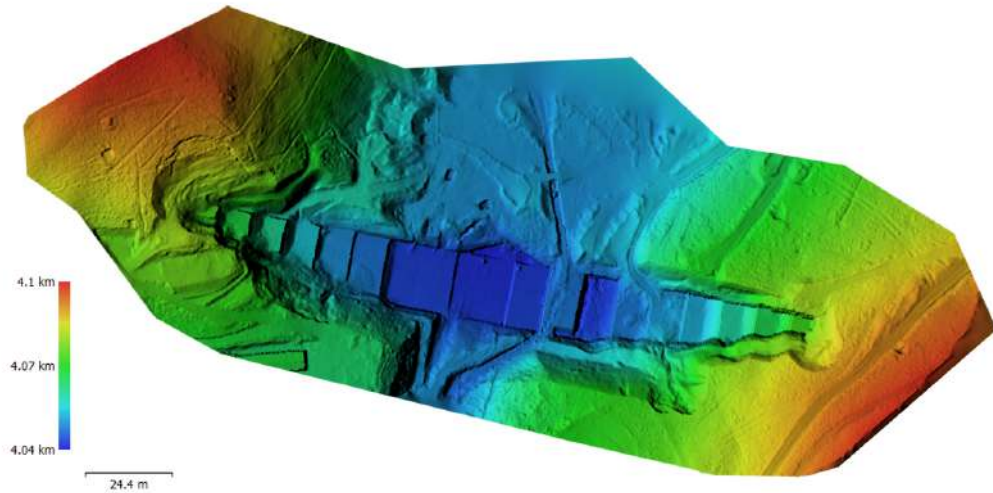
Un modelo digital de elevaciones (DEM) se define como una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno (Felicísimo, 1994).

El término DEM se usa a menudo como un término genérico para DSM y DTM, representando información de altura sin ninguna definición adicional sobre la superficie (Hirt, 2014). Otras definiciones igualan los términos DEM y DTM, (Podobnikar, 2009) igualan los términos DEM y DSM, (Graham, Kirkman, y Paul, 2007) definen el DEM como un subconjunto del DTM, que también representa otros elementos morfológicos o definen un DEM como una cuadrícula rectangular y un DTM como modelo tridimensional (TIN). La mayoría de los proveedores de datos (USGS, ERSDAC, CGIAR, Spot Image) utilizan el término DEM como término genérico para DSM y DTM. Algunos conjuntos de datos, como SRTM o ASTER GDEM, son originalmente DSM, aunque en áreas boscosas, SRTM alcanza la copa de los árboles dando lecturas entre un DSM y un DTM. Es posible estimar un DTM a partir de conjuntos de datos DSM de

alta resolución con algoritmos complejos (Li et al., 2005). La figura 20 muestra un ejemplo de un DEM.

Figura 20:

Ejemplo de un DEM, la escala de color representa la elevación



2.8.3. *Ortomosaico*

Un ortomosaico, ortofoto, ortofotografía u ortoimagen es una fotografía aérea o una imagen satelital corregida geoméricamente (ortorrectificada) de modo que la escala sea uniforme: la foto o imagen sigue una proyección cartográfica determinada. A diferencia de una fotografía aérea no corregida, una ortofoto puede usarse para medir distancias reales, porque es una representación precisa de la superficie de la Tierra, después de haber sido ajustada para el relieve topográfico, la distorsión de la lente y la inclinación de la cámara (Smith, 1995). La figura 21 muestra un ejemplo de un ortomosaico, notese que no existe distorsión en la imagen puesto que el mosaico ha tomado los segmentos de varias fotografías sin distorsión.

Figura 21:
Ejemplo de un ortomosaico



2.9. Aeronave Pilotada A Distancia (RPA)

Un RPA o drone es una aeronave pilotada por un “piloto remoto”, emplazado en una “estación de piloto remoto” ubicada fuera de la aeronave que monitorea la aeronave y tiene responsabilidad directa de pilotar de forma segura la aeronave durante toda la misión. Un RPA puede poseer varios tipos de tecnología de piloto automático, pero, en todo momento, el piloto remoto puede intervenir en la gestión del vuelo (Dirección General de Aeronáutica Civil, 2015)

2.10. Sistema De Aeronave Pilotada A Distancia (RPAS)

Un RPAS es el conjunto de elementos configurables integrado por una aeronave pilotada a distancia, sus estaciones de piloto remoto conexas, los necesarios enlaces de mando y control y cualquier otro elemento de sistema que pueda requerirse en cualquier punto durante la operación de vuelo (Dirección General de Aeronáutica Civil, 2015).

2.11. Sistema Mundial de Navegación Por Satélite (GNSS)

Según (Álvarez, 2008) Se entiende por GNSS, al conjunto de sistemas de navegación por satélite, como son el GPS, GLONASS y Galileo. Estos son los encargados de proporcionar el posicionamiento temporal de los usuarios.

Los sistemas de navegación por satélite tienen tres segmentos claramente definidos: un segmento espacial, un segmento de control, un segmento de usuarios. No se entiende un GNSS sin alguno de estos tres elementos.

a. Segmento espacial

Según (RECINOS, 2017) Es el segmento compuesto por los satélites que forman el sistema, tanto de navegación como de comunicación. Los satélites de navegación son los que orbitan al rededor de la tierra en diferentes planos orbitales y los de comunicación sirven para la corrección de errores en las posiciones de los usuarios.

b. Segmento control

Según (RECINOS, 2017) este segmento está formado por el conjunto de estaciones en tierra que recogen los datos de los satélites.

c. Segmento de usuario

Según (RECINOS, 2017) este segmento está formado por los instrumentos que reciben la señal del segmento espacial

2.11.1. *Sistema de Posicionamiento Global (GPS)*

Según (Pozo-Ruz et al., 2000) El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un sistema de localización, diseñado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos con fines militares para proporcionar estimaciones precisas de posición, velocidad y tiempo; operativo desde 1995 utiliza conjuntamente una red de ordenadores y una constelación de 24 satélites para determinar por triangulación, la altitud, longitud y latitud de cualquier objeto en la superficie terrestre.

De igual manera (Pozo-Ruz et al., 2000) El sistema está compuesto por tres segmentos: segmento espacio, formado por 24 satélites GPS con una órbita de 26560 Km. de radio y un periodo de 12 h.; segmento control, que consta de cinco estaciones monitoras encargadas de mantener en órbita los satélites y supervisar su correcto funcionamiento, tres antenas terrestres que envían a los satélites las señales que deben transmitir y una estación experta de supervisión de todas las operaciones; y segmento usuario, formado por las antenas y los receptores pasivos situados en tierra. Los receptores, a partir de los mensajes que provienen de cada satélite visible,

calculan distancias y proporcionan una estimación de posición y tiempo.

2.11.2. *Sistema Global De Navegación Por Satélite (GLONASS)*

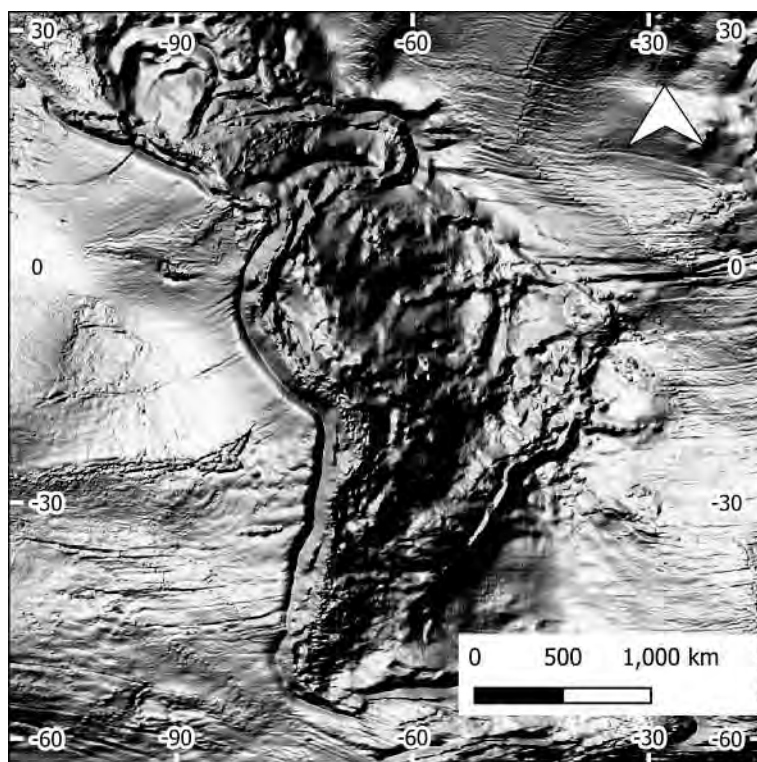
Según (Pozo-Ruz et al., 2000) este sistema se desarrolló en la antigua Unión Soviética. El sistema, también diseñado con fines militares, reservó un subconjunto de señales sin codificar para las aplicaciones civiles. Actualmente la responsabilidad del sistema es de la Federación Rusa. De los 24 satélites, distribuidos en tres planos orbitales inclinados 64.8° a 19100 Km. de altitud y periodo 11 h. 15 min. sólo funcionan 14.

2.12. **Geoide y/o nivel medio del mar**

El geoide es una superficie de nivel, normal en todos sus puntos a la dirección de la gravedad y que goza de la siguiente propiedad importante: el plano tangente a cualquiera de sus puntos es normal a la dirección de la gravedad. (Caro, 2016).

el geoide no es una superficie regular, por tal motivo no es factible representarlo mediante una expresión matemática. Es por esto que se crean diferentes modelos representados por un arreglo matricial cuyo valor de cada celda representa el valor de la ondulación geoidal en dicha zona. en la figura 22 se puede apreciar mediante un mapa de sombras la variación de la ondulación geoidal en sudamérica.

Figura 22:
Variación de la ondulación geoidal en Sudamérica



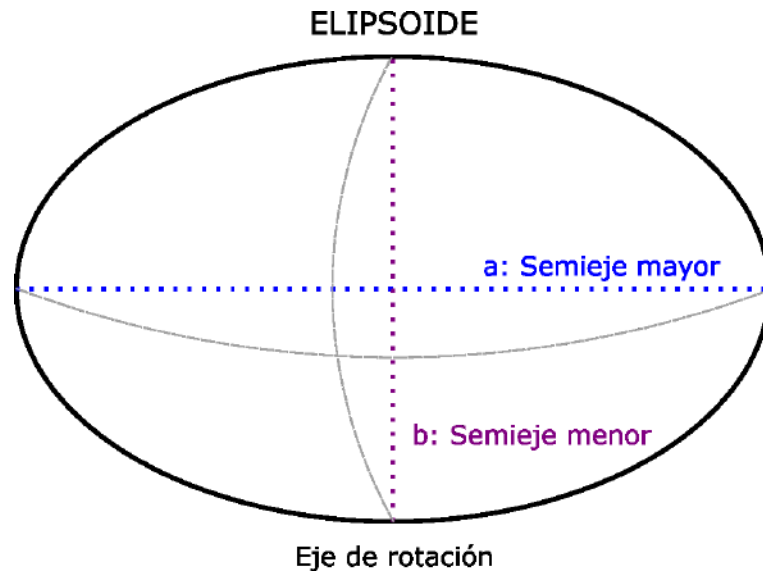
Nota: La representación en mapa de sombras se realizó en el software QGIS 3.22.1 tomando como archivo base el modelo geoidal EGM2008 con una resolución de 2.5'

2.13. Elipsoide

Según el Instituto Geográfico Nacional el elipsoide es un volumen geométrico, que resulta de la rotación de un elipse en su propio eje. este volumen es la que se acopla de mejor manera a la forma real de la tierra.

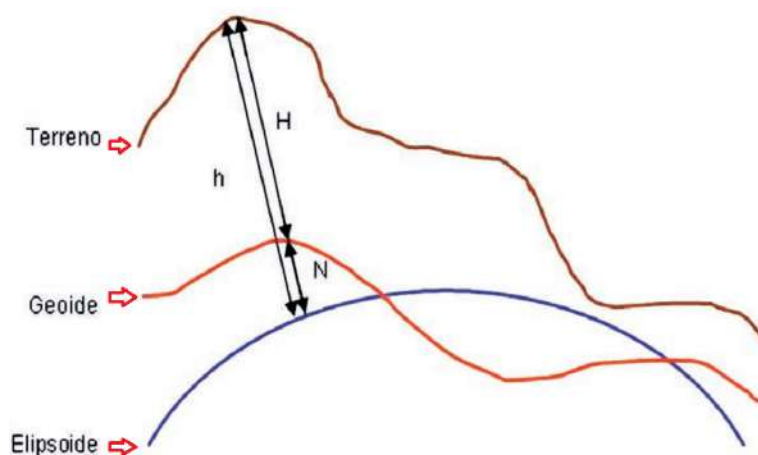
En Perú el elipsoide utilizado oficialmente es el World Geodetic System 84 (WGS-84). Este tiene como origen el centro de masas de la tierra y cuyos valores de a es $6378137m$ y de b es $6356752,31424m$. En la figura 23 se puede observar la forma de un elipsoide, así como los principales parámetros que definen sus características geométricas.

Figura 23:
Parámetros del elipsoide



Según (Mendoza Dueñas, 2019) la forma de la tierra no es regular. La forma más acertada a la configuración de la superficie terrestre es el geoide, este es una superficie equipotencial de campo de gravedad terrestre. De este modo, las alturas de un mismo punto referidas al elipsoide y al geoide no son iguales. La diferencia entre la altura de un punto referida al elipsoide (h , altura elipsoidal) y la medida desde el geoide (H , altura ortométrica) se denomina ondulación del geoide (N). Ver figura 24.

Figura 24:
Variación de la ondulación geoidal en Sudamérica



h: Altura elipsoidal.

H: Altura ortométrica.

N: Ondulación geoidal.

Fuente: Instituto geográfico nacional.

2.14. Distancias Verticales

El instituto geográfico nacional a través de la norma técnica “Especificaciones técnicas para el posicionamiento geodésico estático relativo con receptores del sistema satelital de navegación global” nos da las definiciones de las diferentes distancias verticales consideradas en geodesia, topografía y fotogrametría.

2.14.1. *Altitud*

Es la distancia de un punto a la proyección perpendicular sobre una superficie de referencia (elipsoide o geoide) considerado como el nivel medio del mar.

2.14.2. *Altitud Ortométrica (H)*

Es la longitud de un punto a la proyección perpendicular sobre el geoide. También se denomina elevación.

2.14.3. *Altura*

Es la distancia vertical entre un punto y un plano arbitrario.

2.14.4. *Altura Elipsoidal*

La altura elipsoidal es la distancia entre un punto de referencia a la proyección perpendicular sobre el elipsoide elegido.

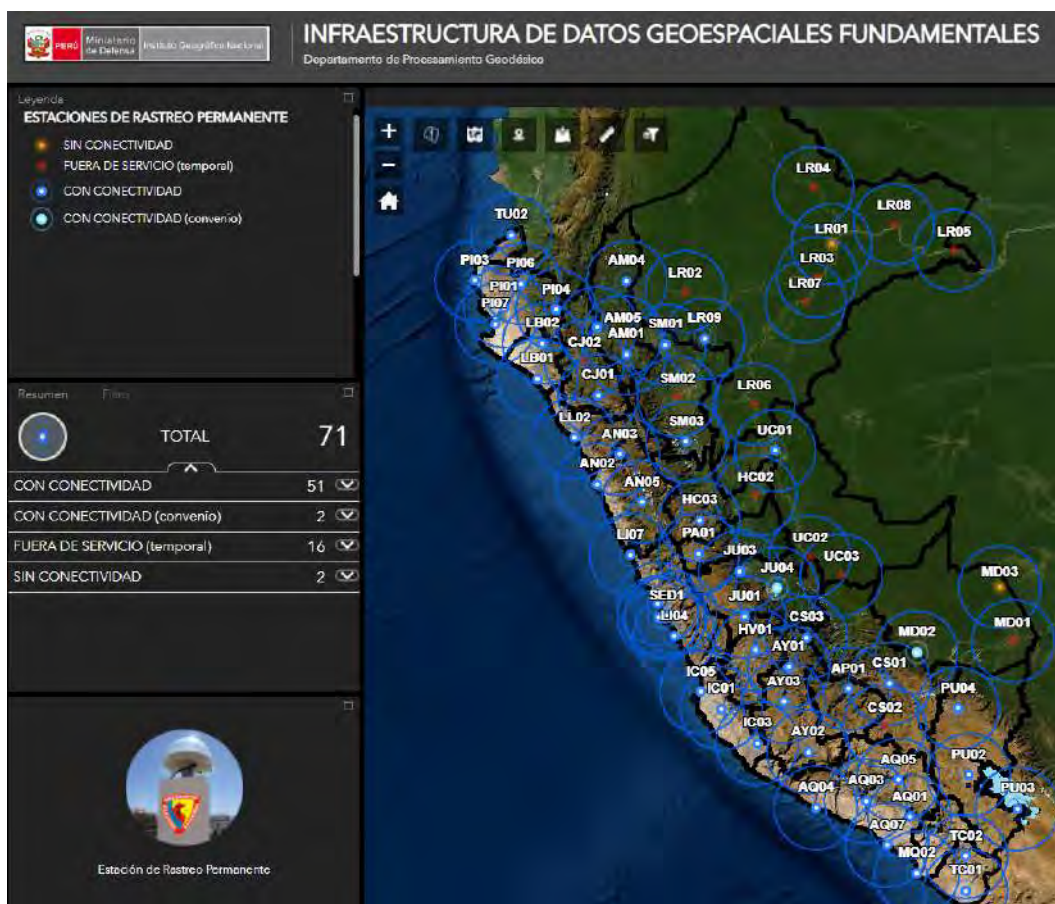
2.15. **Sistema Geodésico Oficial Del Perú**

Sistema conformado por la Red Geodésica Horizontal Oficial y la Red Geodésica Vertical Oficial, implementada y administrada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN); constituye el único sistema de referencia a nivel nacional, mismo que esta integrado al Sistema de Referencia Mundial. Está materializado por puntos localizados dentro del ámbito del territorio nacional, mediante monumentos o marcas, que interconectados permiten la obtención conjunta o por separado de su posición geodésica (coordenadas), altura o del campo de gravedad, enlazado al sistema de referencia nacional. (IGN, 2015).

2.16. **Red Geodésica Peruana De Monitoreo Continuo (REGPMOC)**

Es un grupo de estaciones GNSS repartidos a lo largo del territorio nacional, y suministran la posición geodésica a los usuarios mediante datos en línea y coordenadas en el marco oficial ITRF2000. Se compone básicamente de un receptor GNSS estático que se posiciona de manera permanente en una localidad geográfica conocida, y recolecta datos de posicionamiento las 24 horas del día, 7 días a la semana y los 365 días del año. (IGN, 2015). Estos datos son transmitidos por medio de una red de computadoras hacia un servidor central, en donde estos son almacenados para su uso posterior. En la figura 25 se observa la distribución de las estaciones de rastreo permanente a lo largo del territorio nacional. En la parte de la región de Cusco se puede observar tres estaciones de rastreo permanente. De las cuales a la fecha solo dos se encuentran operativas.

Figura 25:
Infraestructura de datos geospaciales fundamentales de Perú



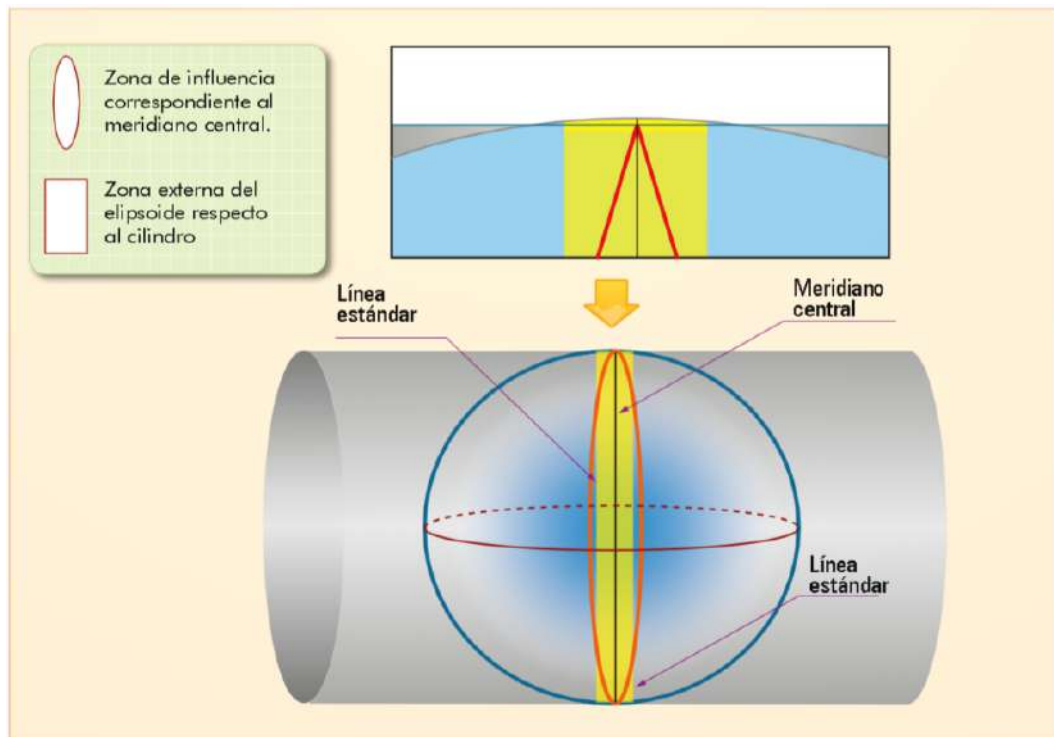
Fuente: <https://www.idep.gob.pe/geovisor/erp/>

2.17. Sistema De Proyección Cartográfica UTM

Según (Mendoza Dueñas, 2019) Este sistema es una proyección cilíndrica conforme, similar a la proyección transversal de mercator . La diferencia radica en que el cilindro transversal al eje de rotación de la tierra, corta al elipsoide secante a lo largo de dos elipses (líneas estándar) paralelas al meridiano central. Está dividido en 60 bandas de 6 grados, paralelas a los meridianos, denominados husos. Cada huso tiene como coordenada central el valor de 500 000 metros para el eje X, mientras que el eje Y va incrementando de sur a norte, hasta llegar al ecuador donde el valor máximo llega a 10 000 000 metros, pasando el ecuador el valor nuevamente comienza en 0.

en la figura 26 se observa la construcción de la proyección a partir de un cilindro inclinado que corta secante en los polos.

Figura 26:
Proyección Universal Transversal de Mercator



Fuente: (Mendoza Dueñas, 2019)

2.18. Error de raíz cuadrada media (RMSE)

Según el (IGN, 2015) define el RMSE como La raíz cuadrada del promedio del grupo de diferencias cuadradas entre los valores de las coordenadas del conjunto de datos y los valores de las coordenadas de una fuente independiente de mayor precisión para puntos idénticos. Mide la cantidad de error que hay entre dos conjuntos de datos. En otras palabras, compara un valor predicho y un valor observado o conocido.

Esta medida es usada en las “Especificaciones Técnicas Para Generación De Ortoimágenes” para el control de calidad de los productos fotogramétricos.

Exactitud horizontal

Calcular el RMSE de la componente x

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e_{xi})^2}{n}} \quad (1)$$

Donde:

e_{xi} = Error en el componente x del punto i

n = Cantidad de puntos

$RMSE_x$ = Error medio cuadrático en el componente x

De manera similar se calcula el $RMSE_y$ y $RMSE_z$ para el componente Y y Z aplicando la ecuación (1).

Para calcular el $RMSE$ resultante para el componente xy aplicando la ecuación (2)

$$RMSE_r = \sqrt{(RMSE_x)^2 + (RMSE_y)^2} \quad (2)$$

Además existe el ISO 19131 que es un estándar internacional sobre metodología para elaborar especificaciones técnicas de producto o información geoespacial el cual define las especificaciones técnicas de productos geográficos, que se basa en conceptos de otras normas de la serie ISO 19100, dando soporte a la creación de especificaciones de productos geográficos.

2.19. Exactitud

El Vocabulario Internacional de Metrología Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM) define la exactitud como la proximidad entre un valor medido y un valor verdadero de una magnitud que se desea medir.

2.20. Precisión

El VIM define precisión como la proximidad entre los valores cuantificados producto de varias repeticiones bajo especificaciones determinadas.

Una diferencia notable entre precisión y exactitud es que para determinar la exactitud se requiere únicamente de una medida, mientras que para determinar la precisión es necesario realizar medidas repetitivas. Siendo imposible determinar la precisión con solo una medida

2.21. Método estático relativo de posicionamiento de receptor GNSS

(Pachas, 2009) en su artículo menciona que existen tres métodos para realizar el posicionamiento: el modo estático, stop and go y el cinemático.

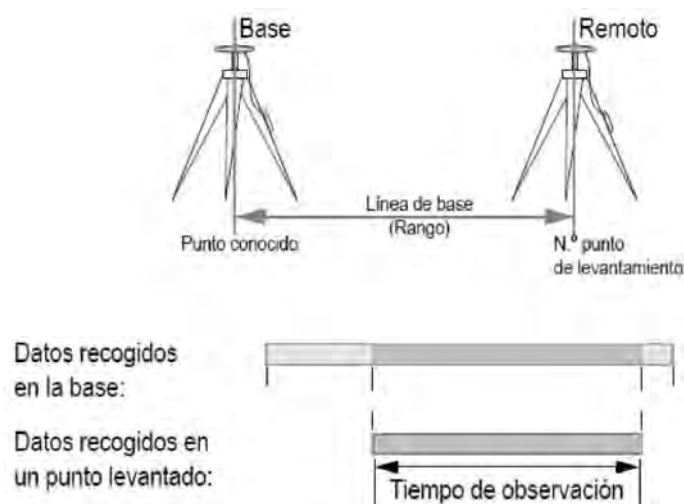
El método estático es el método que produce los valores más confiables para colocar puntos de referencia.

Para utilizar este método se necesita un punto de coordenadas conocidas, este punto será el punto BASE. En este método se recogen datos brutos cuyo origen son todos los satélites que están a disposición en el momento de la toma de información. Esta información se recopila tanto en la BASE como en el ROVER de manera simultánea. La solución se obtiene en el mismo momento, como también en gabinete en post proceso.

Las precisiones obtenidas varían de acuerdo a las especificaciones del fabricante. A manera de valores estándar se tiene una precisión de $0.005 \text{ m} + 1 \text{ ppm}$ en levantamiento horizontal y $0.01 \text{ m} + 2 \text{ ppm}$ en levantamiento vertical.

El tiempo de registro de información depende de la distancia entre la BASE y el ROVER, así como también de factores ambientales como la vegetación. En la figura 27 se puede observar el esquema general del método de posicionamiento relativo.

Figura 27:
Esquema de línea base para el método estático relativo



Fuente: (Pachas, 2009)

2.22. Marco legal

2.22.1. *Norma técnica complementaria NTC 001-2015*

Esta norma técnica complementaria fue emitida por la dirección general de aeronáutica civil - Ministerio de transportes y comunicaciones y aprobada bajo resolución directoral n° 501-2015-MTC/2012. Como tema principal la normativa nos da los requisitos para las operaciones de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia.

2.22.2. *Norma técnica geodésica*

La norma técnica geodésica “ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA POSICIONAMIENTO GEODÉSICO ESTÁTICO RELATIVO CON RECEPTORES DEL SISTEMA SATELITAL DE NAVEGACIÓN GLOBAL” fue emitida por el Instituto Geográfico Nacional en diciembre del 2015. Esta normativa nos da las especificaciones básicas a cumplir para el posicionamiento estático relativo con receptores GNSS.

2.22.3. *Especificaciones Técnicas para la Generación de Ortoimágenes*

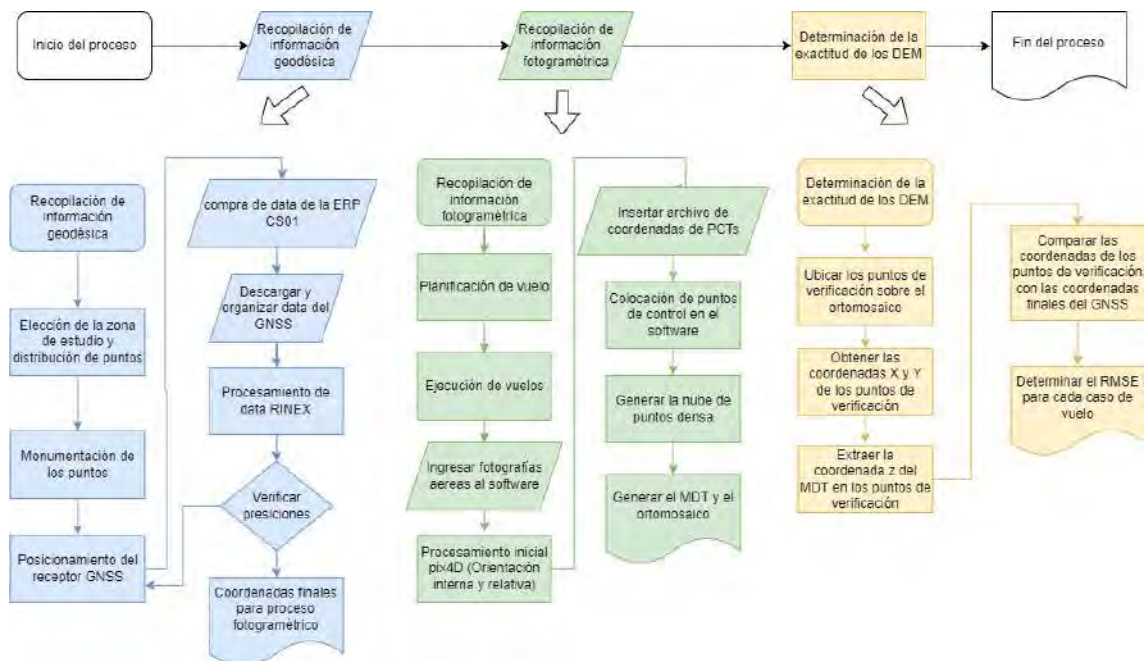
Esta normativa fue aprobada bajo Resolución Jefatural N° 053-2021/IGN/DIG/SDNGC el 30 de junio del 2021. En esta normativa podemos encontrar los parámetros básicos a cumplir para la generación de ortoimágenes con RPAS, además de encontrar las consideraciones básicas para el control de calidad de los mismos.

Capítulo 3. Recolección De Datos

3.1. Flujo De Trabajo

El flujo de trabajo para la recolección de datos consistió en la recopilación de información geodésica y recopilación de información fotogramétrica, estos datos posteriormente se utilizaron para determinar los RMSE de los productos de cada escenario. La figura 28 muestra un esquema del flujo de recopilación de datos para su mejor entendimiento.

Figura 28:
Esquema del flujo de trabajo para la recopilación de datos



3.2. Recopilación De Información Geodésica

3.2.1. Datos Generales

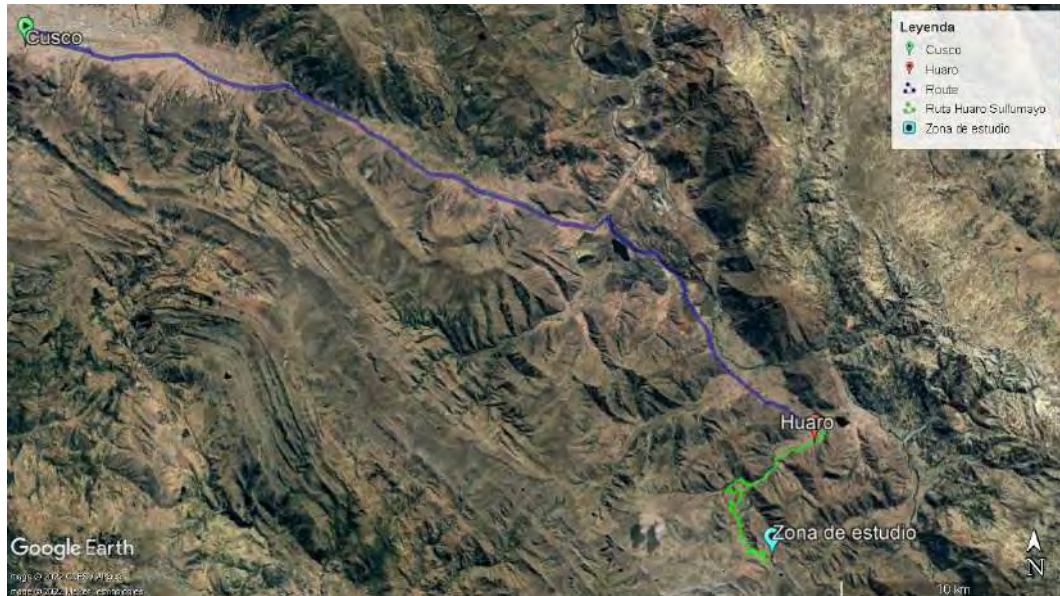
1. Ubicación de los puntos geodésicos

En la tabla 2 se puede observar los datos generales para ubicar el punto principal. Este punto se encuentra en el km 16+100 del camino vecinal Huaro - Urpay - Sullumayo, distrito de Huaro, provincia de Quispicanchi, Departamento de Cusco. Al llegar a la zona se tiene que recorrer 140 metros al lado izquierdo de la vía de manera perpendicular. en la

figura 29 se observa la red vial nacional y vecinal desde Cusco Hasta el área de trabajo.

Figura 29:

Red vial nacional y red vial vecinal usadas para llegar a la ubicación de los puntos



fuentes: Google earth

Tabla 2:

Ubicación del punto geodésico CUS12124

Código:	CUS12124
Ubigeo:	071207
Departamento:	Cusco
Provincia:	Quispicanchi
Dsitrito:	Huaro
Referencias:	km 16+100 del Camino vecinal Urpay Pallpacaya Sirumayo Sullumayo
Accesibilidad:	a 140 metros de la vía en el margen izquierdo

II. Instrumentos y equipos utilizados

Para el posicionamiento relativo se utilizó dos receptores GNSS de doble frecuencia de la marca CHCNAV modelo I50. En la tabla 3 se puede observar detalle de los instrumentos y equipos utilizados.

En el procesamiento se utilizaron las bandas L1 y L2. La banda L1 posee una frecuencia de 1575.42 MHz mientras que la banda L2 tiene una frecuencia de 1227.6 MHz. En trabajos de exactitud posicional para puntos geodésicos de orden “C”, la distancia de línea base determinará el tipo de receptor a emplear. En ningún caso se usaran equipos mono frecuencia para distancias superiores a 20 Km. Las observaciones estarán directamente relacionados con la longitud de línea base, aumentando estos a medida que aumente dicha distancia.

Tabla 3:
Instrumento y equipos utilizados

N°	Equipos/instrumentos	Marca	Modelo	Cantidad
1	Receptor GNSS	chcnav	I50	02
2	Base nivelante	Seco		01
3	Tripode de madera	Topcom		01
4	Cámara fotográfica	Canon	Power Shot	01
5	Laptop	Toshiba	Satelite	01
6	GPS navegador	Garmin	Leggen	01
7	Bastón	CHCNAV		01
8	Bipie	Topcom		01

3.2.2. *Especificaciones Técnicas De Los Equipos Utilizados*

El receptor GNSS usado tiene un total de 432 canales. Recepciona información de los constelaciones GPS, GLONASS, QZSS Y GALILEO. Tiene la capacidad de guardar información rinex, la cual sirve para realizar cálculos de coordenadas en post proceso. en la figura 30 se observan más características del equipo utilizado.

Figura 30:
Características del receptor y antena GNSS

especificaciones

Características (GNSS)		Comunicaciones y almacenamiento de datos	
canales	432	módem de red	Integrada 4G módem LTE (FDD) B1, B2, B3, B4, B5, B7, B8, B20 DC-HSPA + / HSPA + / HSPA / UMTS: B1, B2, B5, B8 EDGE / GPRS / GSM 850/900/1800 / 1900 MHz
GPS	L1, L2, L2C, L5, L1,	Wifi	802.11 b / g / n, punto de acceso v4.1 modo
QZSS	L2 E1, E5a, E5b B1,	Bluetooth	
GLONASS	B2, B3 L1, L1, L2, L5	puertos	1 x 7-pin del puerto LEMO (de alimentación externa, RS-232) 1 x puerto USB 2.0 (descarga de datos, actualizar el firmware) 1 x UHF puerto de la antena (TNC fembra) Estándar interno Rx (Tx) 410 MHz a 470 MHz Potencia de transmisión: 0.5 W a 2 W Protocolo: CHC, la tasa de Entice transparente, TT450: 9600 bps a 19200 bps Rango: Típica de 3 km y 5 km
Galileo		Los formatos de datos	2 x RTCM, RTCM 3.x, entrada y salida CMR HCN, HRC, RINEX 2.11, 3.02 NMEA 0183 de salida de cliente NTRIP, NTRIP Casier
BeiDou SBAS		Almacenamiento de datos	8 GB de memoria interna
Las precisiones (GNSS)		Eléctrico	
Tiempo real cinemática (RTK)	Horizontal: 8 mm + 1 ppm RMS vertical: 15 mm + 1 ppm Tiempo de RMS Inicialización: <10 s Inicialización fiabilidad: > 99,9%	El consumo de energía capacidad de la batería	Li-Ion 3600 mAh (en uso)
cinemática de post-procesamiento (PPK)	Horizontal: 3 mm + 1 ppm RMS vertical: 5 mm + 1 ppm RMS	mAh: 7 a V	
EI post-procesado estático	Horizontal: 3 mm + 0,5 ppm RMS vertical: 5 mm + 0,5 ppm RMS	Tiempo de funcionamiento con batería interna (s)	UHF de recepción / transmisión: 5 h a 7 h celular solo modo: hasta 10 h estático: hasta 12 h
código diferencial	Horizontal: 0,4 m RMS Vertical: 0,8 m RMS	Entrada de alimentación externa	9 V DC a 36 V DC
Autónomo	Horizontal: 1,5 m RMS Vertical: 3,0 m RMS hasta 10		
Tiempo tasa de colación de primera fix (s)	Hz Arranque en frío: <45 s Comienzo caliente: <10 s Señal re-adquisición: <1 s		
Hardware			
Tamaño (L x W x H)			
peso Medio	110 g x 105 mm (0,5 lb x 4,1 x 4,2 en in) 140 mm (5,5 in)		
Ambiente	De funcionamiento: -40 ° C a 75 ° C (-40 ° F a 167 ° F) 140 mm x 130		
Humedad	95%		
Protección de ingreso	IP67 agua y al polvo, protegido de inmersión temporal a la profundidad de 1 m		
Choque	Sobrevivir a una caída por 2 metros		
Sensor de inclinación	nivelación EBubbl		
Panel frontal	9 LED de estado		
Certificaciones fijados			
Marca CE			

(1) Ejemplo, pero sujeto a la disponibilidad de los SOE DE y límites de licencia de servicio comercial.
 (2) GNSS L1, B2B B3 y Galileo B1 se proporcionan a través de 4 pines antena (conector del firmware). (3) La exactitud y la fiabilidad se determinan bajo el cielo abierto. (4) Base de estación múltiple, GNSS Sistema
 precisión y variación atmosférica. Actualizaciones sueltas en el tiempo de la señal, el seguimiento de los pines de procesamiento generados de GPS. (5) Los valores de referencia de potencia. (6) Dirección de la batería está según el fabricante de funcionamiento.

3.2.3. Imágenes De Los Equipos Utilizados

En la figura 31 se puede observar la vista frontal y posterior del equipo. Es importante considerar el código de cada rover para fines de procesamiento geodésico.

Figura 31:
Vista frontal y posterior del receptor GNSS



3.2.4. Metodología para recopilación de información geodésica.

Para la determinación de las coordenadas de los puntos de control y verificación se utilizó el método de posicionamiento diferencial estático. para lo cual se distribuyó 15 puntos en el área del proyecto, posteriormente se monumentó cada uno de los puntos. Para la lectura de datos se posicionó el receptor GNSS durante seis horas en el punto principal y entre 20 a 30 minutos en los catorce puntos restantes.

Para el procesamiento se formó una línea base principal de corrección a partir del punto CS01 al punto principal CUS12124, posterior a la corrección se procedió a formar 14 líneas base adicionales para la corrección de los puntos restantes. a continuación se detalla la metodología a detalle.

1. Periodo y duración de los trabajos

En la tabla 4 se puede observar la fecha y duración del registro de información satelital para cada punto a conocer sus coordenadas. Los trabajos se realizaron en dos días, donde el punto principal que se corrigió con la ERP CS01 tuvo un registro de información satelital de 6 horas aproximadamente. mientras que los demás 14 puntos restantes que se corrigieron con el punto CUS12124 se registraron dentro de un intervalo de 20 a 30

minutos

Para la consideración de los tiempos de registro se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

- a) El tiempo empleado para el posicionamiento dependerá de la distancia de la línea base, así como también del GDOP, cantidad de satélites y características del receptor usado
- b) El posicionamiento en el punto debe ser prolongada, de forma que garantice la determinación de la ambigüedad en la solución de la línea base para trabajos con medida de fase.
- c) Según la estadística, un mayor tiempo de posicionamiento no mejora significativamente la precisión una vez resuelta las ambigüedades.

Como regla general El sistema estadístico y cartográfico de Andalucía - España plantea un tiempo de observación de 5 minutos + 0.5 min / km para equipos de doble frecuencia. En el caso de la línea base CS01-CUS12124 la longitud es de 40 km aproximadamente, dando un tiempo de registro de 25 minutos como mínimo. a parte de este criterio el IGN nos indica que debemos de tener por lo menos 900 registros validos para cumplir con las especificaciones técnicas planteadas. Por lo cual el tiempo de registro de 6 horas es válido para este trabajo

Tabla 4:
Periodo y duración de registro de data satelital

Fecha	Código	Hora de inicio	Hora final	duración
15/11/2021	CUS12124	09:57:23	16:01:26	06:04:03
13/11/2021	2	16:03:01	16:23:00	00:19:59
13/11/2021	3	16:32:35	16:57:34	00:24:59
13/11/2021	4	17:05:29	17:35:28	00:29:59
13/11/2021	5	17:42:56	18:12:55	00:29:59
15/11/2021	6	10:06:50	10:26:49	00:19:59
15/11/2021	7	10:30:56	10:50:55	00:19:59
15/11/2021	8	10:57:01	11:22:00	00:24:59
15/11/2021	9	11:27:33	11:57:32	00:29:59
15/11/2021	10	12:07:15	12:37:14	00:29:59
15/11/2021	11	15:16:43	15:46:42	00:29:59
15/11/2021	12	14:40:21	15:10:20	00:29:59
15/11/2021	13	14:04:43	14:34:42	00:29:59
15/11/2021	14	13:24:28	13:54:27	00:29:59
15/11/2021	15	12:47:48	13:17:47	00:29:59

II. Monumentación

El punto principal se materializó mediante un hito de concreto con una profundidad de 60 cm y un largo y ancho de 40 cm en la parte superior y en la parte inferior. Además se incrustaron dos varillas de media pulgada. Los 14 puntos restantes se materializaron mediante monumentos cilíndricos con un diámetro de 4 pulgadas y con un refuerzo de un tubo de pvc incrustado en el terreno. Además se solicitó el código de punto al IGN para el grabado en la placa de bronce de 7 cm. en la figura 32 se puede observar el formato para la solicitud de código para el punto principal.

Figura 32:

Solicitud de código para grabado en la placa de bronce




SOLICITUD DE CÓDIGOS PARA PUNTOS GEODÉSICOS

RELLENAR LOS SIGUIENTES DATOS:

PERSONA NATURAL /JURÍDICA A LA CUAL SE CERTIFICARÁN LOS PUNTOS GEODÉSICOS	Luis Enrique Robles Huayllapuma
TELÉFONO Y/O CELULAR	946772995
CANTIDAD DE PUNTOS GEODÉSICOS	UNO (01)

Datos del Punto Geodésico 01	
ORDEN DE PUNTO GEODÉSICO	"C"
DEPARTAMENTO (**)	CUSCO
PROVINCIA (**)	QUISPICANCHI
CÓDIGO DEL PUNTO GEODÉSICO 01 (*)	CUS12124

FIRMA, POSTFIRMA Y SELLO DE LA PERSONA NATURAL/JURÍDICA RESPONSABLE	 Luis Enrique Robles Huayllapuma <small>Boholla de Incahuasi, Cuzco</small>
--	--

FIRMA Y SELLO DEL DEPARTAMENTO DE GEODESIA	 SOTELO PALOMINO EDWIN Departamento de Geodesia 11/11/2021
---	---

(*) Esta codificación no define límites políticos administrativos

(**) Tener precaución de indicar correctamente la provincia y departamento en los que se realizará el levantamiento. En caso de que el código no perteneciera a la provincia y/o departamento en el que se realizaron los trabajos, no se podrá proceder con la certificación.

AVISO!

1. Enviar la solicitud del código obligatoriamente en formato excel (Ejemplo: *.xlsx/*.xls) al correo geodesia.ign@gmail.com o geodesia@ign.gob.pe, de lo contrario su solicitud no podrá admitida y respondida.

2. El código asignado por el Departamento de Geodesia del Instituto Geográfico Nacional tendrá validez por un tiempo no mayor a 6 meses para su certificación, caso contrario, será anulado y asignado para otros proyectos.

En la figura 33 se puede observar de izquierda a derecha el proceso de monumentación, en la primera imagen se ve el proceso de excavación, ya que la profundidad es considerable es necesario el uso de herramientas de largo alcance; en la segunda imagen se muestra la profundidad de excavación, esta tiene que ser de 60 cm como mínimo; en la tercera imagen se muestra el proceso de vaciado de concreto y las varillas de acero para el refuerzo y por último en la última imagen se observa el dado culminado con la placa de bronce incrustada en el centro.

Figura 33:
Proceso de monumentación del punto base



En la figura 34 se puede observar de izquierda a derecha el proceso de monumentación de los puntos de fotocontrol. En la primera imagen se observa el retiro de vegetación en la zona de monumentación, en la segunda imagen se puede ver la colocación del tubo de refuerzo incrustado en el terreno, en la tercera imagen se observa la elaboración de la mezcla de cemento y por último se observa el cilindro de concreto culminado.

Figura 34:
Proceso de monumentación de los 14 puntos restantes.



III. Control

Para el control horizontal se utilizó el método de posicionamiento diferencial estático. este método consiste en recopilar data en dos puntos simultáneos, un punto conocido y otro por conocer, para posteriormente realizar el ajuste de línea base. Para el proyecto

se empleó la ERP CS01 (CUSCO) de Orden “0” establecido por el IGN, ubicada en el distrito de Wanchaq, provincia y departamento Cusco. Los valores de las coordenadas y elevación extraídas del formulario del punto CS01, se muestran en la tabla 5.

Tabla 5:
Coordenadas geográficas y UTM WGS84 del punto CS01

Coordenadas geográficas WGS 84			
Punto	Latitud	Longitud	Altura
CS01	S13°31'27.32009"	O71°57'45.34163"	3410.0430 m
Coordenadas UTM WGS 84			
Punto	Este	Norte	Zona
CS01	179291.7309 m	8502947.3663 m	19 Sur

Estas coordenadas servirán para realizar la corrección del punto principal CUS12124. Posterior a ese proceso, se utilizarán las coordenadas corregidas del punto CUS12124 para realizar la corrección de los demás puntos de fotocontrol, generando un total de 14 líneas base adicionales a parte de la línea base principal. en la tabla 6 se observa las coordenadas del punto CUS12124.

Tabla 6:
Coordenadas geográficas y UTM WGS84 del punto CUS12124

Coordenadas geográficas WGS 84			
Punto	Latitud	Longitud	Altura
CUS12124	S13°44'31.21864"	A71°39'38.03252"	4382.497 m
Coordenadas UTM WGS 84			
Punto	Este	Norte	Zona
CUS12124	212273.562 m	8479218.577 m	19 Sur

iv. Consideraciones técnicas para cada punto geodésico establecido.

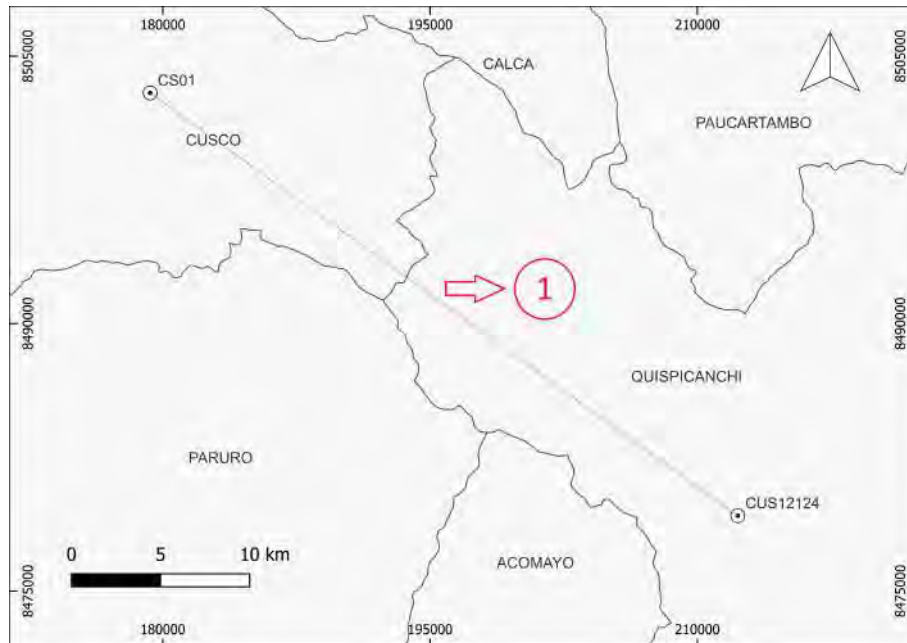
En el terreno se estableció un punto Rover denominado CUS12124, teniendo en cuenta las siguientes especificaciones técnicas.

- El ángulo de elevación fue de 5° con respecto al horizonte.
- Los datos se registraron en épocas con un intervalo de 1 segundo
- Rastreo de satélites mayor o igual a cuatro 04 SVS.
- La geometría de posición de los satélites “Dilación Geométrica de la Precisión”, o PDOP para este trabajo fue menor a 6.0
- La Distancia en línea recta desde punto CS01, al punto CUS12124 es de 40.6 Km.
- El receptor GPS empleados para los trabajos de campo cuentan con Certificado de operatividad vigente.

v. Esquema de las líneas bases

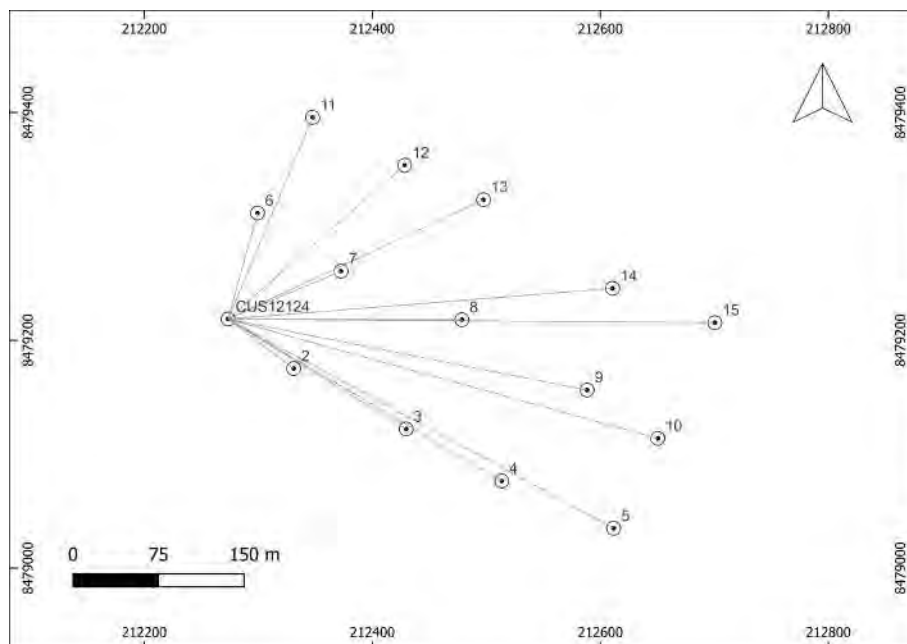
En la figura 35 se puede observar la línea base formada entre los puntos CS01 y CUS12124, donde el punto CS01 se consideró como punto de control para la corrección al punto CUS12124. Posterior a esta corrección se usó el punto CUS12124 como punto de control para la corrección de los 14 puntos restantes tal cual se muestra en la figura 36. Este proceso se hizo para tener un punto cercano al área de trabajo y poder realizar las correcciones a este punto, haciendo distancias de línea base menores y por consiguiente tiempos de registro menores para llegar a una precisión adecuada.

Figura 35:
Línea base CS01-CUS12124



(1) La línea de color plomo que une los puntos CS01-CUS12124 representa la línea base de corrección de coordenadas tomando como punto de control la ERP CS01

Figura 36:
Líneas base a partir del punto CUS12124



VI. Software

Para el procesamiento de las líneas base se utilizó el software Trimble Business Center en su versión 5.20. En la figura 37 se observa la pantalla de arranque del software.

Figura 37:
Software de procesamiento de línea base



VII. Datos obtenidos.

En la tabla 7 se puede observar las coordenadas finales producto del procesamiento de las líneas base, estas se encuentran en coordenadas proyectadas UTM WGS84 y el modelo geoidal utilizado para la obtención de las alturas ortométricas es el EGM2008. Para el cálculo de la altura ortométrica se utilizó la fórmula

$$H = h - N \quad (3)$$

Esta fórmula ya se explicó en el marco conceptual. con fines demostrativos se realizará el cálculo de la altura ortométrica para el punto 1.

$$H = h - N$$

$$H = 4382,497 - 46,007$$

$H = 4336,49$ metros

Tabla 7:
Coordenadas finales de los puntos de control y verificación

ID	Este (m)	Norte (m)	Altura ortométrica (m)	Altura Elipsoidal (m)
1	212273.562	8479218.577	4336.49	4382.497
2	212331.135	8479175.256	4354.403	4400.412
3	212429.747	8479122.141	4366.698	4412.712
4	212513.584	8479076.418	4351.396	4397.413
5	212611.702	8479035.031	4374.795	4420.816
6	212299.485	8479311.703	4291.615	4337.624
7	212372.566	8479260.701	4285.707	4331.719
8	212478.647	8479217.974	4308.281	4354.297
9	212588.518	8479156.347	4300.845	4346.866
10	212650.375	8479113.811	4314.803	4360.826
11	212347.735	8479395.705	4236.9	4282.912
12	212428.404	8479353.568	4215.22	4261.235
13	212497.576	8479323.495	4228.919	4274.937
14	212610.765	8479245.547	4224.09	4270.113
15	212700.411	8479215.419	4231.373	4277.4

3.2.5. *Análisis Del Procesamiento Y Ajuste De Red Generado Por El Software*

Para realizar el post procesamiento diferencial de los datos recopilados en la memoria interna de los GPS y los datos de la Estación Permanente CS01 (Cusco), se empleó el Software Trimble Business Center 5.2, en esta etapa la información es transferida a un ordenador personal, se verifico que los datos ingresados sean los mismos del diario de observación GPS generado en campo; en la Línea Base formada se analizaron los gráficos de residuales de cada satélite GNSS (GPS). En el procesamiento se configuro el proyecto con efemérides precisas, de esta forma se trabajó con efemérides precisas finales en formato sp3 para los satélites GPS y GLONASS. La elevación es calculada con referencia al modelo geopotencial de la Tierra EGM2008 (Earth

Gravitational Model 2008). Para el post procesamiento de las Líneas Base, se revisó el gráfico de la línea de tiempo con la finalidad de identificar lapsos de tiempo que no tenían continuidad y saltos de ciclo en el rastreo simultáneo.

3.3. Recopilación De Información Fotogramétrica

3.3.1. *Planificación De Vuelos*

Luego de obtener las coordenadas de los puntos de georreferenciación, se procedió con la planificación y ejecución de los vuelos fotogrametricos, etapa que consistió en la programación y automatización de todos los parámetros de vuelo sobre la zona de estudio. Para ello se utilizo el equipo DJI Mavic 2 Pro ver figura 38, cuyas características se detallan en la tabla 8.

Figura 38:
RPAS (drone) modelo DJI Mavic 2 Pro



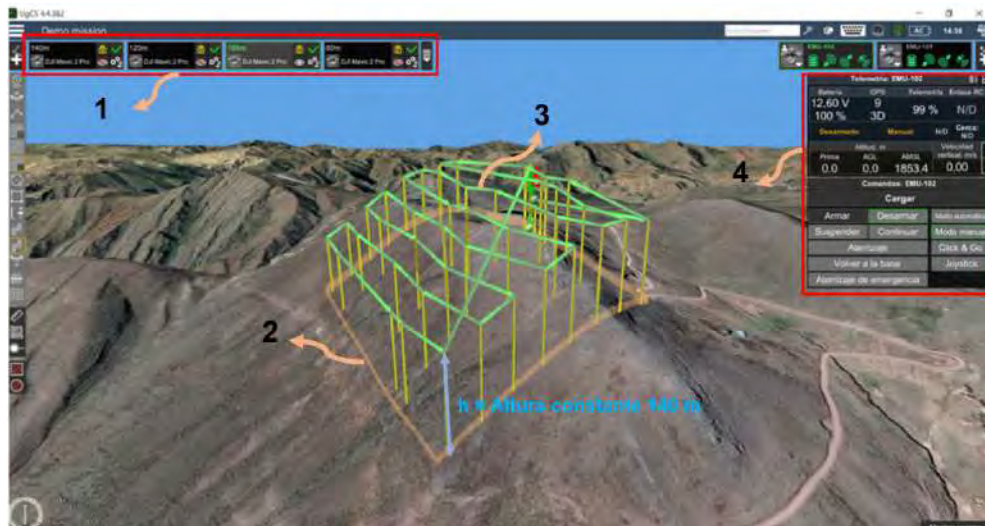
Tabla 8:
Especificaciones del RPAS Mavic 2 pro

	Mavic 2 Pro
Sensor	1" CMOS 20 Mpx FOV: about 77°
Lente	35 mm Format Equivalent: 28 mm Apertura: f/2.8–f/11 Shooting Range: 1 m to ?
Velocidad de obturación	Obturacion electronica: 8–1/8000s
Tamaño de imagen fija	5472×3648
Tasa de bits de video máxima	100Mbps
Formato de foto	JPEG / DNG (RAW)
Peso	Mavic 2 Pro: 907 g
Velocidad maxima de ascenso	4 m/s (modo posicion)
Velocidad maxima de descenso	3 m/s (modo posicion)
Velocidad Maxima (proximo a nivel de mar y sin viento)	72 kph (modo sport)
Altitud maxima de vuelo	6000 m
Tiempo maximo de vuelo (sin viento)	31 minutes
GNSS	GPS+GLONASS Vertical:
Rango de precisión de vuelo estacionario	± 0.5 m (con posicionamiento GPS) Horizontal: ± 1.5 m (con posicionamiento GPS)

Con el fin de poder establecer una correlación entre la altura de vuelo y el RMSE, se utilizaron siete (07) elevaciones para cada tipo de vuelo, siete (07) para tipo AGL y siete (07) de tipo AMSL, haciendo un total de 14 escenarios de procesamiento.

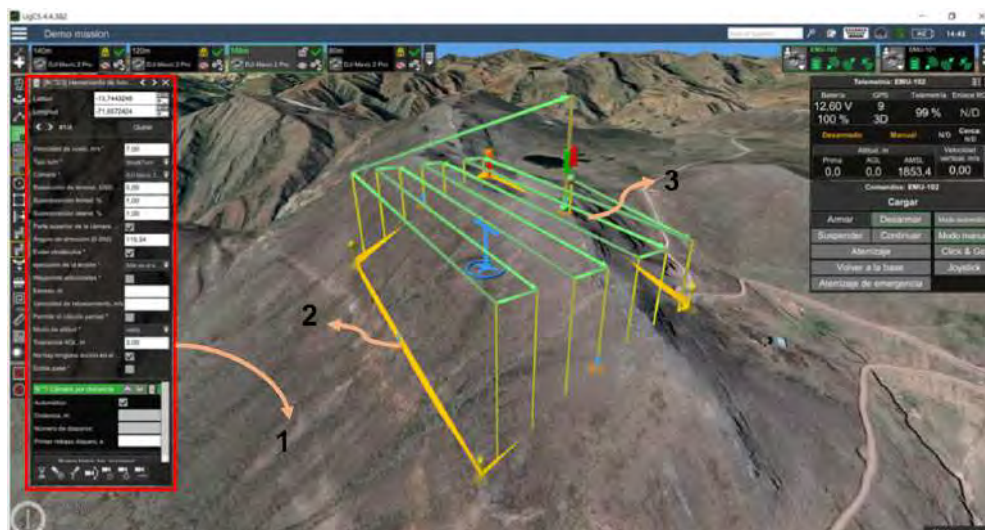
Para la programación de las misiones de vuelo se utilizó la versión de prueba gratuita del software UgCS, ver figuras 39 y 40. El programa consta de un paquete para escritorio que incorpora una interfaz capaz de cargar información satelital base en 3D alimentada por elevaciones del proyecto SRTM, es así que podemos programar vuelos tipo AGL y AMSL.

Figura 39:
Planificación de vuelos tipo AGL en la interfaz del software UgCS.



Nota: (1) Menú de misiones programadas, (2) Área de interés, (3) Líneas de vuelo, (4) Menú de de simulación de vuelo.

Figura 40:
Planificación de vuelos tipo AMSL en la interfaz del software UgCS.



Nota: (1) Herramientas de automatización de vuelo, (2) Área de interés, (3) Líneas de vuelo.

Finalmente, en la tabla 9 y 10 se muestran los parámetros usados para las misiones de cada escenario en análisis. Como se puede observar, la velocidad para las misiones del escenario 1, 2, 8 y 9 se redujeron a 3 m/s a fin de evitar errores sistemáticos, productos de la distorsión por movimiento o rolling shutter, esto implicó que el tiempo de las misiones se extendiera hasta 35 minutos en algunos escenarios, llegando a requerir hasta 3 cargas para cubrir toda la misión

Tabla 9:

Parámetros de vuelo para las misiones tipo AGL. El traslape utilizado tanto en overlap como en frontlap es de 75 %

Escenario	Elevación (m)	Velocidad (m/s)	GSD (cm/px)	Tiempo (min)	Número de vuelos	Número de imágenes
1	60	3	2.22	35	3	615
2	80	3	2.65	25	2	341
3	100	12	3.21	20	2	225
4	120	12	3.82	15	1	147
5	140	12	4.47	11	1	126
6	160	12	5.62	7	1	81
7	180	12	6.05	5	1	71

Tabla 10:

Parámetros de vuelo para las misiones tipo AMSL. El traslape utilizado tanto en overlap como en frontlap es de 75 %

Escenario	Elevación (m)	Velocidad (m/s)	GSD (cm/px)	Tiempo (min)	Número de vuelos	Número de imágenes
8	60	3	4.1	30	2	530
9	80	3	4.35	25	2	234
10	100	12	4.77	17	1	147
11	120	12	5.39	13	1	125
12	140	12	5.97	9	1	74
13	160	12	6.4	6	1	80
14	180	12	6.99	4	1	70

3.3.2. *Ejecución De Vuelos*

Para la ejecución de los vuelos, se colocaron dianas cuadradas de color blanco y negro enumeradas con yeso en los 15 puntos de georreferenciación a fin de que puedan ser reconocidos fácilmente en las fotografías desde el aire, ver figura 41.

Figura 41:

Dianas colocadas en los puntos de georreferenciación para la ejecución de vuelos.



Nota: Se muestra de ejemplo la colocación de la diana en el punto N°5 con su respectiva enumeración

Para llevar a cabo las misiones programadas, se utilizó el aplicativo android UgCS el cual requiere importar los parámetros previamente programados en la versión UgCS de escritorio. En la figura 42 podemos ver la interfaz del aplicativo en un Xiaomi Mi9, ejecutando la misión para el escenario 1.

Figura 42:
Ejecución de vuelo usando UgCS.



Nota: (1) Transmisión del RPA al control, (2) Panel de control de vuelo, (3) Ubicación del RPA, (4) Waypoint de la trayectoria de vuelo.

3.3.3. *Procesamiento Fotogramétrico*

El procesamiento fotogramétrico consistió en la generación de nubes de puntos (NDP), modelos digitales de elevación (DEM) y ortomosaicos usando el software PIX4D para los 14 escenarios en estudio. Los parámetros de entrada fueron las fotografías y los puntos de control tomados en campo.

Se asignó a cada escenario un número específico de PCT según la cantidad de fotografías (Sanz-Ablanedo et al., 2018) y según el área cubierta (Jiménez et al., 2017). La tabla 11 muestra la cantidad de PCT usados en cada escenario. Para el criterio de cantidad de fotografías se consideró usar 1 PCT por cada 50 fotografías (A), mientras que para el criterio de área cubierta se consideró 1 PCT por cada 3 hectáreas levantadas (B), de esta forma la cantidad de PCT de cada escenario corresponde al mayor número requerido entre (A) y (B).

Tabla 11:
Cantidad de PCT usados en cada escenario.

Escenario	Tipo de vuelo	Elevación (m)	PCT Según cantidad	PTC según área	Mayor entre (A) y (B)
			de fotogramas (A)	levantada (B)	
1	AGL	60	12.3	5	12
2	AGL	80	3.82	5	7
3	AGL	100	4.5	5	5
4	AGL	120	2.94	5	5
5	AGL	140	2.52	5	5
6	AGL	160	1.62	5	5
7	AGL	180	1.42	5	5
8	AMSL	60	10.6	5	11
9	AMSL	80	4.64	5	5
10	AMSL	100	2.94	5	5
11	AMSL	120	2.5	5	5
12	AMSL	140	1.48	5	5
13	AMSL	160	1.6	5	5
14	AMSL	180	1.4	5	5

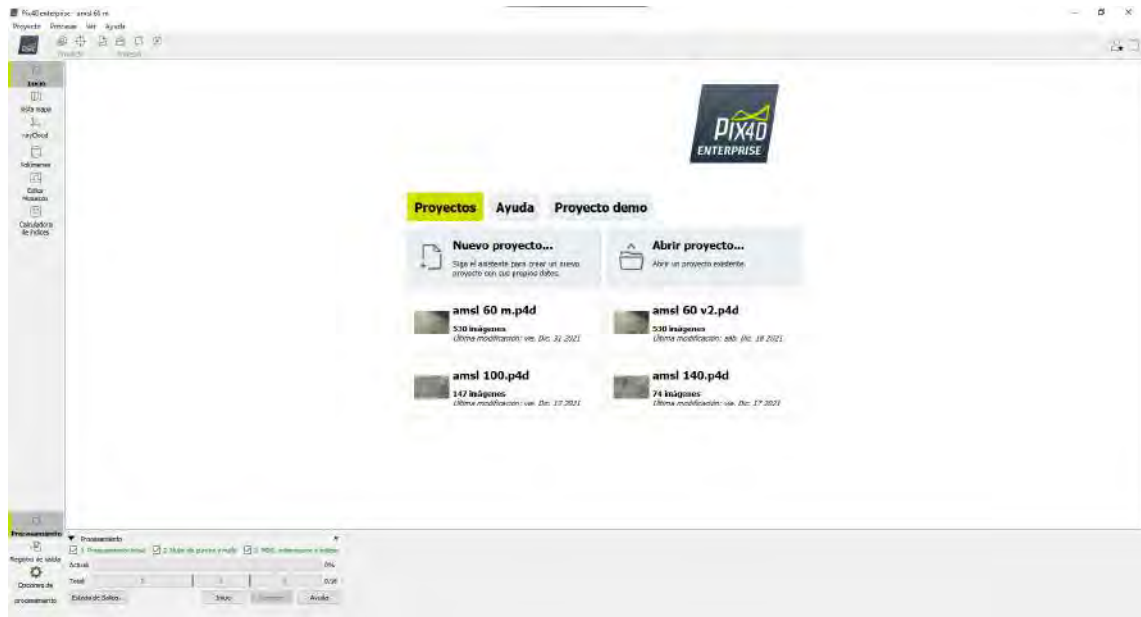
Finalmente los PCT utilizados se tomaron considerando una distribución espacial uniforme, el resto de puntos se utilizaron como PVT sobre los cuales se determinó el RMSE para cada escenario. En la tabla 12 se muestra los puntos de georreferenciación que fueron usados como PCT y PVT en cada escenario.

Tabla 12:
PCT y PVT utilizados en los diferentes escenarios

Escenario	PCT utilizados	PVT utilizados
1	P1, P3, P4, P5, P6, P7, P8 P10, P11, P12, P14, P15	P2, P9, P13
2	P1, P5, P6, P8, P10, P11, P15	P2, P3, P4, P7, P9, P12, P13, P14
3	P1, P5, P8, P11, P15	P2, P3, P4, P6, P7, P9, P10, P12, P13, P14
4	P1, P5, P8, P11, P15	P2, P3, P4, P6, P7, P9, P10, P12, P13, P14
5	P1, P5, P8, P11, P15	P2, P3, P4, P6, P7, P9, P10, P12, P13, P14
6	P1, P5, P8, P11, P15	P2, P3, P4, P6, P7, P9, P10, P12, P13, P14
7	P1, P5, P8, P11, P15	P2, P3, P4, P6, P7, P9, P10, P12, P13, P14
8	P1, P3, P4, P5, P6, P8, P10 P11, P12, P13, P15	P2, P7, P9, P14
9	P1, P5, P8, P11, P15	P2, P3, P4, P6, P7, P9, P10, P12, P13, P14
10	P1, P5, P8, P11, P15	P2, P3, P4, P6, P7, P9, P10, P12, P13, P14
11	P1, P5, P8, P11, P15	P2, P3, P4, P6, P7, P9, P10, P12, P13, P14
12	1, 5, 8, 11, 15	P2, P3, P4, P6, P7, P9, P10, P12, P13, P14
13	1, 5, 8, 11, 15	P2, P3, P4, P6, P7, P9, P10, P12, P13, P14
14	1, 5, 8, 11, 15	P2, P3, P4, P6, P7, P9, P10, P12, P13, P14

En base a los PCT establecidos para cada escenario, se realizó el procesamiento de los datos usando el software Pix4D que utiliza el algoritmo Structure from motion (sfm) y permite realizar el procedimiento de orientación interna y relativa de forma automática a través del cálculo de miles de tiepoint productos de la superposición de fotografías, los mismos que son orientados de forma absoluta mediante la referenciación de los PCTs la figura 43 muestra la interfaz principal de PIX4D.

Figura 43:
Interfaz principal de Pix4D



El procesamiento fotogramétrico empleado se divide en cuatro fases que se detallan a continuación:

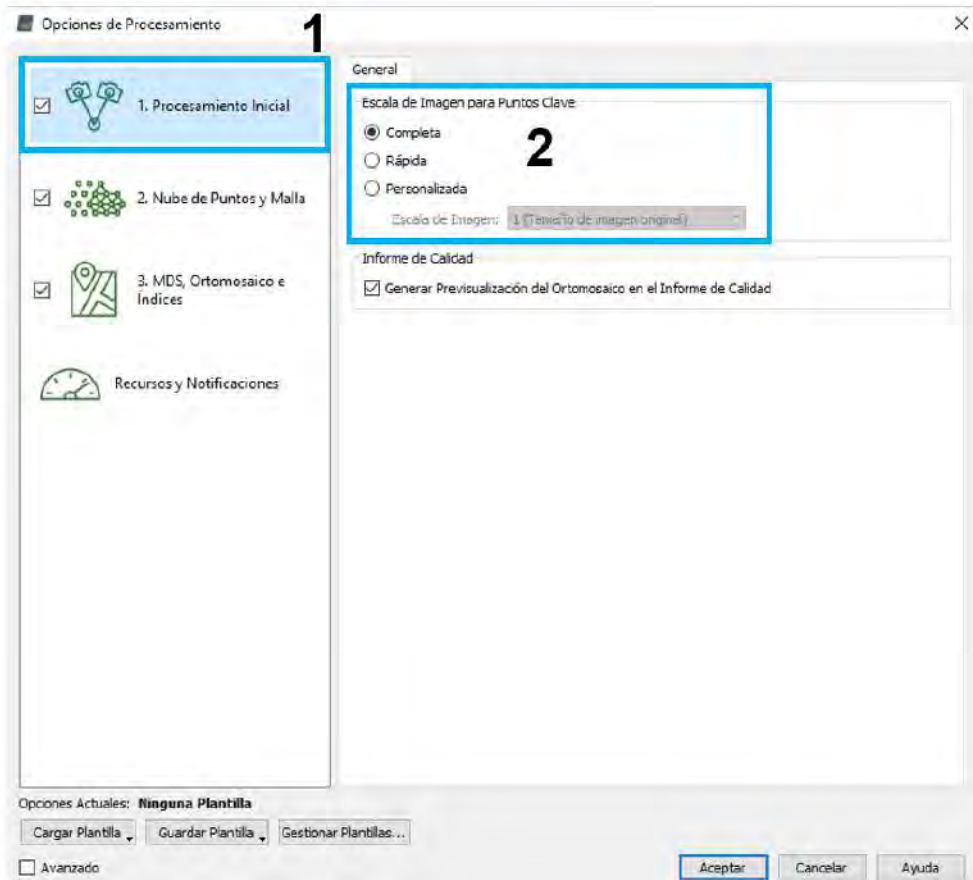
a. Fase 1: Procesamiento inicial.

La fase 1 consistió en realizar la orientación interna y la orientación relativa. Estos procesos se realizaron de forma automática a través del algoritmo sfm, asignando únicamente el parámetro de escala de la imagen, ver figura 44, para el presente estudio se aplicaron escalas de imagen completas en todos los escenarios.

Como ejemplo la figura 45, muestra un fragmento del reporte de calidad de Pix4D para el escenario 2 (AGL80), en donde se muestra como Pix4D a reconocido correctamente el modelo del sensor principal del Mavic 2 pro, así mismo muestra una variación de 2.37 % de los parámetros de la cámara optimizados respecto a los parámetros iniciales de la cámara, misma que es inferior al 5 % tolerado por Pix4D.

En la figura 46 se visualiza las posiciones iniciales de las cámaras iniciales en color azul y las posiciones optimizadas en color verde, así mismo se muestra la nube de tiepoints que son puntos característicos entre fotografías que Pix4D encontró con su algoritmo.

Figura 44:
Configuración para procesamiento inicial en Pix4D.



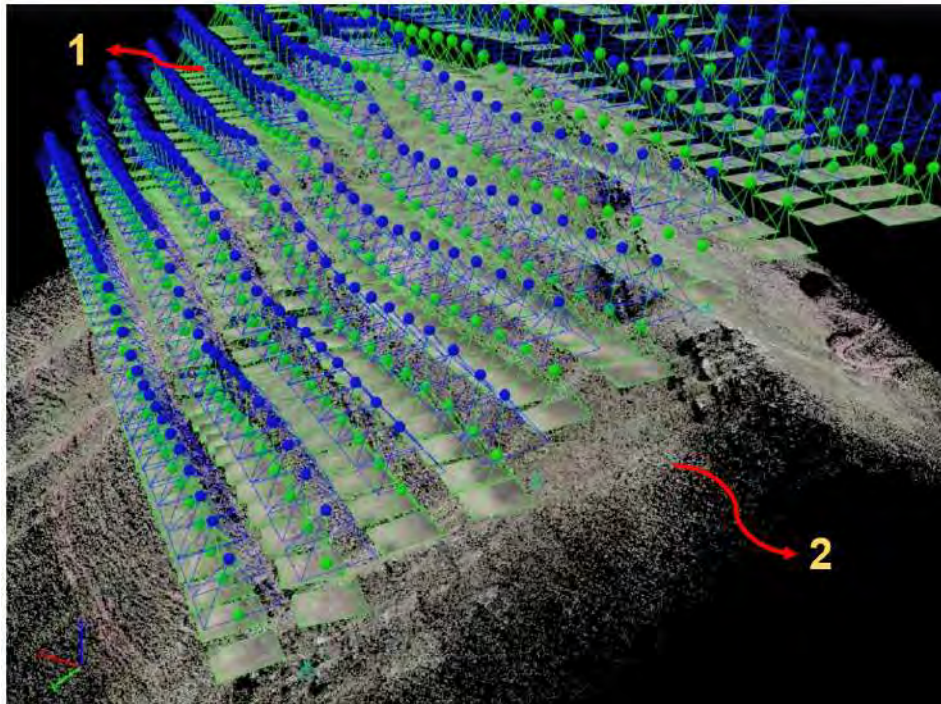
Nota: (1) Procesamiento inicial, (2) Escala de imagen completa para orientación relativa

Figura 45:
Reporte de calidad de Pix4D.

Summary		
Project	agl80v2	
Processed	2021-12-31 17:32:19	
Camera Model Name(s)	L1D-20e_10.3_5472x3648 (RGB)	
Average Ground Sampling Distance (GSD)	2.65 cm / 1.04 in	
Area Covered	0.244 km ² / 24.3852 ha / 0.09 sq. mi. / 60.2884 acres	

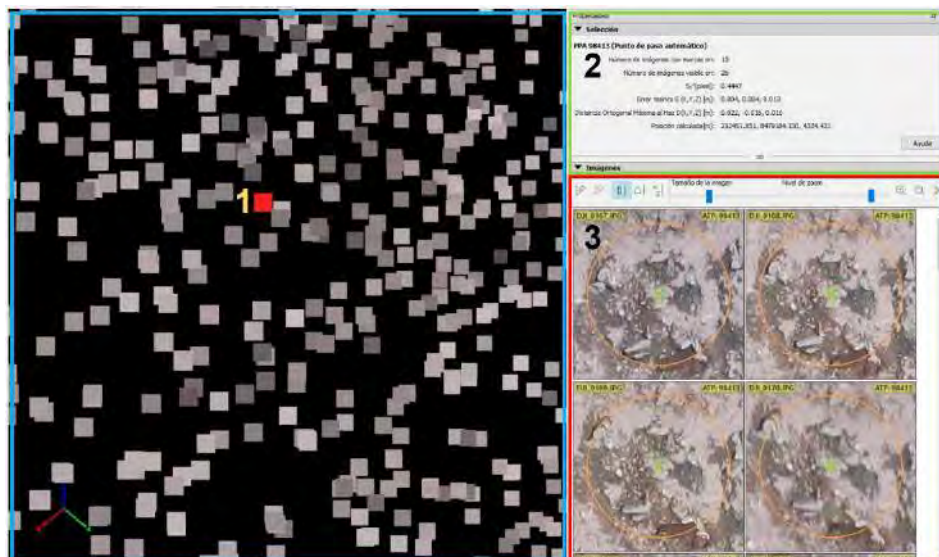
Quality Check		
Images	median of 74356 keypoints per image	✓
Dataset	341 out of 341 images calibrated (100%), all images enabled	✓
Camera Optimization	2.37% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
Matching	median of 32554.2 matches per calibrated image	✓
Georeferencing	yes, 7 GCPs (7 3D), mean RMS error = 0.007 m	✓

Figura 46:
Orientación interna y orientación relativa



Nota: (1) Posiciones de iniciales (azul) y optimizadas (verde) de las imágenes, (2) Nube de puntos característicos (homólogos) obtenidos por el algoritmo sfm de Pix4D.

Figura 47:
Orientación relativa



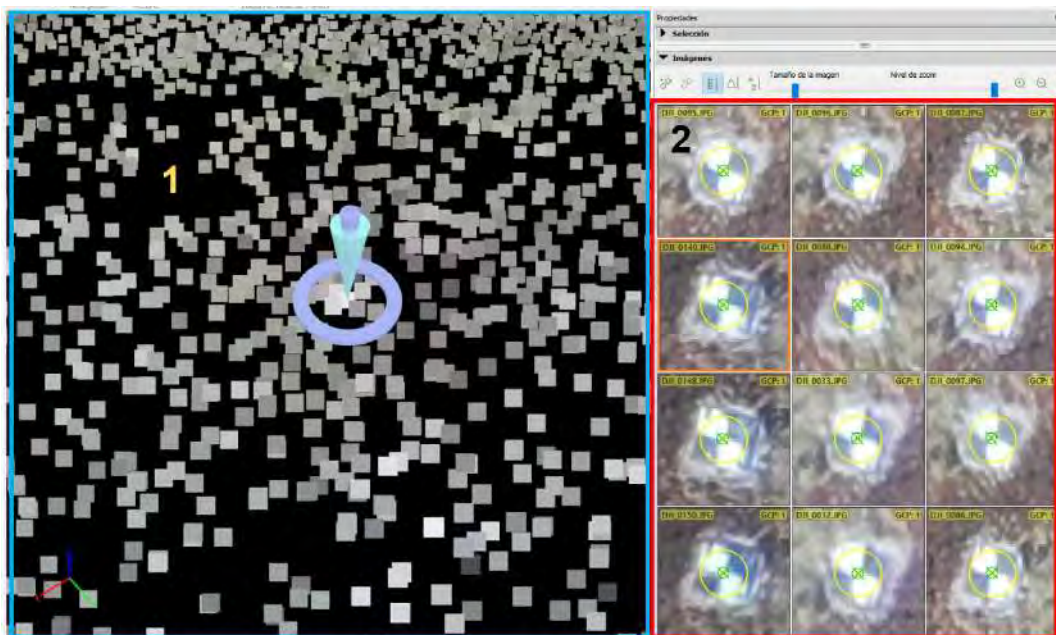
Nota:(1) Puntos homólogos (Tiepoint), (2) Datos del punto homologo, (3) Imágenes de proyección

En la figura 47 se visualiza la orientación relativa que realizó el software en el escenario AGL 80, en la parte izquierda se observa un fragmento de la nube de puntos homólogos, el punto de color rojo esta seleccionado y en la parte derecha se observa el panel de datos del punto en mención y las fotografías desde donde se reprojectan, se realizó la verificación en varios puntos aleatorios constatandose la correcta orientación relativa del modelo.

b. Fase 2: Colocación de PCT.

El proceso de colocación de PCT sirvió para realizar la orientación absoluta, esto se realizó insertando y ajustando manualmente los PTC sobre las fotografías donde aparecen cada uno de ellos, en la figura 48 se muestra el proceso de colocación manual de los PCT, en la derecha se observa las fotografías donde aparece la diana sobre la cual se ajusta la ubicación precisa de punto y en la izquierda se muestra la ubicación espacial del PCT dentro del modelo. Los PCT usados en cada escenario se detallaron en la tabla 12. Finalmente en la figura 49 se muestra a modo de ejemplo una vista en planta de la ubicación de las cámaras y la ubicación de todos los PTC utilizados en el escenario 8 AMSL 60m.

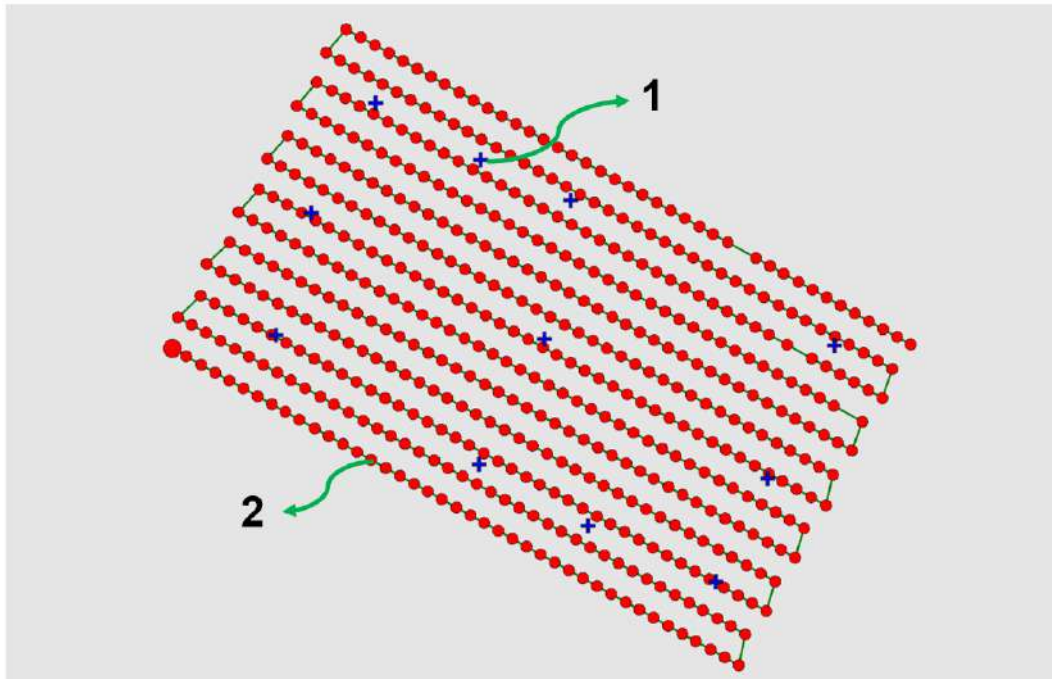
Figura 48:
Orientacion absoluta



Nota:(1) Puntos homólogos, (2) Imágenes que proyectan el punto de control terrestre

Figura 49:

Vista de mapa, se muestra la ubicación de las cámaras y los PCT.

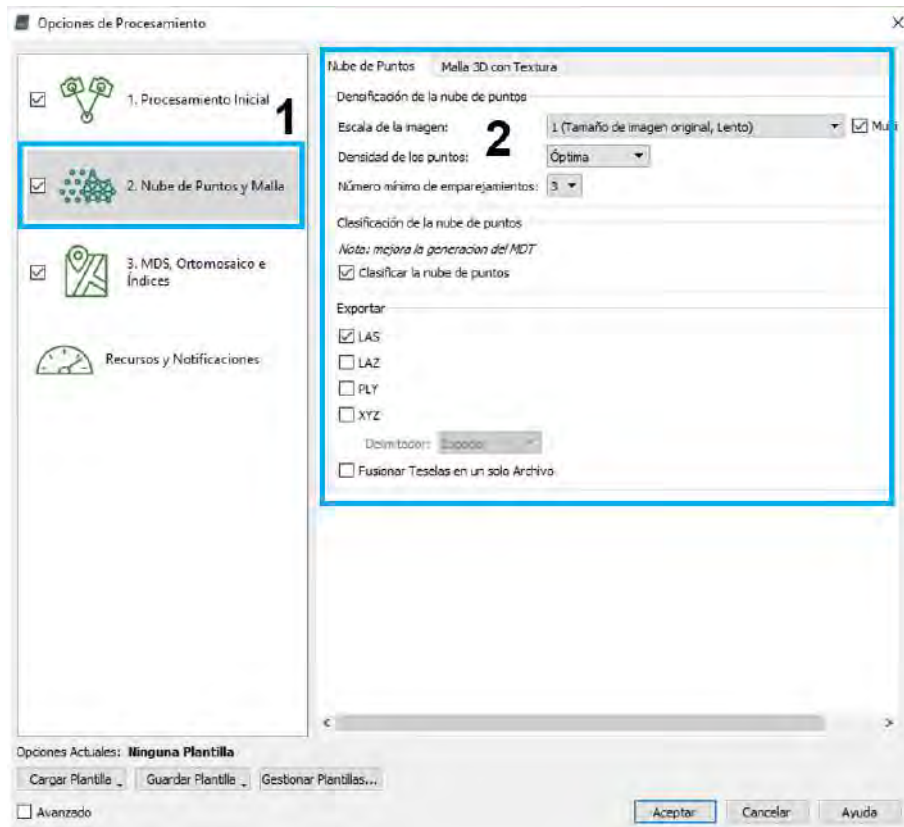


Nota: (1) Puntos de control terrestre, (2) Ubicación de imágenes

c. Fase 3: Nube de puntos y malla.

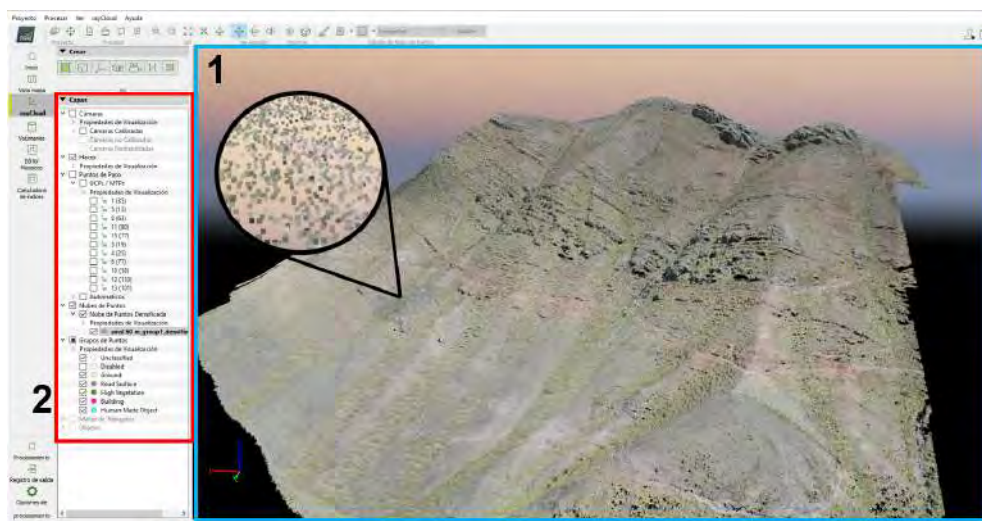
La fase 3 consistió en la densificación de la nube de puntos. La figura 50 muestra una captura de la interfaz del programa Pix4D para la creación de nube de puntos densa, todos los escenarios se realizaron bajo una configuración de escala de imagen en tamaño original a fin de obtener toda la información posible de las fotografías y generar una nube de puntos muy detallada tal como se muestra en la figura 51. Esta fue la fase más extensa del procesamiento, se llegó a requerir hasta 48 horas por cada escenario, cabe señalar que no se realizó el proceso de creación de malla debido a que se utilizó la nube de puntos densa clasificada para obtener el DEM y ortomosaico con la mayor calidad y precisión posible.

Figura 50:
Configuración para creación de nube de puntos en Pix4D.



Nota: (1) Proceso de creación de nube de puntos dense ,(2) Configuración de escala de imagen

Figura 51:
Nube de puntos densa del modelo.

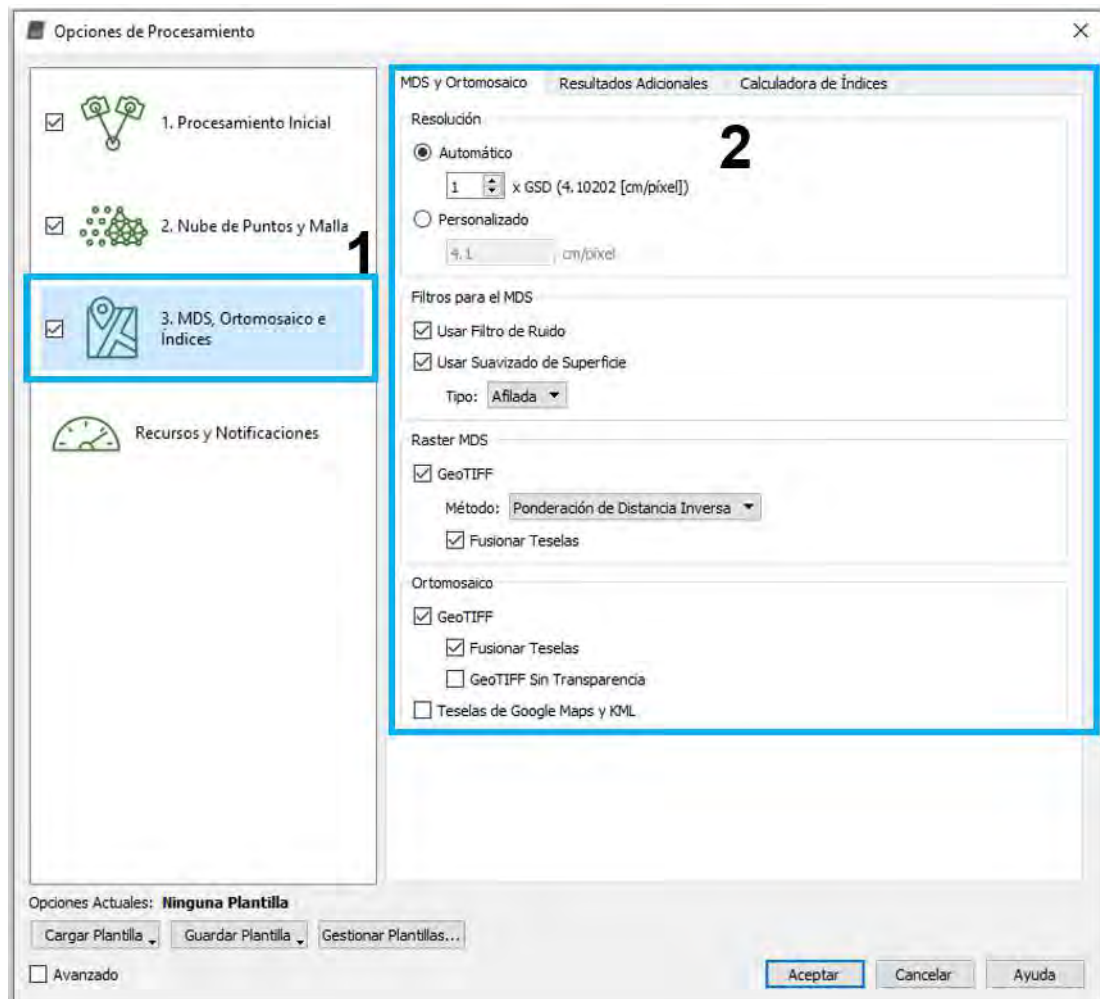


Nota: (1) Espacio de trabajo, (2) Barra de Capas

d. Fase 4: MDS, ortomosaico e índices.

La fase 4 consistió en la generación del modelo digital de elevación (DEM) y el ortomosaico tomando como base la información espacial de la nube de puntos densa. La figura 52 muestra los parámetros de configuración para la generación de estos productos, donde el parámetro principal es el GSD, usándose para todos los escenarios la máxima resolución posible en base a la calidad de las imágenes de cada escenario. La figura 53 muestra el modelo digital de elevación típico para la zona en estudio correspondiente en ese caso al escenario de procesamiento 8, así mismo en la figura 54 se puede apreciar el ortomosaico generado en base a la información espacial aportada por el DEM.

Figura 52:
Configuración para creación DEM y ortomosaico en Pix4D.



Nota: (1) Proceso de creación de MDS y ortomosaico, (2) Configuración de resolución de MDS y ortomosaico.

Figura 53:

Modelo digital de elevación de la zona de estudio para el escenario 8, generado en Pix4D.

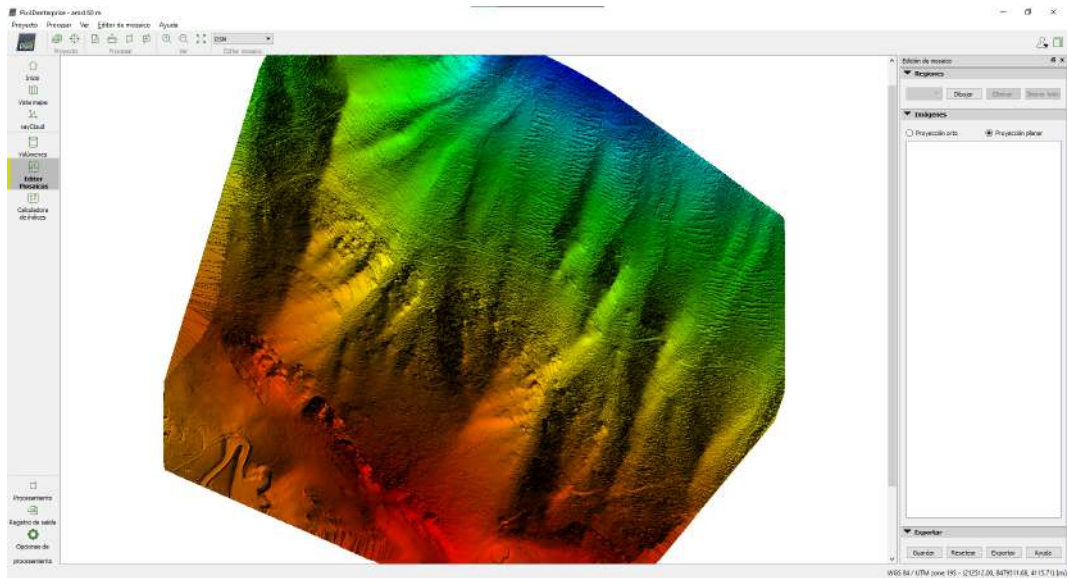
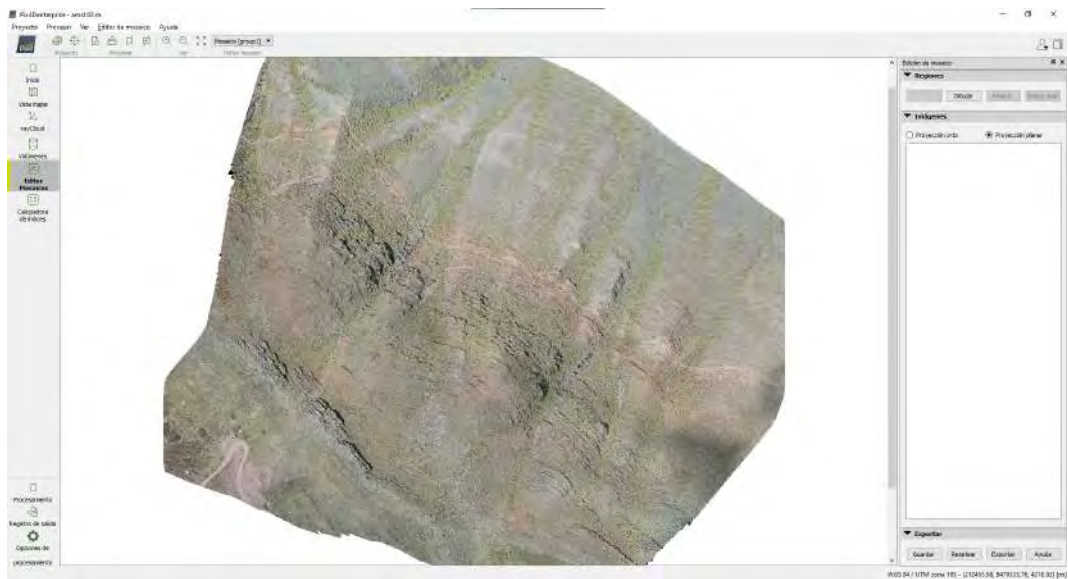


Figura 54:

Ortomosaico de la zona de estudio para el escenario 8, generado en Pix4D.



Finalmente se exportaron todos los, DEM y ortomosaicos de cada escenario para su análisis en el paquete Qgis y excel. Los reportes de procesamiento de cada escenario están adjuntos en el anexo 04.

Capítulo 4. Desarrollo De Cálculos E Interpretación De Resultados

4.1. Determinación De RMSE

El proceso de determinación del RMSE se realizó de 4 pasos descritos a continuación:

Paso 1: Sobre los ortomosaicos extraídos del proceso fotogramétrico para cada uno de los 14 escenarios se geolocalizaron las dianas colocadas en los puntos de georreferenciación y se colocó un punto sobre el centro de dicha diana. Todo este proceso se realizó en el Software open source QGIS 3.18.

EL archivo del ortomosaico se trabajó con extensión .tiff, mientras que el grupo de puntos para cada escenario ubicado en el centro de cada diana tiene la extensión .shp.

En la figura 55 se puede observar el punto P-2 sobre la diana del ortomosaico AGL 60 (escenario 1). de igual manera se realizó la geolocalización de todos las dianas para cada uno de los escenarios.

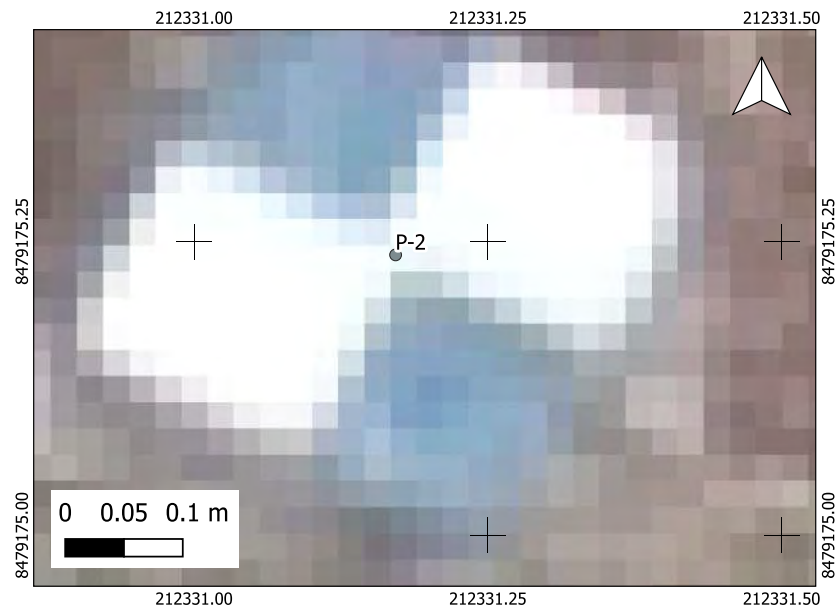
Figura 55:

Ubicación del punto P-2 sobre la diana del Ortomosaico AGL 60



Paso 2: Una vez geolocalizada todas las dianas en cada uno de los escenarios y haber representado el centro de la diana mediante puntos, se procedió a determinar el valor de la coordenada z. Para lo cual se utilizó el modelo digital de elevación obtenido del proceso fotogramétrico. En la figura 56 se observa el arreglo matricial de pixeles del modelo digital de elevación, en el cual cada pixel representa el valor de elevación.

Figura 56:
Determinación del valor de elevación para cada PCT y PVT



El valor de elevación de cada punto se asignó de acuerdo al pixel de coincidencia del modelo digital de elevación correspondiente. En el caso de la figura 56 al punto P-2 se asignó el valor de 4354.392 m.

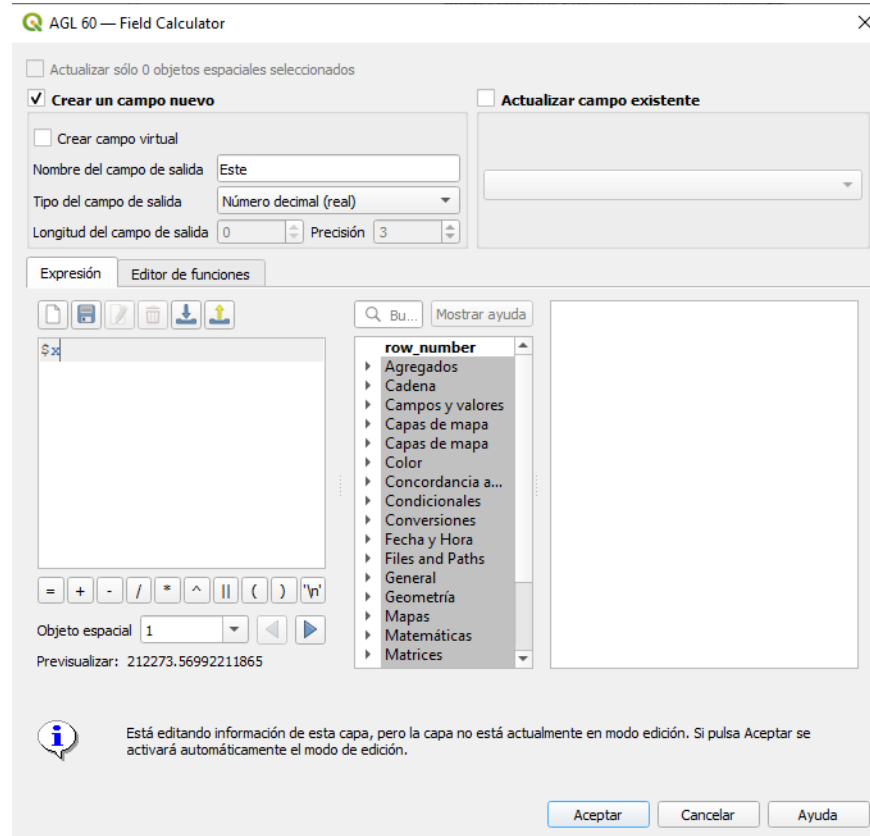
En total se tuvieron que asignar el valor de elevación a 210 puntos (15 puntos y 14 escenarios). Para optimizar el proceso de asignación de elevación en los puntos se utilizó el complemento Point Samplig Tool, que se puede encontrar dentro de la pestaña “Administrar e instalar complementos” del software QGIS 3.18. Este complemento asigna de manera automática el valor del pixel al punto superpuesto.

Paso 3: Posteriormente se obtuvo el valor de la coordenada este y norte. para lo cual se utilizó la calculadora de campos del software QGIS 3.18. El comando para la determinación de

las coordenadas este y norte son x y y respectivamente. En la figura 57 se muestra el proceso para obtener el valor de la coordenada este y norte a través de la calculadora de campos.

Figura 57:

Determinación de las coordenadas horizontales en el software QGIS 3.18



Paso 4: Con las coordenadas obtenidas en los pasos anteriores, se procedió a determinar el RMSE en los componentes x y y z

Para obtener el valor del RMSE se utilizó la ecuación (4)

$$RMSE_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e_{xi})^2}{n}} \quad (4)$$

Donde: e_{xi} = Error en el componente m del punto i

n = Cantidad de puntos

$RMSE_m$ = Error medio cuadrático en el componente m ($m = X, Y, Z$)

En la tabla 13 se puede observar como x, y, z los valores obtenidos del proceso de geolo-

calización de los centros de las dianas. mientras que xr, yr, zr se observa los valores asumidos como reales obtenidos del procesamiento de línea base. Además en la columna tipo se observa la designación del punto (PCT o PVT). A partir de estos valores para cada caso se obtiene la diferencia entre el valor real y el valor observado, esto nos da el valor del error en cada uno de los puntos. posteriormente se obtiene el valor de RMSE con la ecuación (4).

Finalmente, la tabla 14 y 15 muestra los RMSE de cada escenario en los ejes X, Y, Z, H (plano XY) y T (espacio XYZ o total) calculados en base a los PVT y PCT respectivamente, así mismo la tabla 16 muestra los RMSE en relación a su GSD, para estimar la exactitud en base a este parámetro.

Tabla 13:
Valor calculado y valor real de los 15 puntos en el tipo de vuelo AGL 60 (escenario 1)

N° de diana	x (m)	y (m)	z (m)	Tipo	xr (m)	yr (m)	zr (m)
1	212273.57	8479218.59	4336.45	PCT	212273.56	8479218.58	4336.49
2	212331.17	8479175.24	4354.39	PVT	212331.14	8479175.26	4354.4
3	212429.74	8479122.14	4366.67	PCT	212429.75	8479122.14	4366.7
4	212513.58	8479076.44	4351.44	PCT	212513.58	8479076.42	4351.4
5	212611.71	8479035.03	4374.78	PCT	212611.7	8479035.03	4374.8
6	212299.48	8479311.74	4291.64	PCT	212299.49	8479311.7	4291.61
7	212372.57	8479260.71	4285.65	PCT	212372.57	8479260.7	4285.71
8	212478.64	8479217.96	4308.22	PCT	212478.65	8479217.97	4308.28
9	212588.53	8479156.37	4300.74	PVT	212588.52	8479156.35	4300.84
10	212650.36	8479113.82	4314.81	PCT	212650.37	8479113.81	4314.8
11	212347.75	8479395.72	4236.88	PCT	212347.74	8479395.71	4236.9
12	212428.39	8479353.58	4215.18	PCT	212428.4	8479353.57	4215.22
13	212497.56	8479323.49	4228.87	PVT	212497.58	8479323.5	4228.92
14	212610.77	8479245.55	4224.1	PCT	212610.77	8479245.55	4224.09
15	212700.41	8479215.42	4231.33	PCT	212700.41	8479215.42	4231.37

Tabla 14:*RMSE (m) en los ejes X, Y, Z, H (XY) y T (XYZ) para cada escenario en los PVT*

Escenario	TIPO	RMSE X	RMSE Y	RMSE H	RMSE Z	RMSE T
		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1	AGL 60	0.025	0.017	0.031	0.067	0.073
2	AGL 80	0.03	0.015	0.033	0.081	0.087
3	AGL 100	0.019	0.02	0.027	0.064	0.069
4	AGL 120	0.035	0.03	0.046	0.079	0.092
5	AGL 140	0.031	0.03	0.044	0.071	0.084
6	AGL 160	0.035	0.035	0.049	0.098	0.109
7	AGL 180	0.038	0.026	0.046	0.11	0.119
8	AMSL 60	0.02	0.012	0.023	0.034	0.041
9	AMSL 80	0.014	0.025	0.028	0.074	0.079
10	AMSL 100	0.016	0.025	0.029	0.068	0.074
11	AMSL 120	0.021	0.03	0.036	0.065	0.074
12	AMSL 140	0.023	0.034	0.041	0.08	0.09
13	AMSL 160	0.024	0.036	0.043	0.066	0.079
14	AMSL 180	0.034	0.028	0.044	0.074	0.086

Tabla 15:*RMSE (m) en los ejes X, Y, Z, H (XY) y T (XYZ) para cada escenario en los PCT*

Escenario	TIPO	RMSE X	RMSE Y	RMSE H	RMSE Z	RMSE T
		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1	AGL 60	0.008	0.014	0.016	0.036	0.039
2	AGL 80	0.01	0.008	0.012	0.028	0.03
3	AGL 100	0.017	0.013	0.022	0.036	0.042
4	AGL 120	0.012	0.009	0.015	0.037	0.04
5	AGL 140	0.015	0.012	0.02	0.048	0.052
6	AGL 160	0.022	0.015	0.027	0.051	0.058
7	AGL 180	0.017	0.02	0.027	0.054	0.06
8	AMSL 60	0.015	0.009	0.017	0.034	0.038
9	AMSL 80	0.018	0.016	0.024	0.03	0.038
10	AMSL 100	0.018	0.015	0.023	0.03	0.038
11	AMSL 120	0.031	0.023	0.039	0.041	0.056
12	AMSL 140	0.014	0.012	0.018	0.032	0.037
13	AMSL 160	0.021	0.016	0.027	0.02	0.033
14	AMSL 180	0.013	0.028	0.03	0.034	0.046

Tabla 16:
Relación RMSE/GSD para cada escenario en PVT

Escenario	Tipo	GSD	RMSE_H	RMSE_V	RMSE_T
		(cm/px)	/GSD	/GSD	/GSD
1	AGL 60	2.22	1.376	3.001	3.302
2	AGL 80	2.66	1.248	3.038	3.285
3	AGL 100	3.21	0.85	1.99	2.164
4	AGL 120	3.82	1.2	2.074	2.396
5	AGL 140	4.47	0.978	1.597	1.873
6	AGL 160	5.62	0.874	1.736	1.944
7	AGL 180	6.05	0.763	1.816	1.97
8	AMSL 60	4.1	0.565	0.821	0.997
9	AMSL 80	4.35	0.655	1.702	1.823
10	AMSL 100	4.77	0.616	1.427	1.555
11	AMSL 120	5.39	0.675	1.203	1.379
12	AMSL 140	5.97	0.687	1.334	1.501
13	AMSL 160	6.4	0.67	1.037	1.235
14	AMSL 180	6.99	0.631	1.053	1.227

4.2. Desarrollo de la validación estadística

Para establecer si existe una correlación lineal entre la exactitud y la altura de vuelo de levantamientos fotogramétricos con RPAS en terrenos empinados se determino el coeficiente de correlación “r” en base a la ecuación 5, luego se aplicaron las pruebas estadísticas de “t” student y “r” de Pearson al conjunto de datos conformado por las alturas de vuelo y los RMSE de los 14 escenarios tal como se muestran en las tabla 17.

$$r = \frac{n \cdot \sum xy - \sum x \cdot \sum y}{\sqrt{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2} \cdot \sqrt{n \cdot \sum y^2 - (\sum y)^2}} \quad (5)$$

Siendo:

r = coeficiente de correlación.

x = variable independiente (Altura de vuelo).

y = variable dependiente (RMSE).

n = número de datos (Escenarios).

- Método 1: El estadístico de prueba t-student.

Para realizar la prueba de t-student se determinó el valor t en base a la ecuación 6, luego se comparo con el valor critico (VCt) obtenido en función al numero de datos y el nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

Valores críticos: Tabla de distribución t.

Grados de libertad: $n-2$.

$$t = \frac{r}{\sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}} \quad (6)$$

Conclusión:

Si: $|t| >$ valor crítico, rechace H_0 , Concluye que hay una relación lineal.

Si: $|t| \leq$ valor crítico, no rechace H_0 .

- Método 2: El estadístico de prueba $r - Pearson$

Para realizar la prueba de r-Pearson se comparó el valor r calculado de la ecuación 5, con el valor critico (VCr) obtenido en función al numero de datos y el nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

Estadístico de prueba: r

Valores críticos: Tabla V. C. del coeficiente de correlación r de pearson.

Conclusión

Si: $|r| >$ valor crítico, rechace H_0 , Concluye que hay una relación lineal.

Si: $|r| \leq$ valor crítico, no rechace H_0 .

Tabla 17:
cálculo del coeficiente de correlación “r” para todos los RMSE

X	Y	XY	X2	Y2
60	0.039	2.34	3600	0.002
80	0.03	2.4	6400	0.001
100	0.042	4.2	10000	0.002
120	0.04	4.8	14400	0.002
140	0.052	7.28	19600	0.003
160	0.058	9.28	25600	0.003
180	0.06	10.8	32400	0.004
60	0.038	2.28	3600	0.001
80	0.038	3.04	6400	0.001
100	0.038	3.8	10000	0.001
120	0.056	6.72	14400	0.003
140	0.037	5.18	19600	0.001
160	0.033	5.28	25600	0.001
180	0.046	8.28	32400	0.002
1680	0.607	75.68	224000	0.027495

Tabla 18:
Resultados valores críticos para pruebas de hipótesis

r	t	VCt	VCr
0.553	2.3	2.18	0.532

Tabla 19:
Conclusion de prueba de Hipótesis

t-Student	r-Pearson
Rechazar H0	Rechazar H0

4.3. Análisis De Resultados

El análisis y discusión de los resultados, se realizo poniendo en comparación el RMSE en función de distintos criterios descritos a continuación

I. El RMSE en función al tipo de punto de apoyo

Los resultados mostrados en la tabla 14 y 15 están ilustrados a continuación: las figuras 58, 59, 60, 61, 62 corresponden al RMSE de cada eje coordenado calculados en los PVT, mientras que las figuras 63, 64,65, 66, 67 corresponden a los RMSE calculados en los PCT. La figura 62 muestra los RMSE totales en cada escenario calculado en los PVTs, se observa que el máximo RMSE obtenido es de 11.9 cm y corresponde al escenario 7 (AGL 180), por otro lado la figura 67, muestra los RMSE totales de cada escenario calculados en los PCTs y se observa que el máximo RMSE es de 6cm y corresponde al mismo escenario.

Al respecto se puede observar que existe una clara diferencia en cuanto al modulo de RMSE obtenido en cada caso, siendo los RMSE calculados en los PVT siempre mayores a los calculados en los PCT hasta en 2 veces, lo que significa que presentar resultados de RMSE calculados en PCT, sobreestima la exactitud real de un modelo fotogramétrico.

Figura 58:
RMSE en el eje X para los escenarios AGL y AMSL en los PVT

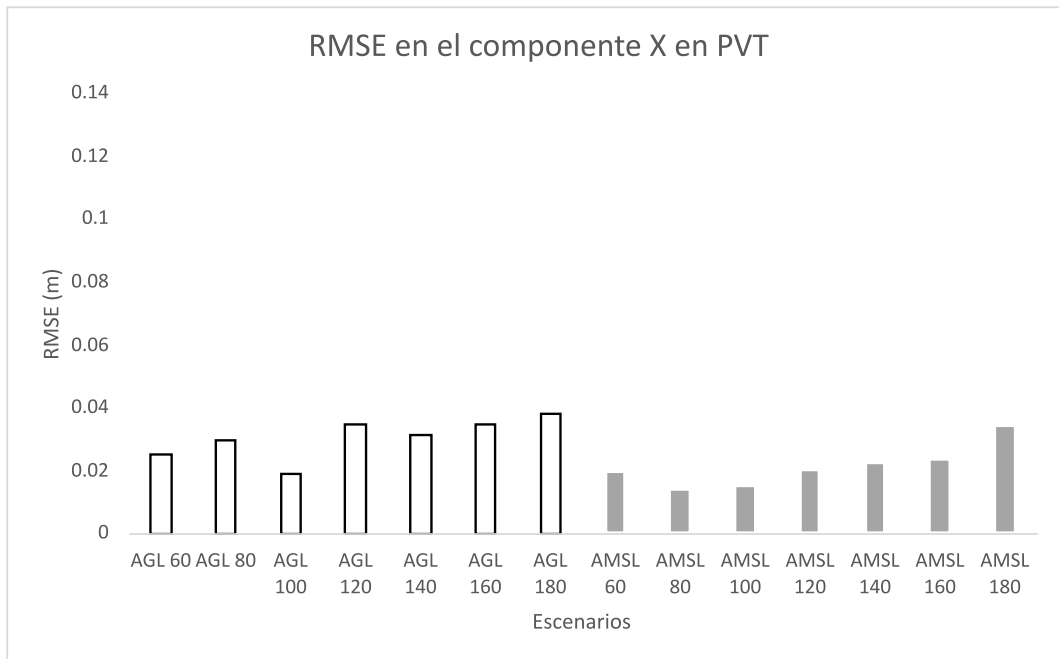


Figura 59: *RMSE en el eje Y para los escenarios AGL y AMSL en los PVT*

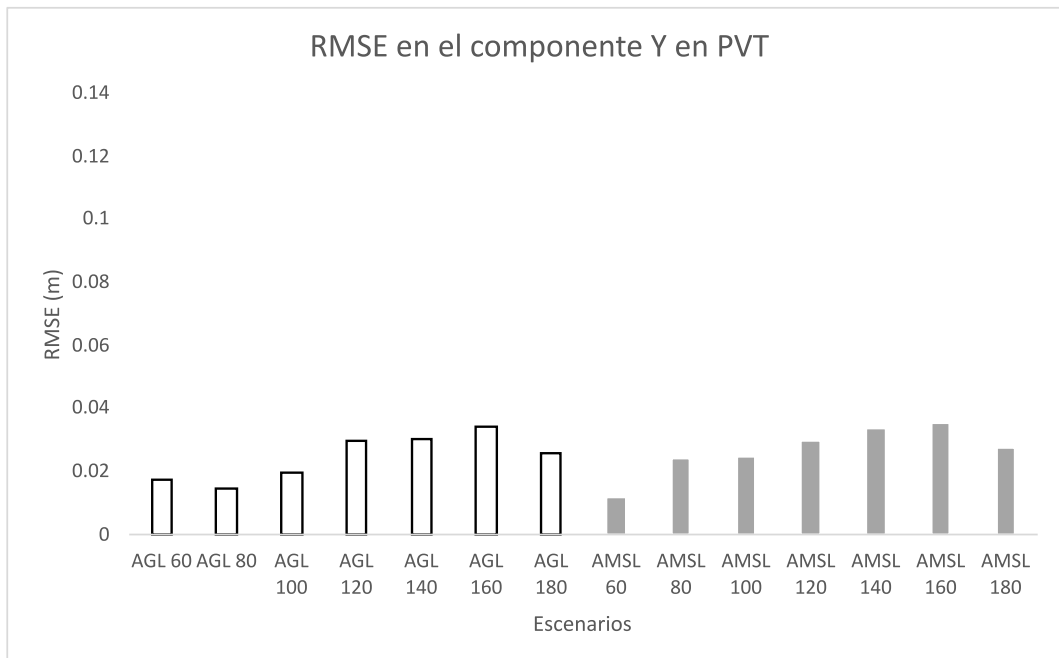


Figura 60:
RMSE en el eje Z para los escenarios AGL y AMSL en los PVT

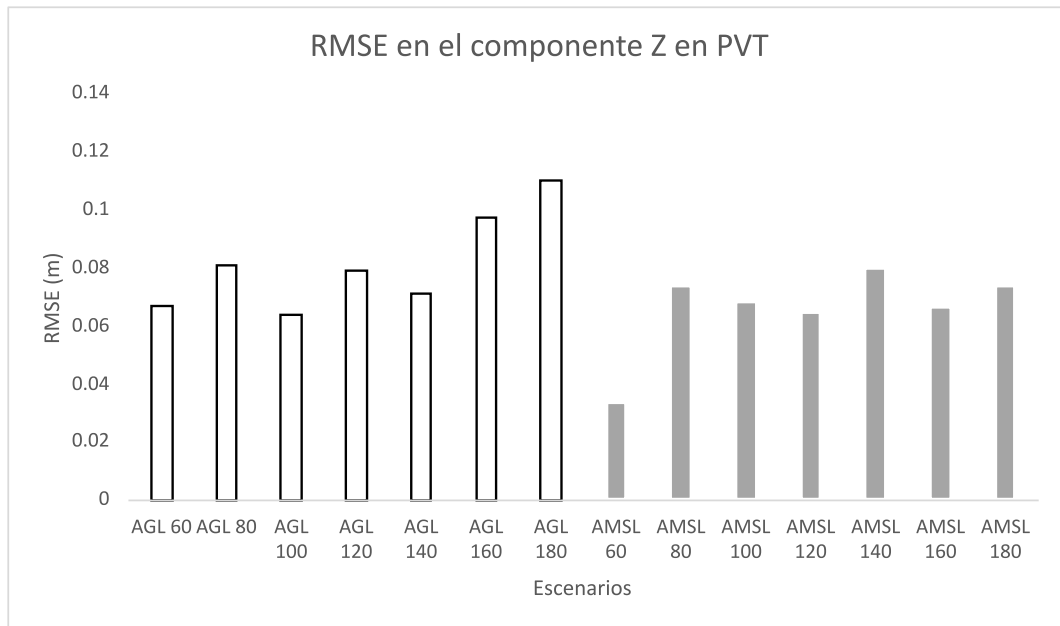


Figura 61:
RMSE en el eje horizontal H (XY) para los escenarios AGL y AMSL en los PVT

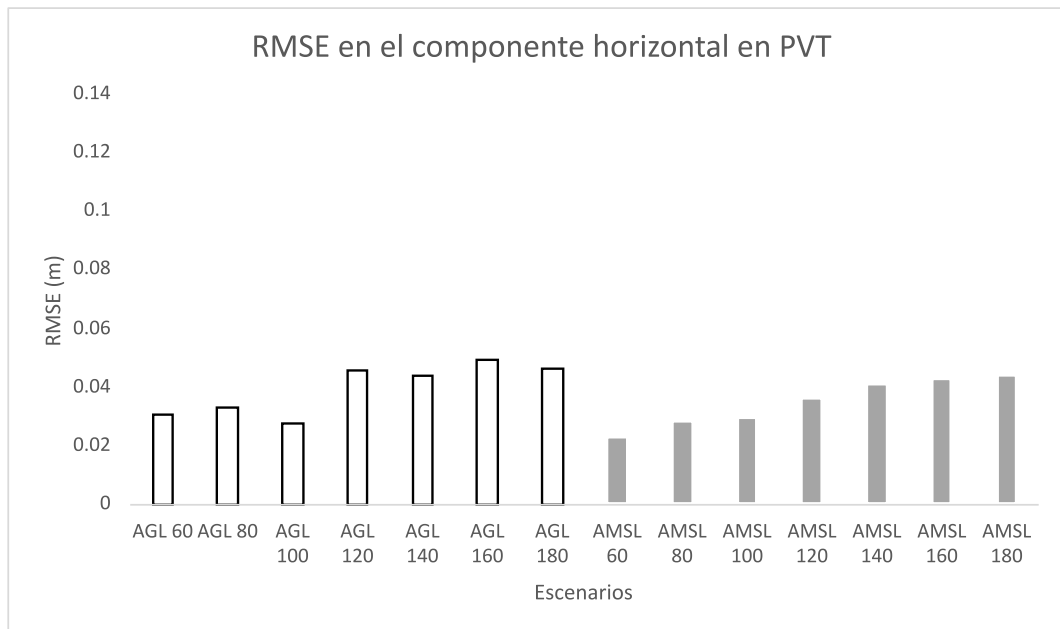


Figura 62:
RMSE total T (XYZ) para los escenarios AGL y AMSL en los PVT

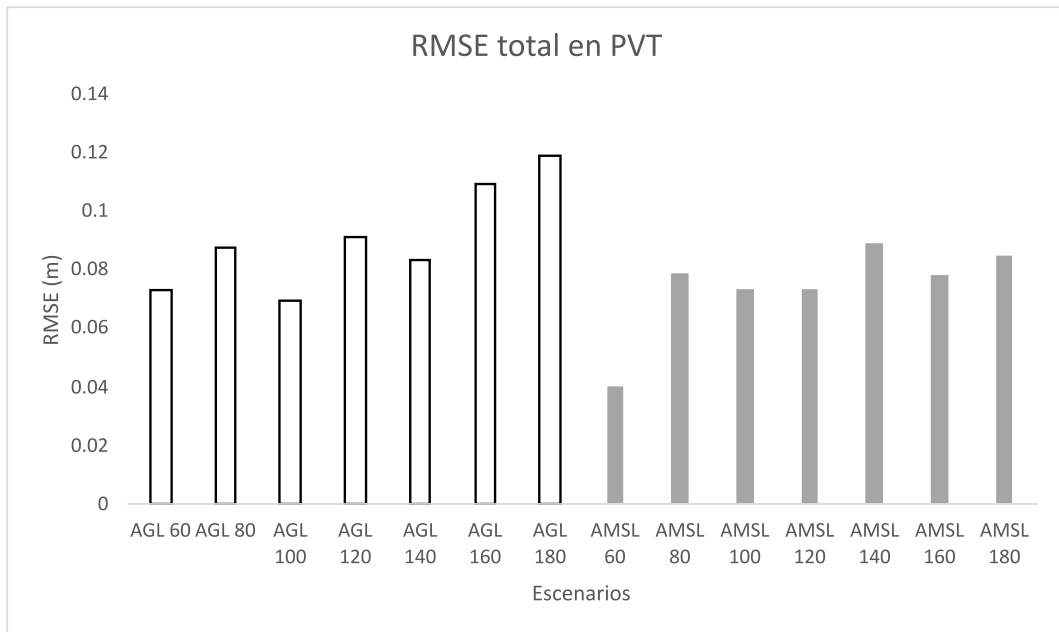


Figura 63:
RMSE en el eje X para los escenarios AGL y AMSL en los PCT

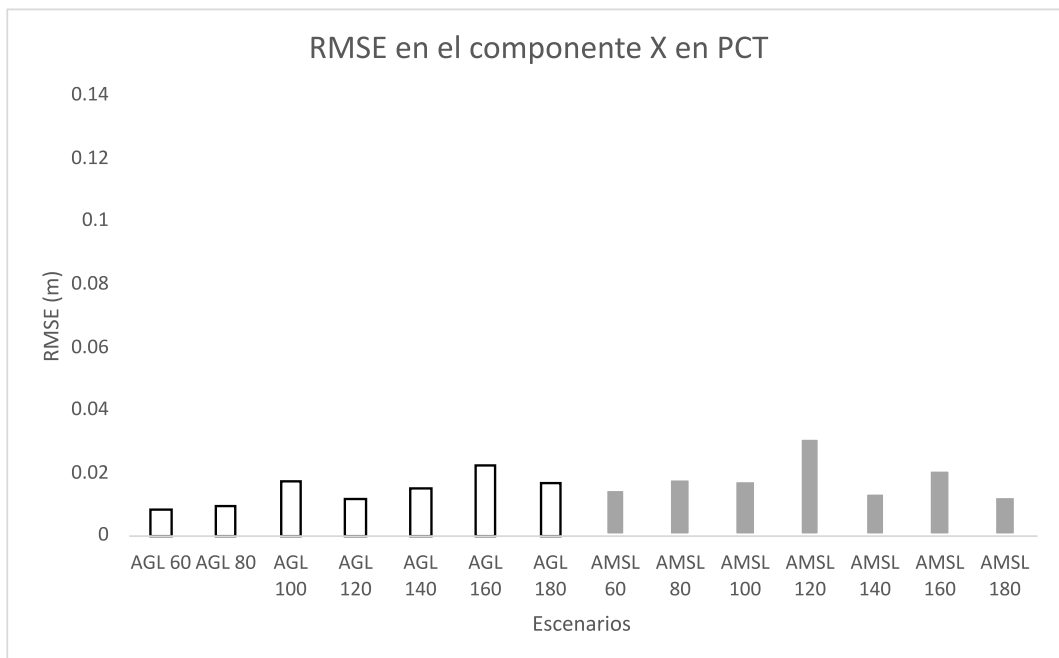


Figura 64:
RMSE en el eje Y para los escenarios AGL y AMSL en los PCT

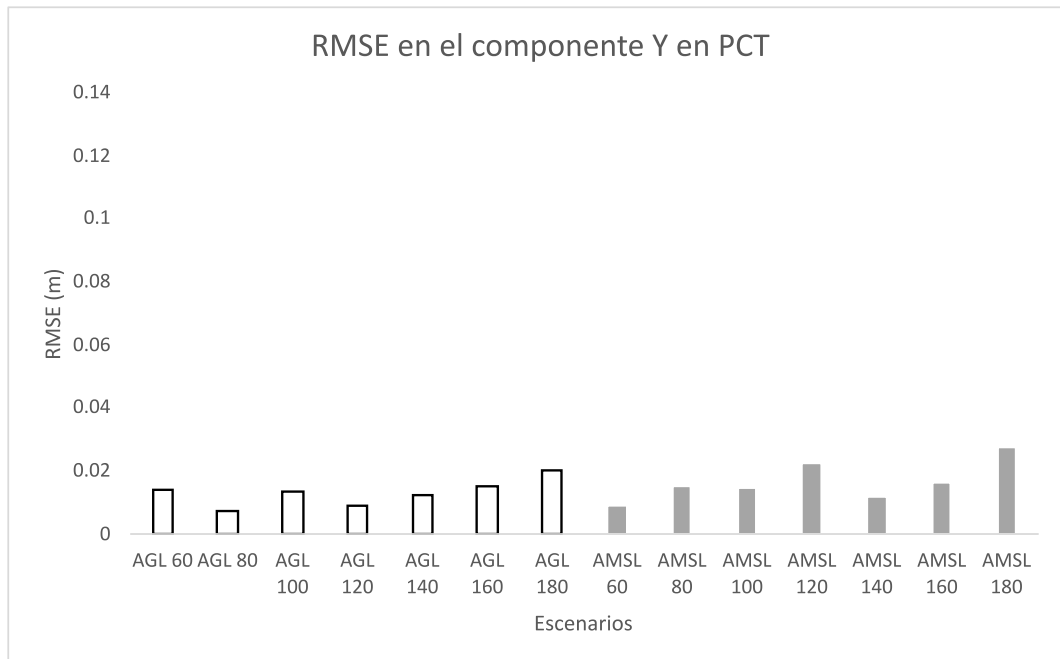


Figura 65:
RMSE en el eje Z para los escenarios AGL y AMSL en los PCT

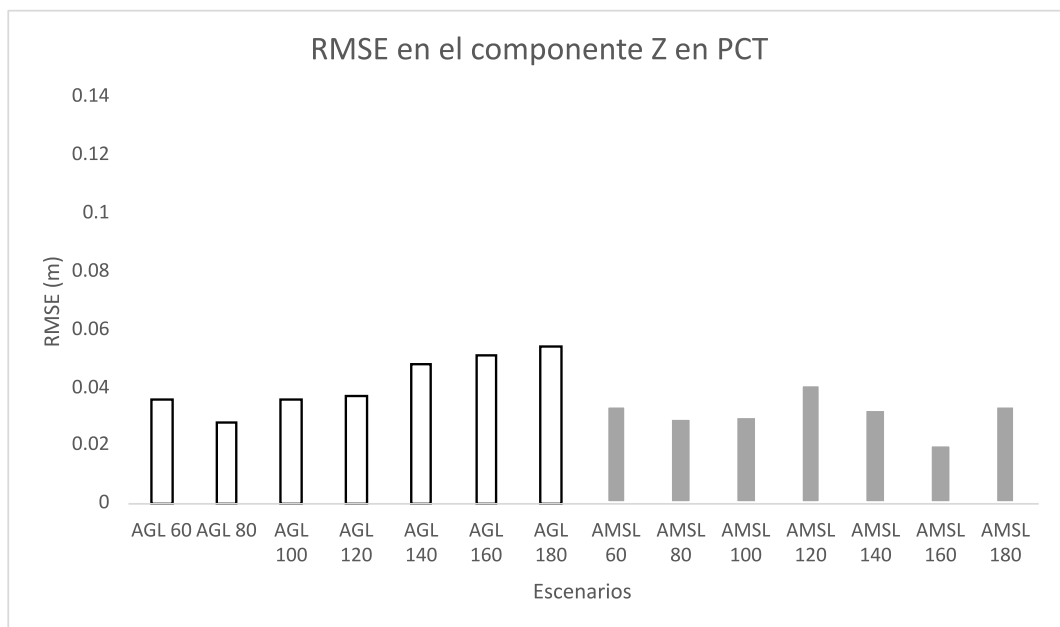


Figura 66:
RMSE en el eje horizontal H (XY) para los escenarios AGL y AMSL en los PCT

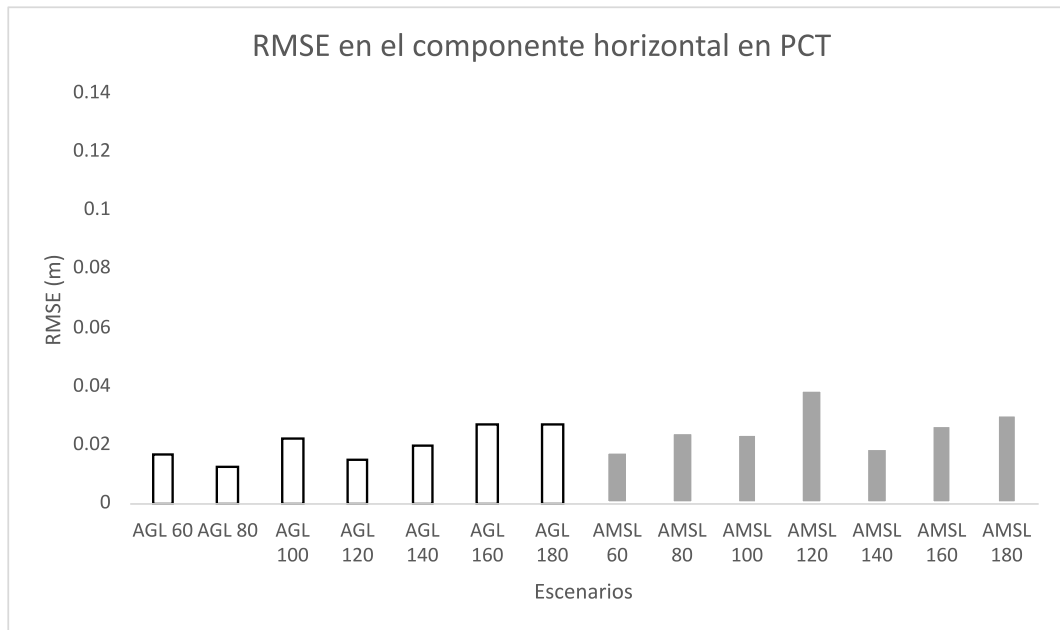
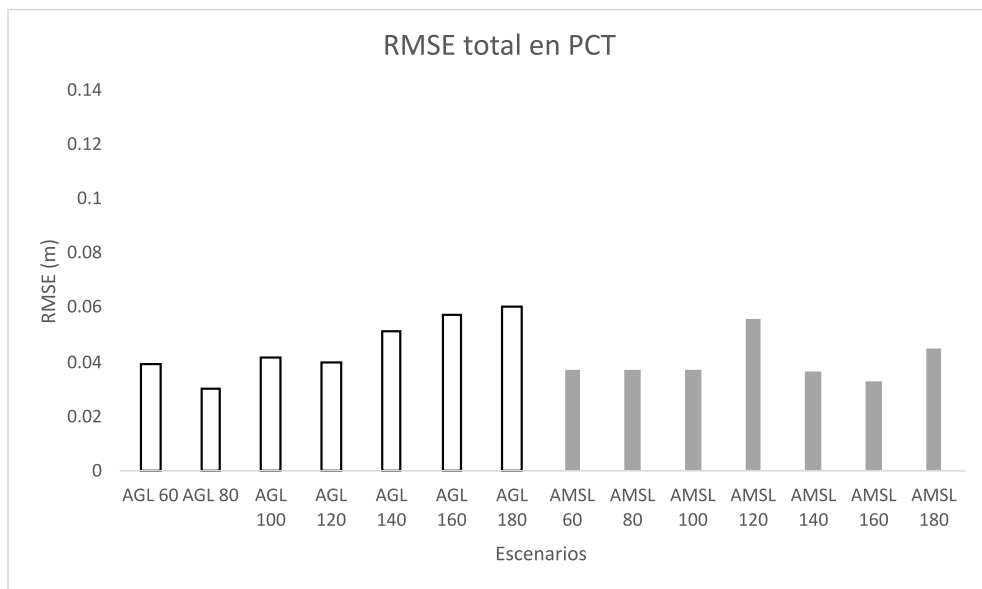


Figura 67:
RMSE total T (XYZ) para los escenarios AGL y AMSL en los PCT



II. El RMSE en el eje horizontal y vertical

Al analizar las figuras 61 y 62 se puede contrastar que existe una marcada diferencia de los RMSE calculados en planimetría y altimetría. Para comparar estos resultados se ha dividido los RMSE de todo los escenarios entre su GSD promedio, los resultados están descritos en la tabla 16 y se ilustran en las figuras 68 y 69, de esta manera podemos expresar el RMSE de cada escenario en función a su GSD a través del índice $RMSE/GSD$, que nos represente cuantas veces GSD es el RMSE en cada escenario. Es así para el caso particular de nuestra zona de estudio, notamos que el mayor RMSE encontrado en planimetría corresponde al escenario 01 (AGL60m) con un modulo de 1.376 GSD, así mismo el menor RMSE encontrado en planimetría corresponde al escenario 8 (AMSL60) con un valor de 0.565 GSD (ver tabla 16 y figura 68), por otro lado vemos que el mayor RMSE en altimetría corresponde al escenario 02 (AGL80) con un modulo de 3.038 GSD y el menor corresponde al escenario 8 (AMSL 60) con un valor de 0.821 GSD (ver tabla16 y figura 69). Estos resultados muestran que los levantamiento fotogramétricos en terrenos empinados presentan mayores errores en altimetría que en planimetría los cuales para el caso del presente estudio se encuentra en un rango de 0.5 a 1.4 veces GSD para planimetría y de 0.8 a 3.1 veces GSD para altimetría.

Figura 68:
Relación RMSE H y el GSD en cada escenario

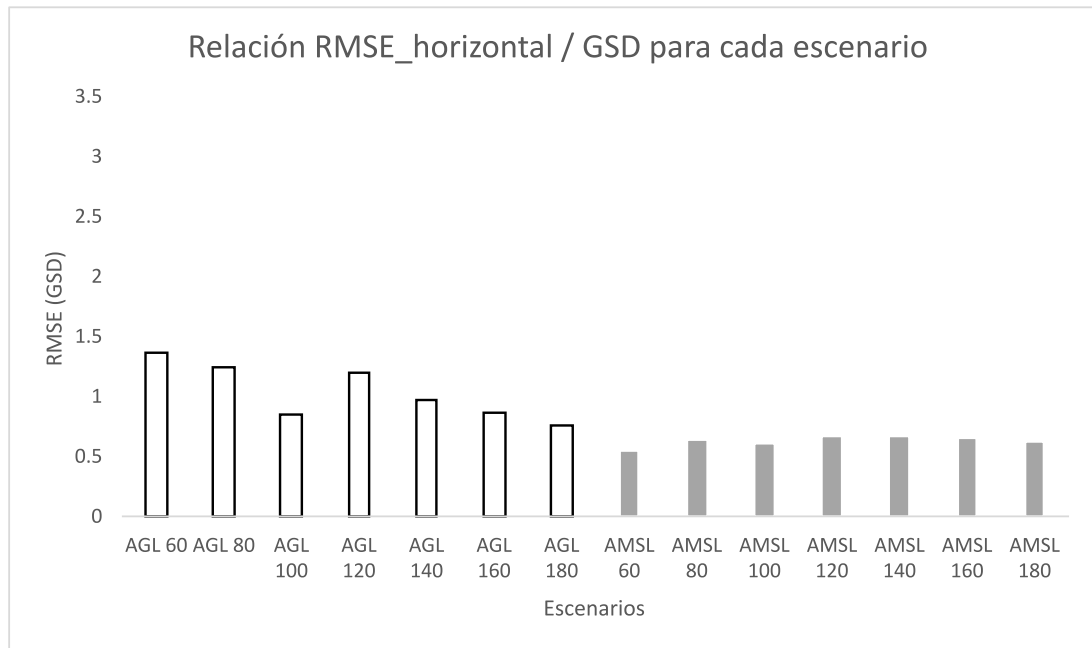
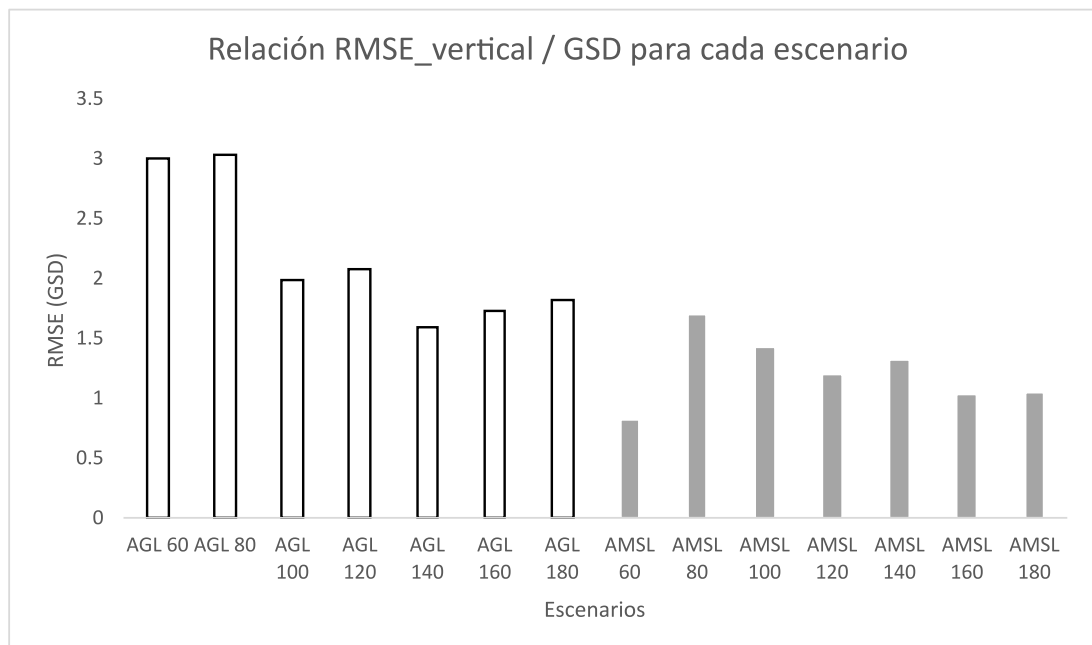


Figura 69:
Relación RMSE Z y el GSD en cada escenario



III. El RMSE en función del tipo de vuelo

Respecto al tipo de vuelo, cuando se expresa el RMSE en función a su GSD se obtuvo que los vuelos tipo AGL produjeron RMSE totales mayores a los AMSL. Esto indica que la exactitud de los levantamiento fotogramétricos no mejoraron al mantener las elevaciones constantes sobre el terreno empinado, ver figura 70. Esto pudo darse debido a que al volar el RPA siguiendo el terreno, se encontró que los puntos de apoyo aparecen menos veces en las imágenes que en los vuelos AMSL. La tabla 20 muestra como a medida que el porcentaje de marcas de los PCT en las fotografías aumenta en un determinado escenario, el RMSE total tiende a disminuir. Esto quiere decir que los vuelos AMSL en terrenos empinados debido al desnivel de terreno tienen un traslape mayor que el programado, es así que al realizar el procesamiento de imágenes, se puede encontrar un mismo PTC en mas imágenes, aumentando el numero de repeticiones de la misma posición y de esta manera acercarse mas al valor verdadero.

Figura 70:
Relación RMSE T y el GSD en cada escenario

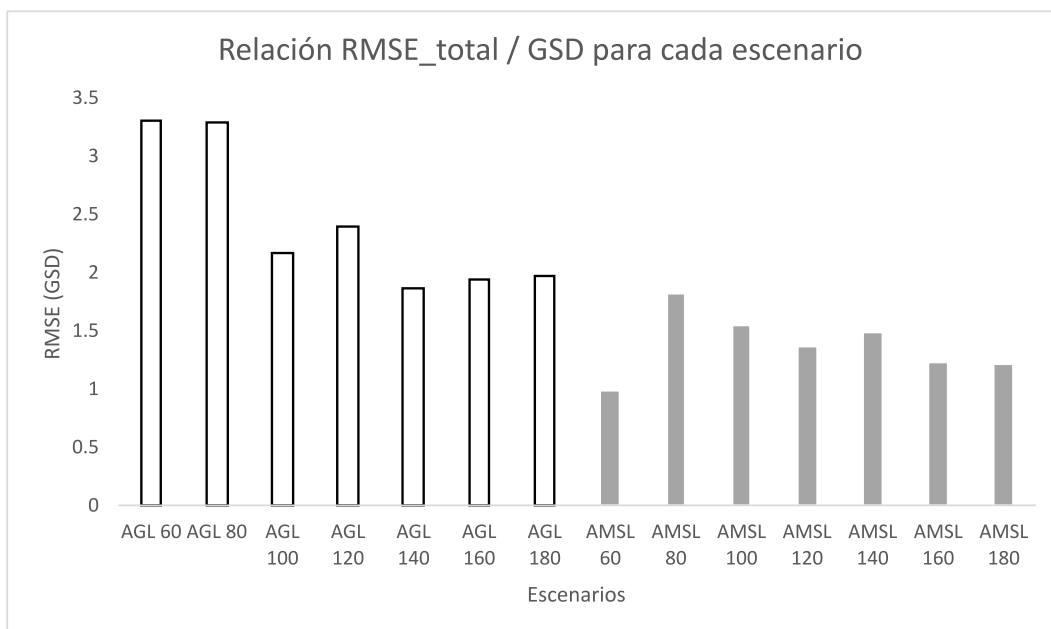


Tabla 20:
Incidencia de la cantidad de fotografías donde aparecen PVT en la relación RMSE/GSD

Escenario	Elevación	Tipo de vuelo	Número de fotos	Número de marcas verificadas	Porcentaje de marcas en fotografías	Promedio de marcas por PCT	RMSE /GSD
1	60	AGL	615	314	51.06	26.17	3.30
2	80	AGL	341	161	47.21	23.00	3.29
3	100	AGL	225	99	44.00	19.80	2.16
4	120	AGL	147	87	59.18	17.40	2.40
5	140	AGL	126	85	67.46	17.00	1.87
6	160	AGL	81	61	75.31	12.20	1.94
7	180	AGL	71	66	92.96	13.20	1.97
8	60	AMSL	530	680	128.30	61.82	1.00
9	80	AMSL	234	163	69.66	32.60	1.82
10	100	AMSL	147	127	86.39	25.40	1.56
11	120	AMSL	125	113	90.40	22.60	1.38
12	140	AMSL	74	88	118.92	17.60	1.50
13	160	AMSL	80	105	131.25	21.00	1.24
14	180	AMSL	70	102	145.71	20.40	1.23

Por otro lado, analizando las figuras 71 y 72 se observa que la resolución de los ortomosaicos generados por los levantamiento con vuelos AGL, tienen una mayor resolución y nitidez que los generados a partir de imágenes obtenidas por vuelos AMSL, esto facilitó la colocación de los PCT puesto que gracias a la resolución de las imágenes AGL los centros de las dianas donde fueron tomadas las medidas fueron fácilmente distinguibles.

Figura 71:
Resolución de los puntos de apoyo en el escenario 01 AGL 60m

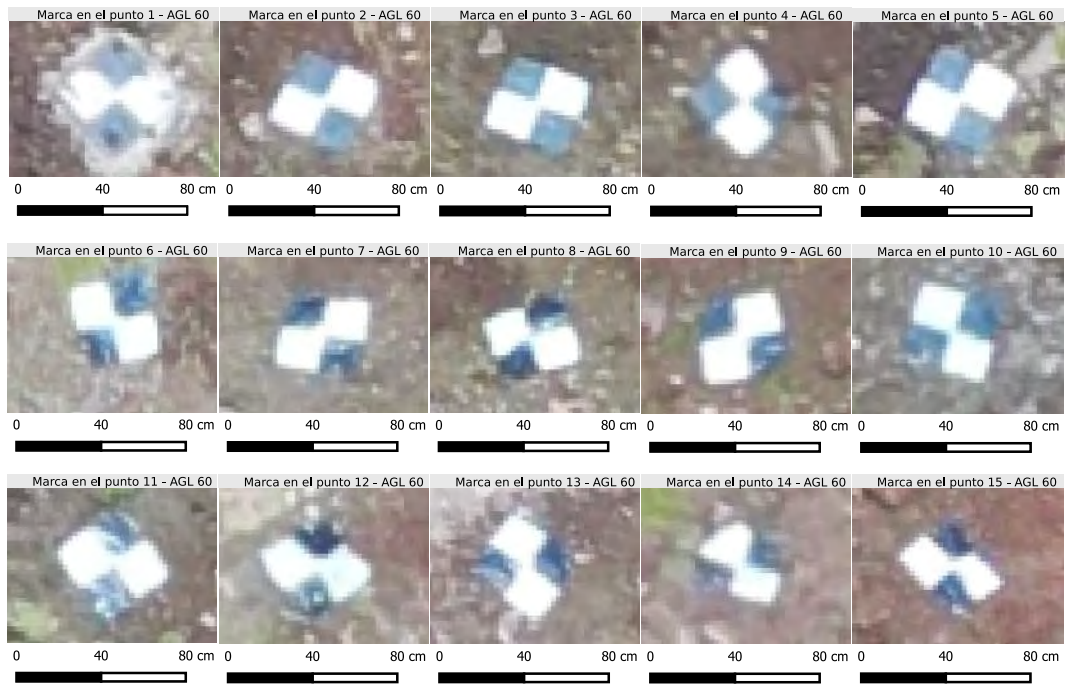
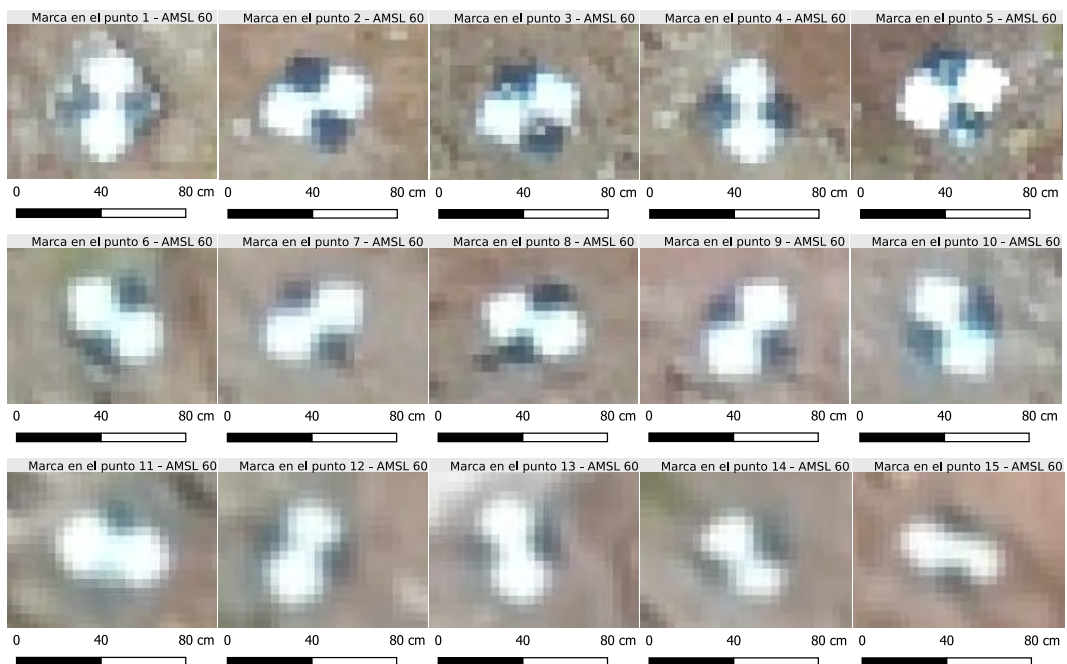


Figura 72:
Resolución de los puntos de apoyo en el escenario 08 AMSL 60m



IV. El RMSE en función a la altura de vuelo

Respecto a las alturas de vuelo, los resultados mostrados en las tablas 17, 18 y 19 demuestran que existe una correlación lineal entre las alturas de vuelo y los RMSE encontrados presentando un coeficiente de correlación moderado $R = +0,553$, esto demuestra que los RMSE serán mayores mientras mayor sea la altura de vuelo, sin embargo al presentar una correlación moderada, implica que el RMSE no solo depende de la altura de vuelo, por lo que existen otras variables como el traslape, la cantidad y distribución de los PCT, la vegetación, entre otros que también influyen en la magnitud de los RMSE y que deberían ser estudiados en posteriores investigaciones en terrenos empinados. Finalmente otro lado, la figura 74 muestra como el GSD promedio se incrementa a medida que la altura de vuelo es mayor.

Figura 73: Correlación entre la altura de vuelo (H) y el RMSE

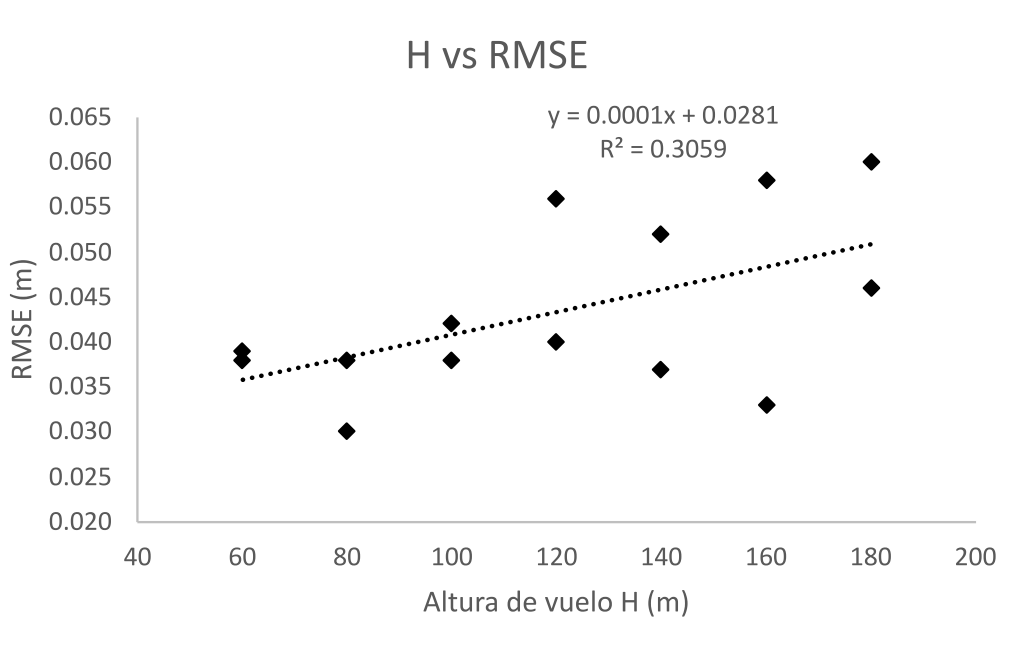
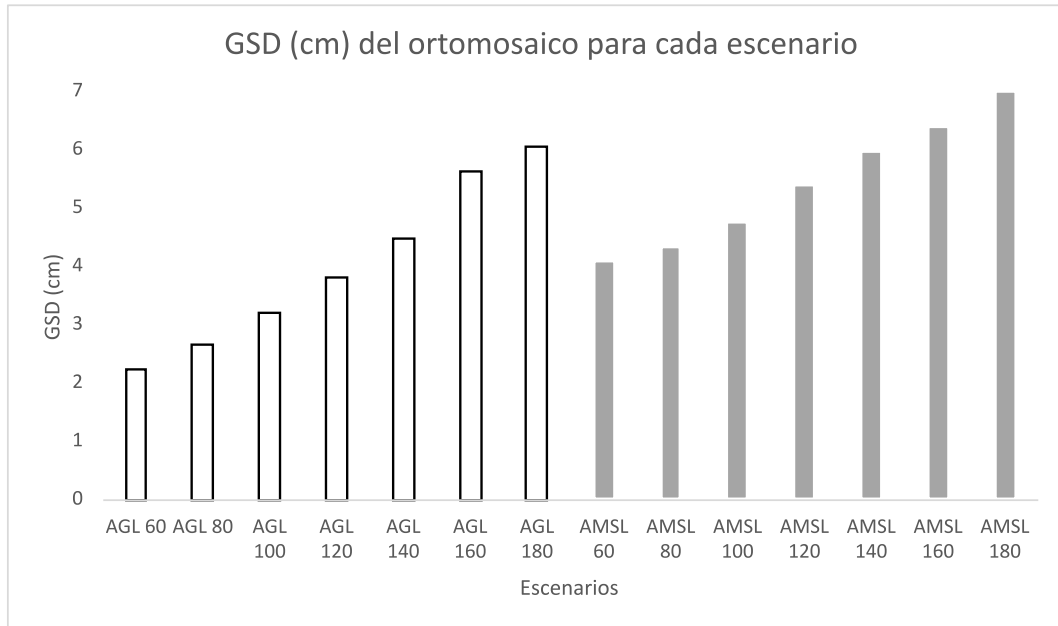


Figura 74:
GSD promedio de cada escenario



4.4. Discusión

I. El RMSE en función al tipo de punto de apoyo

Según (Sanz-Ablanedo et al., 2018) los RMSE medidos en los PCT sobreestiman la exactitud real de un modelo fotogramétrico, por lo cual es importante medir la exactitud en puntos de PVT o independientes, así mismo indica que el RMSE sin sesgos puede obtenerse multiplicando por un factor de 3 si el proyecto tiene al menos 3.5 PCT por cada 100 fotos, y por un factor de 4-8 si el proyecto tiene menos de 2 PCT por cada 100 fotos. Los resultados adquiridos en esta investigación confirman que efectivamente los RMSE calculado en los PCT sobreestiman la exactitud de los modelos ya que al medir el RMSE en los PVT se calcularon RMSE hasta dos (02) veces mayores, por lo cual consideramos que los RMSE calculados en los PVT representan mejor la exactitud de un levantamiento fotogramétrico.

II. El RMSE en el eje horizontal y vertical

En el presente estudio se obtuvo que en todos los escenarios el RMSE en altimetría fue mayor que el RMSE en planimetría, al respecto diversos autores también concluyeron que el error en el eje Z es mayor que el plano XY (Sanz-Ablanedo et al., 2018; Jiménez et al., 2017; Manconi et al., 2019). Así mismo hasta ahora, en la literatura, normalmente se reportan RMSE de 2-3 GSD ((Nex y Remondino, 2014)), sin embargo en los escenarios 1 y 2 los RMSE del eje z y los RMSE totales, fueron superiores a 3 veces GSD, llegando hasta un RMSE total de 3.302 GSD en el escenario 1 (AGL60), ver tabla 16. Cabe indicar que a pesar que en el escenario 1 y 2, los RMSE calculados en el eje vertical y total fueron superiores a 3 veces GSD, los resultados obtenidos son muy buenos dado que a pesar de las características de la muestra (terreno empinado), los RMSEs obtenidos en todos escenarios están por debajo de los valores máximos permitidos para productos fotogramétricos a escala 1/1000 mencionados en las especificaciones técnicas para generación de ortoimágenes publicado por el Instituto Geográfico Nacional del Perú

III. El RMSE en función del tipo de vuelo

Los resultados obtenidos al comparar los tipos de vuelo muestran que la calidad de los ortomosaicos obtenidos con vuelos AGL son muy superiores a los obtenidos por vuelos AMSL, sin embargo los RMSE se comportaron de manera opuesta, pues se esperaba que los RMSE de los escenarios donde se usaron vuelos AGL sean menores que escenarios donde se usaron vuelos AMSL. (Manconi et al., 2019) concluyó que los vuelos AGL producían ortomosaicos de mayor precisión sin embargo no menciono que la exactitud sea mayor o menor, al respecto, para este caso de estudio los levantamientos obtenidos por vuelos AGL fueron mas precisos que los AMSL al tener imágenes de mejor resolución, lo cual facilito la ubicación del centro de las dianas en los PCT, reduciendo de esta forma su dispersión, mientras que los levantamientos obtenidos por vuelos AMSL son mas exactos dado que cubrieron mas área de la planificado por la inclinación del terreno, obteniéndose fotografías donde en muchos casos aparecían dos (02) o mas PCT, lo que genero que haya

un numero mayor de marcas de PCT por fotografías y por ende se alcanzase un mejor RMSE a pasar de lo tener la mejor resolución.

Finalmente la elección del tipo de vuelo debe obedecer al uso que se le dará la información Asia como las condiciones propias del terreno, siendo los levantamientos de tipo AGL mas precisos y de alta resolución lo que beneficia la calidad del ortomosaico y por ende el nivel de detalle que se puede alcanzar.

IV. Resultados obtenidos y normatividad vigente

Con respecto a la normativa vigente, El Instituto Geográfico Nacional Publicó las Especificaciones Técnicas Para Generación De Ortoimágenes, aprobada el 30 de junio del 2021 bajo resolución jefatural N° 053-2021/IGN/DIG/SDNGC. En este documento mencionan aspectos importantes para comparar los resultados de esta investigación.

Según una escala de producto de 1:1 000 el GSD máximo es de 10 cm, pudiendo observar según la tabla 16 que alturas de vuelo de hasta 180 metros tanto en tipos de vuelo AGL y AMSL podrían cumplir con dicha resolución, utilizando el RPA mavic 2 pro con resolución de cámara de 20 megapixeles.

Por otro lado. Para verificar la exactitud posicional tanto en los puntos de control como en los de verificación las especificaciones técnicas nos dan máximos permisibles para diferentes escalas. Estos valores se pueden observar en la tabla 21.

Tabla 21:
GSD y RMSE permisible

Escala	GSD_máximo (m)	PCT		PVT	
		RMSE_H (m)	RMSE_V (m)	RMSE_H (m)	RMSE_V (m)
1:1000	0.1	0.08	0.06	0.15	0.13
1:2500	0.25	0.18	0.16	0.36	0.32
1:5000	0.5	0.35	0.31	0.71	0.63
1:10000	1	0.75	0.63	1.5	1.25
1:25000	1.5	1.06	1.56	2.12	3.13

En la tabla 22 se observa la verificación tanto para puntos de control como puntos de verificación. En cada caso se proporciona valores límite para RMSE en el plano horizontal y en el eje vertical. Pudiendo observarse que en los 14 escenarios los valores obtenidos están por debajo de los máximos permisibles para elaboración de productos fotogramétricos a escala 1:1000.

Tabla 22:
Verificación de la exactitud según normativa

Escenario	TIPO	Verificación PCT				Verificación PVT			
		RMSE_H permisible: 0.08 m		RMSE_V permisible: 0.06 m		RMSE_H permisible: 0.15 m		RMSE_V permisible: 0.13 m	
		RMSE_H (m)	Control	RMSE_Z (m)	Control	RMSE_H (m)	Control	RMSE_Z (m)	Control
1	AGL_60	0.016	OK	0.036	OK	0.031	OK	0.067	OK
2	AGL_80	0.012	OK	0.028	OK	0.033	OK	0.081	OK
3	AGL_100	0.022	OK	0.036	OK	0.027	OK	0.064	OK
4	AGL_120	0.015	OK	0.037	OK	0.046	OK	0.079	OK
5	AGL_140	0.02	OK	0.048	OK	0.044	OK	0.071	OK
6	AGL_160	0.027	OK	0.051	OK	0.049	OK	0.098	OK
7	AGL_180	0.027	OK	0.054	OK	0.046	OK	0.11	OK
8	AMSL_60	0.017	OK	0.034	OK	0.023	OK	0.034	OK
9	AMSL_80	0.024	OK	0.03	OK	0.028	OK	0.074	OK
10	AMSL_100	0.023	OK	0.03	OK	0.029	OK	0.068	OK
11	AMSL_120	0.039	OK	0.041	OK	0.036	OK	0.065	OK
12	AMSL_140	0.018	OK	0.032	OK	0.041	OK	0.08	OK
13	AMSL_160	0.027	OK	0.02	OK	0.043	OK	0.066	OK
14	AMSL_180	0.03	OK	0.034	OK	0.044	OK	0.074	OK

Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

- Se encontró que la exactitud de levantamientos fotogramétricos con RPAS en terrenos empinados del sector Huaro representado por el RMSE total se encuentra en el intervalo de 0.997 a 3.302 veces GSD en los 14 escenarios planteados. En planimetría el RMSE se encuentra en el intervalo de 0.565 a 1.376 veces el GSD, mientras que en altimetría el RMSE se encontró en el intervalo de 0.821 a 3.038 veces GSD.
- Respecto a levantamiento fotogramétricos con RPAS planificando con AGL constante, el RMSE total se encontró en el intervalo de 6.9 cm a 11.9 cm en los siete escenarios planteados. El RMSE en planimetría se encontró en el intervalo de 2.7cm a 4.9 cm en todos los escenarios. Finalmente en altimetría se encontraron en el intervalo de 6.4 cm a 9.8 cm.
- Respecto a levantamiento fotogramétricos con RPAS planificando con AMSL constante, el RMSE total se encontró en el intervalo de 4.1 cm a 8.6 cm en los siete escenarios planteados. El RMSE en planimetría se encontró en el intervalo de 2.3 cm a 4.4 cm en todos los escenarios. Finalmente en altimetría se encontraron en el intervalo de 3.4 cm a 8 cm.
- Existe una correlación lineal entre la exactitud expresada en función del RMSE y la altura de vuelo (H) de levantamientos fotogramétricos con RPAS en terrenos empinados, siendo el coeficiente de correlación moderado, con un valor de $r = +0,553$ y presentando la ecuación de correlación $RMSE = 0,0001H + 0,0281$, donde el RMSE y la altura de vuelo se expresan en metros.

5.2. Recomendaciones

- Este proyecto se centró en la comparación de la exactitud utilizando el RMSE como valor de comparación. Se recomienda para próximos estudios analizar la precisión del modelo fotogramétrico analizando la desviación estándar en el geoposicionamiento de las marcas.
- Se recomienda determinar la calidad del modelo fotogramétrico analizando la exactitud

en los puntos de validación terrestre. Ya que existe una diferencia considerable entre estos y los puntos de control terrestre. De esta manera se garantiza una mayor veracidad en los reportes de los errores obtenidos.

- Se recomienda analizar para próximas investigaciones la incidencia de la inclinación de la cámara en la comparación de la exactitud y precisión del modelo fotogramétrico
- La clasificación de puntos es un proceso habitual en el flujo de trabajo para la obtención de la superficie terrestre mediante procedimientos fotogramétricos. Se recomienda analizar la incidencia de los métodos de clasificación de puntos para la comparación de la exactitud en los productos fotogramétricos.
- Para determinar la cantidad de puntos de apoyo a considerar dentro del proceso fotogramétrico existen dos metodologías planteadas: por hectáreas a sobrevolar y por cantidad de fotografías ha capturarse en el plan de vuelo. Se recomienda considerar ambos criterios y asignar el de mayor cantidad de puntos.

Referencias

- Álvarez, D. A. G. (2008). Sistema gnss (global navigation satellite system). *Madrid: Universidad Autónoma de Madrid*.
- Caro, R. V. (2016). El datum, el geoide, el elipsoide y la cartografía. *Revista general de marina*, 270(1), 27–37.
- Chiabrando, F., Lingua, A., Maschio, P., y Losè, L. T. (2017). The influence of flight planning and camera orientation in uavs photogrammetry. a test in the area of rocca san silvestro (li), tuscany. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 163.
- Claros, R., Guevara, A., y Pacas, N. (2016). Aplicacion de fotogrametria aerea en levantamientos topograficos mediante el uso de vehiculos aereos no tripulados. *Civil Engineer. Universidad de El Salvador: El Salvador*.
- Eisenbeiß, H. (2009). *Uav photogrammetry* (Tesis Doctoral no publicada). ETH Zurich.
- Felicísimo, A. M. (1994). Modelos digitales del terreno. *Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales. Oviedo: Pentalfa Ediciones*.
- Graham, A., Kirkman, N. C., y Paul, P. M. (2007). *Mobile radio network design in the vhf and uhf bands: a practical approach*. John Wiley & Sons.
- Hilario Tacca, Q. (2015). Comparación de resultados obtenidos de un levantamiento topográfico utilizando la fotogrametría con drones al método tradicional [Manual de software informático]. Universidad Nacional del Altiplano.
- Hirt, C. (2014). Digital terrain models. En E. Grafarend (Ed.), *Encyclopedia of geodesy* (pp. 1–6). Cham: Springer International Publishing. Descargado de https://doi.org/10.1007/978-3-319-02370-0_31 – 1 doi: 10.1007/978-3-319-02370-0_31 – 1
- IGN. (2015). *Especificaciones técnicas para posicionamiento geodesico estatico relativo con receptores del sistema satelital de navegacion global*.
- Jiménez, S., Ojeda-Bustamante, W., Ontiveros-Capurata, R., Flores-Velázquez, J., Marcial-Pablo, M. d., y Robles-Rubio, B. (2017). Cuantificación del error de modelos digitales de terreno derivados de imágenes adquiridas con uav. *Ingeniería agrícola y biosistemas*,

9(2), 85–100.

- Manconi, A., Ziegler, M., Blöchliger, T., y Wolter, A. (2019). Optimization of unmanned aerial vehicles flight planning in steep terrains. *International Journal of Remote Sensing*, 40(7), 2483–2492.
- Mendoza Dueñas, J. (2019). *Topografía y geodesia*. Editores Maraucano E.I.R.L.
- Nex, F., y Remondino, F. (2014). *Uav for 3d mapping applications: A review. applied geomatics*, 6 (1), 1–15.
- Pachas, R. (2009). El levantamiento topográfico: Uso del gps y estación total. *Academia*, 8(16), 29–45.
- Podobnikar, T. (2009). Methods for visual quality assessment of a digital terrain model. *SAPI EN. S. Surveys and Perspectives Integrating Environment and Society*(2.2).
- Pozo-Ruz, A., Ribeiro, A., García-Alegre, M., García, L., Guinea, D., y Sandoval, F. (2000). Sistema de posicionamiento global (gps): descripción, análisis de errores, aplicaciones y futuro. *ETS ingenieros de Telecomunicaciones. Universidad de Malaga*.
- Quirós Rosado, E. M. (2014). *Introducción a la fotogrametría y cartografía aplicadas a la ingeniería civil*. Universidad de Extremadura, Servicio de Publicaciones.
- Quispe Flores, T. (2017). Levantamiento topográfico con estación total y un dron (uav) ebee de sensefly, para la demarcación del centro experimental wayllapampa, pacaycasa, ayacucho, 2017 [Manual de software informático]. Universidad nacional de San Antonio de Huamanga.
- RECINOS, D. S. F. (2017). Técnicas de medición topográficas con gps de doble frecuencia y su procesamiento con el software carlson survey gnss.
- Sanz-Ablanedo, E., Chandler, J. H., Rodríguez-Pérez, J. R., y Ordóñez, C. (2018). Accuracy of unmanned aerial vehicle (uav) and sfm photogrammetry survey as a function of the number and location of ground control points used. *Remote Sensing*, 10(10), 1606.
- Smith, G. S. (1995). Digital orthophotography and gis. En *Proceedings of the 1995 esri user conference* (pp. 22–26).
- Tomás-Jover, R., Guill, A. J. R., González, M. C., Fernández, A. A., y Jordá, L. (2016). Structure from motion (sfm): una técnica fotogramétrica de bajo coste para la caracterización

y monitoreo de macizos rocosos. En *Reconocimiento, tratamiento y mejora del terreno: 10º simposio nacional de ingeniería geotécnica: A coruña, 19, 20 y 21 de octubre de 2016* (pp. 209–216).

Vílchez Mata, M. S., Sosa Senticala, N. L., Pari Pinto, W., y Peña Laureano, F. (2020). Peligro geológico en la región cusco-[boletín c 74].

Anexos

Anexo 1

DIARIO DE OBSERVACIÓN

En el diario de observación se puede distinguir las diferentes características del posicionamiento del receptor GNSS en campo. Estos valores son importantes para el procesamiento de la información en campo.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Estación

Nombre completo _____ CUS12124 Identificación: _____ CUS12124

Inscripción en el monumento: _____ CUS12124 Fecha: _____ 15/11/2021

Coordenadas aproximadas

Latitud: _____ -13.742087 longitud: _____ -71.660543 Altura: _____ 4398.52

Receptor/antena	tipo	Modelo	Nro de serie
Receptor	CHCNAV GNSS	i50	3223709
Antena	CHCNAV CHC	i50	

Software del receptor (versión): _____

Longitud del cable Antena-Receptor: _____

Altura de la antena

Sobre el monumento

Punto de referencia _____ instrumento de medición _____

vertical inclinada

Antes de las observaciones: _____ 1.532 m

Después de las observaciones: _____

Datos del receptor: _____

Observación:

Nro. De la sesión del mismo día: _____ 1

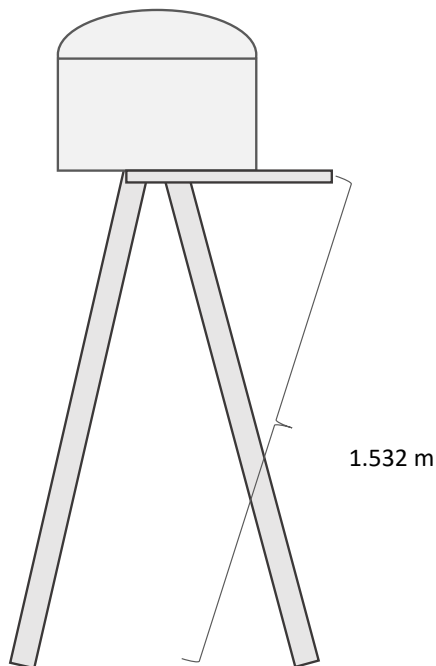
Intervalo de medición: _____ 1 "

Elevación mínima: _____ 10 °

Hora de inicio: _____ 09:57:23

Hora de término: _____ 16:01:26

Operador: _____ Luis Enrique Robles





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Estación

Nombre completo _____ 2 Identificación: _____ 2

Inscripción en el monumento: _____ 2 Fecha: _____ 13/11/2021

Coordenadas aproximadas

Latitud: _____ -13.742397 longitud: _____ -71.66004 Altura: _____ 4428.38

Receptor/antena	tipo	Modelo	Nro de serie
Receptor	CHCNAV GNSS	i50	3223729
Antena	CHCNAV CHC	i50	

Software del receptor (versión): _____

Longitud del cable Antena-Receptor: _____

Altura de la antena

Sobre el monumento

Punto de referencia _____ Base de la antena

x vertical inclinada

Antes de las observaciones: _____ 2 m

Despues de las observaciones: _____

Datos del receptor: _____

Observación:

Nro. De la sesión del mismo día: _____ 2

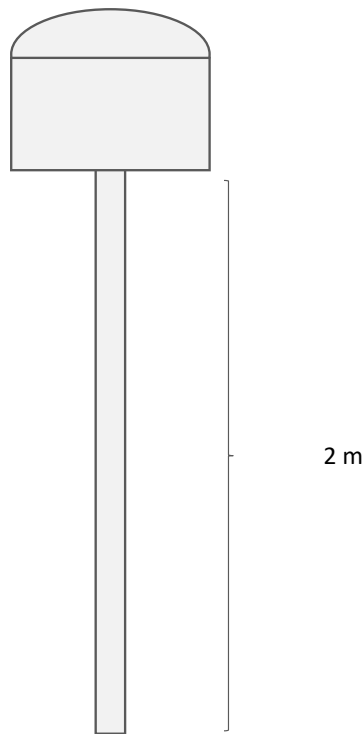
Intervalo de medición: _____ 1 "

Elevación mínima: _____ 10 °

Hora de inicio: _____ 16:03:01

Hora de término: _____ 16:23:00

Operador: _____ Luis Enrique Robles





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Estación

Nombre completo _____ 3 Identificación: _____ 3

Inscripción en el monumento: _____ 3 Fecha: _____ 13/11/2021

Coordenadas aproximadas

Latitud: _____ -13.742897 longitud: _____ -71.659135 Altura: _____ 4414.03

Receptor/antena	tipo	Modelo	Nro de serie
Receptor	CHCNAV GNSS	i50	3223729
Antena	CHCNAV CHC	i50	

Software del receptor (versión): _____

Longitud del cable Antena-Receptor: _____

Altura de la antena

Sobre el monumento

Punto de referencia _____ Base de la antena _____

x vertical inclinada

Antes de las observaciones: _____ 2 m

Después de las observaciones: _____

Datos del receptor: _____

Observación:

Nro. De la sesión del mismo día: _____ 3

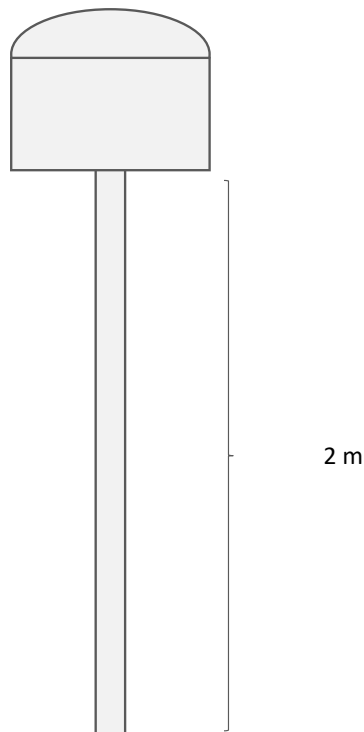
Intervalo de medición: _____ 1 "

Elevación mínima: _____ 10 °

Hora de inicio: _____ 16:32:35

Hora de término: _____ 16:57:34

Operador: _____ Luis Enrique Robles





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Estación

Nombre completo _____ 4 _____ Identificación: _____ 4

Inscripción en el monumento: _____ 4 _____ Fecha: _____ 13/11/2021

Coordenadas aproximadas

Latitud: _____ -13.743315 _____ longitud: _____ -71.658364 _____ Altura: _____ 4432.03

Receptor/antena	tipo	Modelo	Nro de serie
Receptor	CHCNAV GNSS	i50	3223729
Antena	CHCNAV CHC	i50	

Software del receptor (versión): _____

Longitud del cable Antena-Receptor: _____

Altura de la antena

Sobre el monumento

Punto de referencia _____ Base de la antena _____

x vertical inclinada

Antes de las observaciones: _____ 2 m

Despues de las observaciones: _____

Datos del receptor: _____

Observación:

Nro. De la sesión del mismo día: _____ 4

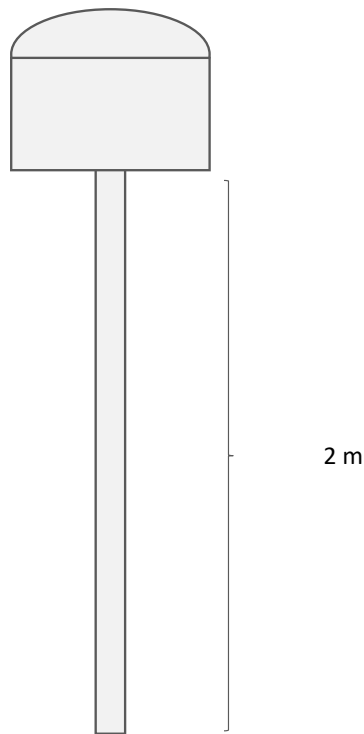
Intervalo de medición: _____ 1 "

Elevación mínima: _____ 10 °

Hora de inicio: _____ 17:05:29

Hora de término: _____ 17:35:28

Operador: _____ Luis Enrique Robles





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Estación

Nombre completo _____ 5 Identificación: _____ 5

Inscripción en el monumento: _____ 5 Fecha: _____ 13/11/2021

Coordenadas aproximadas

Latitud: _____ -13.743685 longitud: _____ -71.657713 Altura: _____ 4515.39

Receptor/antena	tipo	Modelo	Nro de serie
Receptor	CHCNAV GNSS	i50	3223729
Antena	CHCNAV CHC	i50	

Software del receptor (versión): _____

Longitud del cable Antena-Receptor: _____

Altura de la antena

Sobre el monumento

Punto de referencia _____ Base de la antena _____

x vertical inclinada

Antes de las observaciones: _____ 2 m

Después de las observaciones: _____

Datos del receptor: _____

Observación:

Nro. De la sesión del mismo día: _____ 5

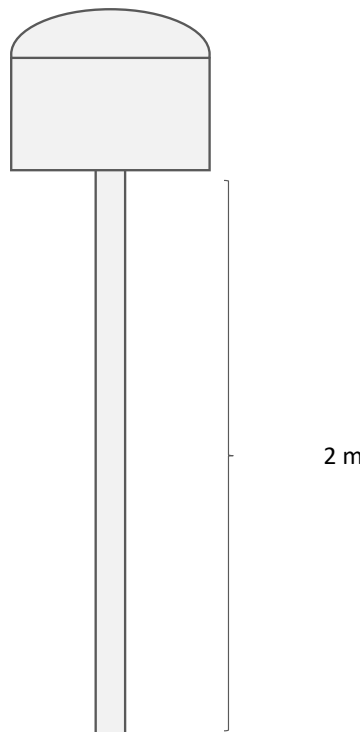
Intervalo de medición: _____ 1 "

Elevación mínima: _____ 10 °

Hora de inicio: _____ 17:42:56

Hora de término: _____ 18:12:55

Operador: _____ Luis Enrique Robles





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Estación

Nombre completo _____ 6 _____ Identificación: _____ 6

Inscripción en el monumento: _____ 6 _____ Fecha: _____ 15/11/2021

Coordenadas aproximadas

Latitud: _____ -13.741154 _____ longitud: _____ -71.660314 _____ Altura: _____ 4426.1

Receptor/antena	tipo	Modelo	Nro de serie
Receptor	CHCNAV GNSS	i50	3223729
Antena	CHCNAV CHC	i50	

Software del receptor (versión): _____

Longitud del cable Antena-Receptor: _____

Altura de la antena

Sobre el monumento

Punto de referencia _____ Base de la antena _____

x vertical inclinada

Antes de las observaciones: _____ 2 m

Después de las observaciones: _____

Datos del receptor: _____

Observación:

Nro. De la sesión del mismo día: _____ 1

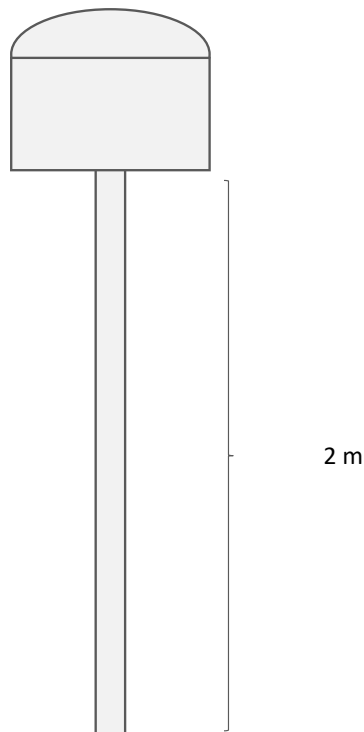
Intervalo de medición: _____ 1 "

Elevación mínima: _____ 10 °

Hora de inicio: _____ 10:06:50

Hora de término: _____ 10:26:49

Operador: _____ Luis Enrique Robles





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**Estación**

Nombre completo _____ 7 _____ Identificación: _____ 7

Inscripción en el monumento: _____ 7 Fecha: _____ 15/11/2021

Coordenadas aproximadas

Latitud: _____ -13.741634 _____ longitud: _____ -71.659651 _____ Altura: _____ 4418.95

Receptor/antena	tipo	Modelo	Nro de serie
Receptor	CHCNAV GNSS	i50	3223729
Antena	CHCNAV CHC	i50	

Software del receptor (versión): _____

Longitud del cable Antena-Receptor: _____

Altura de la antena

Sobre el monumento

Punto de referencia

Base de la antena

x

vertical

inclinada

Antes de las observaciones: _____ 2 m

Después de las observaciones: _____

Datos del receptor: _____

Observación:

Nro. De la sesión del mismo día: _____ 2

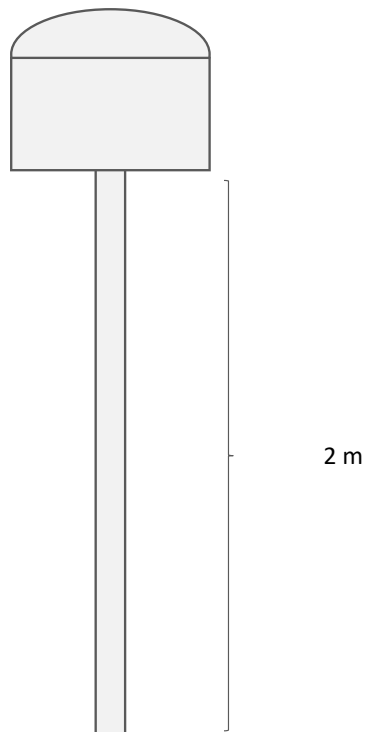
Intervalo de medición: _____ 1 "

Elevación mínima: _____ 10 °

Hora de inicio: _____ 10:30:56

Hora de término: _____ 10:50:55

Operador: _____ Luis Enrique Robles





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Estación

Nombre completo _____ 8 Identificación: _____ 8

Inscripción en el monumento: _____ 8 Fecha: _____ 15/11/2021

Coordenadas aproximadas

Latitud: _____ -13.74217 longitud: _____ -71.658774 Altura: _____ 4451.61

Receptor/antena	tipo	Modelo	Nro de serie
Receptor	CHCNAV GNSS	i50	3223729
Antena	CHCNAV CHC	i50	

Software del receptor (versión): _____

Longitud del cable Antena-Receptor: _____

Altura de la antena

Sobre el monumento

Punto de referencia _____ Base de la antena

x vertical inclinada

Antes de las observaciones: _____ 2 m

Después de las observaciones: _____

Datos del receptor: _____

Observación:

Nro. De la sesión del mismo día: _____ 3

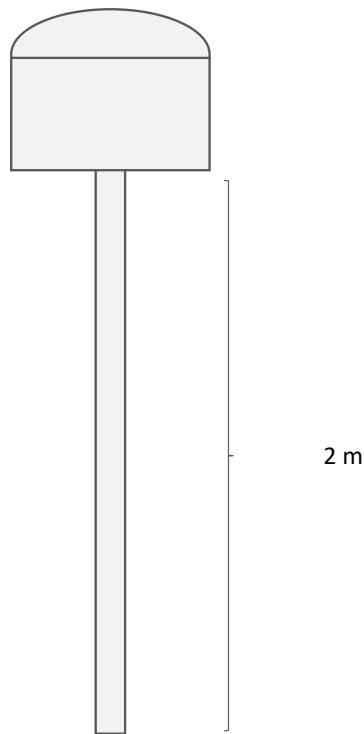
Intervalo de medición: _____ 1 "

Elevación mínima: _____ 10 °

Hora de inicio: _____ 10:57:01

Hora de término: _____ 11:22:00

Operador: _____ Luis Enrique Robles





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Estación

Nombre completo _____ 9 Identificación: _____ 9

Inscripción en el monumento: _____ 9 Fecha: _____ 15/11/2021

Coordenadas aproximadas

Latitud: _____ -13.742618 longitud: _____ -71.65771 Altura: _____ 4406.33

Receptor/antena	tipo	Modelo	Nro de serie
Receptor	CHCNAV GNSS	i50	3223729
Antena	CHCNAV CHC	i50	

Software del receptor (versión): _____

Longitud del cable Antena-Receptor: _____

Altura de la antena

Sobre el monumento

Punto de referencia _____ Base de la antena _____

x vertical inclinada

Antes de las observaciones: _____ 2 m

Despues de las observaciones: _____

Datos del receptor: _____

Observación:

Nro. De la sesión del mismo día: _____ 4

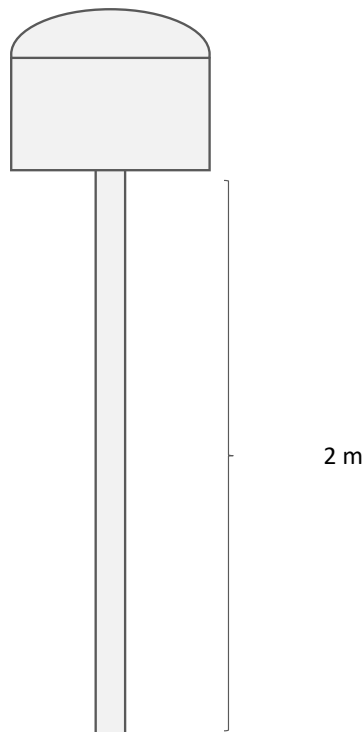
Intervalo de medición: _____ 1 "

Elevación mínima: _____ 10 °

Hora de inicio: _____ 11:27:33

Hora de término: _____ 11:57:32

Operador: _____ Luis Enrique Robles





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Estación

Nombre completo _____ 10 Identificación: _____ 10

Inscripción en el monumento: _____ 10 Fecha: _____ 15/11/2021

Coordenadas aproximadas

Latitud: _____ -13.742988 longitud: _____ -71.657036 Altura: _____ 4451.3

Receptor/antena	tipo	Modelo	Nro de serie
Receptor	CHCNAV GNSS	i50	3223729
Antena	CHCNAV CHC	i50	

Software del receptor (versión): _____

Longitud del cable Antena-Receptor: _____

Altura de la antena

Sobre el monumento

Punto de referencia _____ Base de la antena _____

x vertical inclinada

Antes de las observaciones: _____ 2 m

Despues de las observaciones: _____

Datos del receptor: _____

Observación:

Nro. De la sesión del mismo día: _____ 5

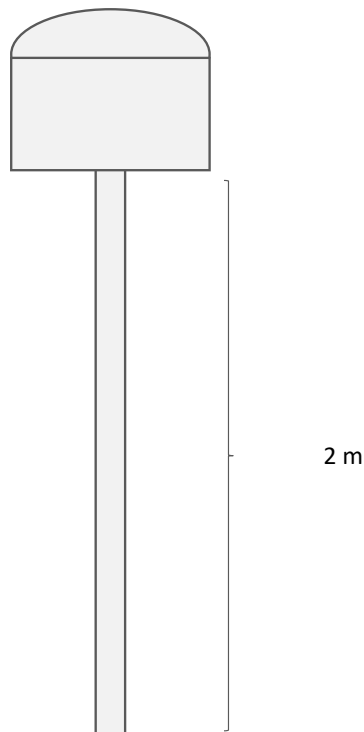
Intervalo de medición: _____ 1 "

Elevación mínima: _____ 10 °

Hora de inicio: _____ 12:07:15

Hora de término: _____ 12:37:14

Operador: _____ Luis Enrique Robles





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Estación

Nombre completo _____ 11 Identificación: _____ 11

Inscripción en el monumento: _____ 11 Fecha: _____ 15/11/2021

Coordenadas aproximadas

Latitud: _____ -13.740359 longitud: _____ -71.659878 Altura: _____ 4288.93

Receptor/antena	tipo	Modelo	Nro de serie
Receptor	CHCNAV GNSS	i50	3223729
Antena	CHCNAV CHC	i50	

Software del receptor (versión): _____

Longitud del cable Antena-Receptor: _____

Altura de la antena

Sobre el monumento

Punto de referencia _____ Base de la antena _____

x vertical inclinada

Antes de las observaciones: _____ 2 m

Después de las observaciones: _____

Datos del receptor: _____

Observación:

Nro. De la sesión del mismo día: _____ 6

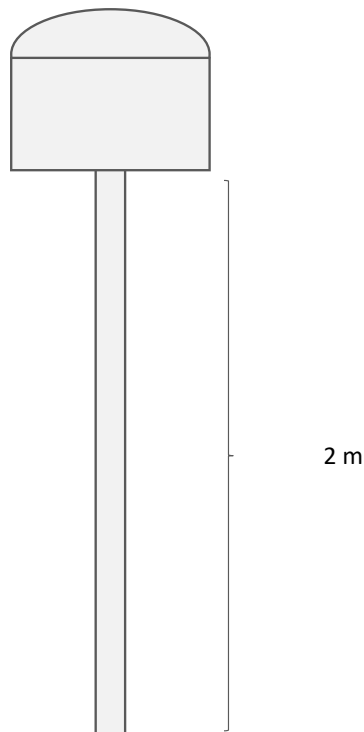
Intervalo de medición: _____ 1 "

Elevación mínima: _____ 10 °

Hora de inicio: _____ 15:16:43

Hora de término: _____ 15:46:42

Operador: _____ Luis Enrique Robles





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Estación

Nombre completo _____ 12 Identificación: _____ 12

Inscripción en el monumento: _____ 12 Fecha: _____ 15/11/2021

Coordenadas aproximadas

Latitud: _____ -13.740785 longitud: _____ -71.65913 Altura: _____ 4274.17

Receptor/antena	tipo	Modelo	Nro de serie
Receptor	CHCNAV GNSS	i50	3223729
Antena	CHCNAV CHC	i50	

Software del receptor (versión): _____

Longitud del cable Antena-Receptor: _____

Altura de la antena

Sobre el monumento

Punto de referencia _____ Base de la antena _____

x vertical inclinada

Antes de las observaciones: _____ 2 m

Despues de las observaciones: _____

Datos del receptor: _____

Observación:

Nro. De la sesión del mismo día: _____ 7

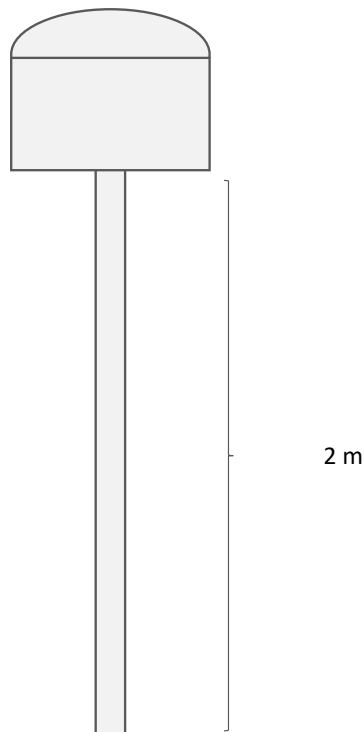
Intervalo de medición: _____ 1 "

Elevación mínima: _____ 10 °

Hora de inicio: _____ 14:40:21

Hora de término: _____ 15:10:20

Operador: _____ Luis Enrique Robles





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**Estación**

Nombre completo _____ 13 _____ Identificación: _____ 13

Inscripción en el monumento: _____ 13 _____ Fecha: _____ 15/11/2021

Coordenadas aproximadas

Latitud: _____ -13.741129 _____ longitud: _____ -71.658399 _____ Altura: _____ 4354.93

Receptor/antena	tipo	Modelo	Nro de serie
Receptor	CHCNAV GNSS	i50	3223729
Antena	CHCNAV CHC	i50	

Software del receptor (versión): _____

Longitud del cable Antena-Receptor: _____

Altura de la antena

Sobre el monumento

Punto de referencia

Base de la antena

x

vertical

inclinada

Antes de las observaciones: _____ 2 m

Después de las observaciones: _____

Datos del receptor: _____

Observación:

Nro. De la sesión del mismo día: _____ 8

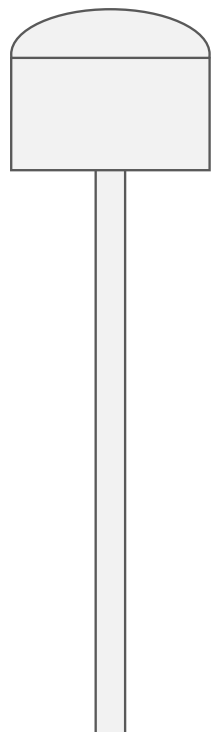
Intervalo de medición: _____ 1 "

Elevación mínima: _____ 10 °

Hora de inicio: _____ 14:04:43

Hora de término: _____ 14:34:42

Operador: _____ Luis Enrique Robles



2 m



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Estación

Nombre completo _____ 14 Identificación: _____ 14

Inscripción en el monumento: _____ 14 Fecha: _____ 15/11/2021

Coordenadas aproximadas

Latitud: _____ -13.741803 longitud: _____ -71.65745 Altura: _____ 4343.51

Receptor/antena	tipo	Modelo	Nro de serie
Receptor	CHCNAV GNSS	i50	3223729
Antena	CHCNAV CHC	i50	

Software del receptor (versión): _____

Longitud del cable Antena-Receptor: _____

Altura de la antena

Sobre el monumento

Punto de referencia _____ Base de la antena _____

x vertical inclinada

Antes de las observaciones: _____ 2 m

Después de las observaciones: _____

Datos del receptor: _____

Observación:

Nro. De la sesión del mismo día: _____ 9

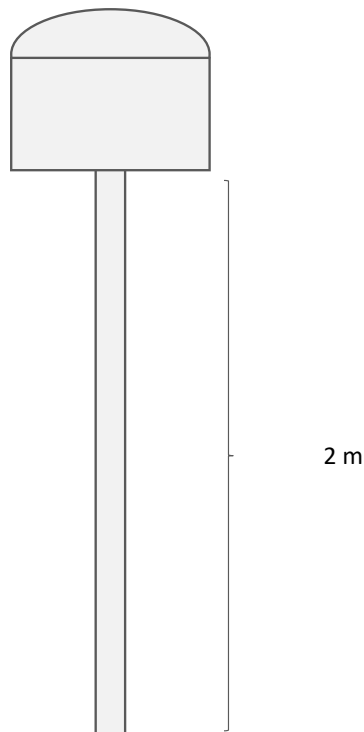
Intervalo de medición: _____ 1 "

Elevación mínima: _____ 10 °

Hora de inicio: _____ 13:24:28

Hora de término: _____ 13:54:27

Operador: _____ Luis Enrique Robles





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Estación

Nombre completo _____ 15 Identificación: _____ 15

Inscripción en el monumento: _____ 15 Fecha: _____ 15/11/2021

Coordenadas aproximadas

Latitud: _____ -13.742256 longitud: _____ -71.656711 Altura: _____ 4374.96

Receptor/antena	tipo	Modelo	Nro de serie
Receptor	CHCNAV GNSS	i50	3223729
Antena	CHCNAV CHC	i50	

Software del receptor (versión): _____

Longitud del cable Antena-Receptor: _____

Altura de la antena

Sobre el monumento

Punto de referencia _____ Base de la antena _____

x vertical inclinada

Antes de las observaciones: _____ 2 m

Después de las observaciones: _____

Datos del receptor: _____

Observación:

Nro. De la sesión del mismo día: _____ 10

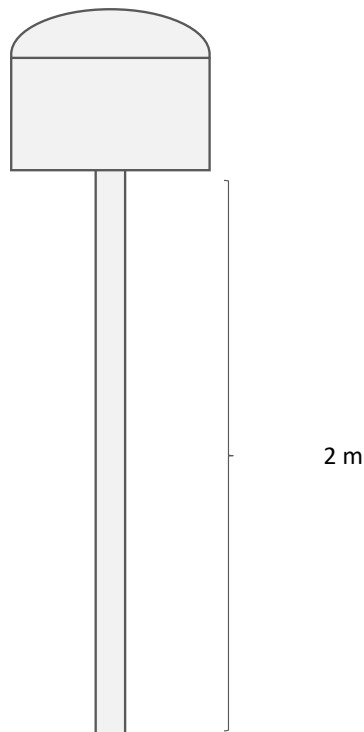
Intervalo de medición: _____ 1 "

Elevación mínima: _____ 10 °

Hora de inicio: _____ 12:47:48

Hora de término: _____ 13:17:47

Operador: _____ Luis Enrique Robles



Anexo 2

Ficha técnica de puntos de apoyo (PCT y PVT)

En la ficha técnica de los puntos de apoyo se puede observar las coordenadas geográficas y proyectadas finales de cada uno de los puntos, así como la ubicación e imagen del posicionamiento.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



FICHA TÉCNICA

PUNTOS DE CONTROL

CLIENTE:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

PROYECTO:

Determinación de la exactitud de levantamientos fotogramétricos con RPAS en terrenos empinados del sector de Huaru, región Cusco 2021

NOMBRE

CÓDIGO

DISTRITO

PROVINCIA

DEPARTAMENTO

CUS12124

CUS12124

HUARO

QUISPICANCHI

CUSCO

CARACTERÍSTICAS DE LA MARCA

Placa de bronce de 7 cm

LATITUD (S) WGS-84

LONGITUD (W) WGS-84

NORTE (N) WGS-84

ESTE (E) WGS-84

-13.74200529

-71.66056458

8479218.577

212273.562

ALTURA ELIPSOIDAL

ELEVACIÓN (EGM-08)

ZONA UTM

4382.497

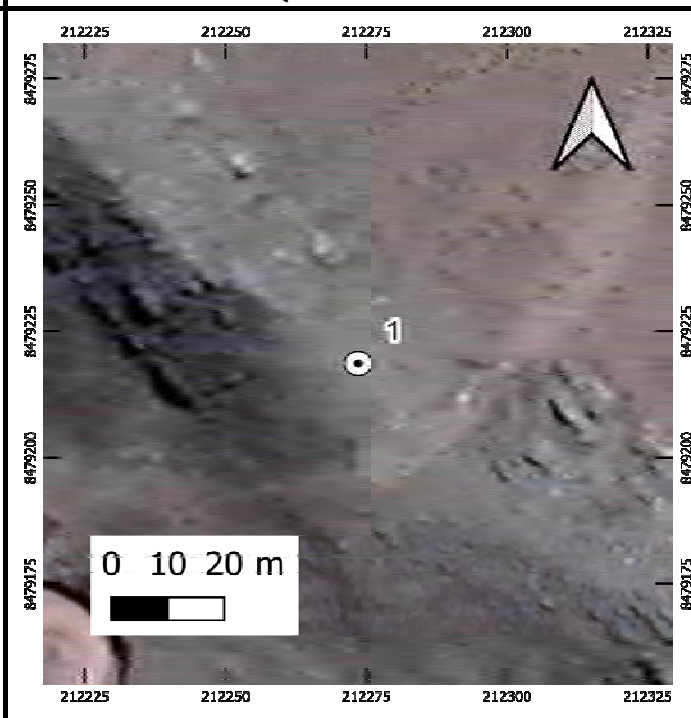
4336.49

19 S

IMAGEN DE RASTREO DE ANTENA



CROQUIS TOPOGRÁFICO



DESCRIPCIÓN

Punto de apoyo ubicado al lado derecho de la vía huaro - Sullucuyoc. Km 16+100, a 140 metros de la vía

DESCRITA POR:

REVISADO POR:

JEFE DE PROYECTO

FECHA:

31-May-22



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



FICHA TÉCNICA

PUNTOS DE CONTROL

CLIENTE:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

PROYECTO:

Determinación de la exactitud de levantamientos fotogramétricos con RPAS en terrenos empinados del sector de Huaró, región Cusco 2021

NOMBRE

CÓDIGO

DISTRITO

PROVINCIA

DEPARTAMENTO

2

2

HUARO

QUISPICANCHI

CUSCO

CARACTERÍSTICAS DE LA MARCA

Cilindro de mortero de cemento con tubo de pvc

LATITUD (S) WGS-84

LONGITUD (W) WGS-84

NORTE (N) WGS-84

ESTE (E) WGS-84

-13.74240232

-71.66003703

8479175.256

212331.135

ALTURA ELIPSOIDAL

ELEVACIÓN (EGM-08)

ZONA UTM

4400.412

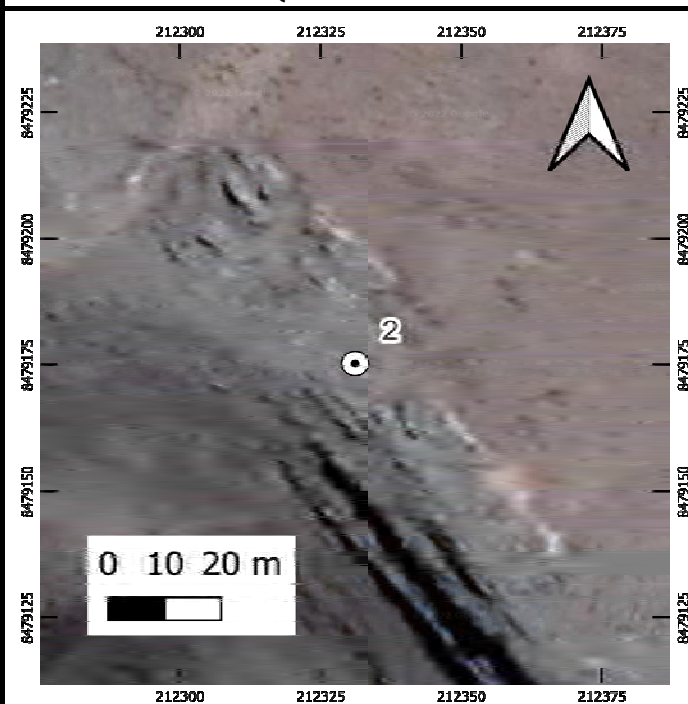
4354.403

19 S

IMAGEN DE RASTREO DE ANTENA



CROQUIS TOPOGRÁFICO



DESCRIPCIÓN

Punto de apoyo ubicado al lado derecho de la vía huaro - Sullucuyoc. Km 16+100, a 140 metros de la vía

DESCRITA POR:

REVISADO POR:

JEFE DE PROYECTO

FECHA:

31-May-22



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



FICHA TÉCNICA

PUNTOS DE CONTROL

CLIENTE:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

PROYECTO:

Determinación de la exactitud de levantamientos fotogramétricos con RPAS en terrenos empinados del sector de Huaru, región Cusco 2021

NOMBRE

CÓDIGO

DISTRITO

PROVINCIA

DEPARTAMENTO

3

3

HUARO

QUISPICANCHI

CUSCO

CARACTERÍSTICAS DE LA MARCA

Cilindro de mortero de cemento con tubo de pvc

LATITUD (S) WGS-84

LONGITUD (W) WGS-84

NORTE (N) WGS-84

ESTE (E) WGS-84

-13.74289191

-71.65913129

8479122.141

212429.747

ALTURA ELIPSOIDAL

ELEVACIÓN (EGM-08)

ZONA UTM

4412.712

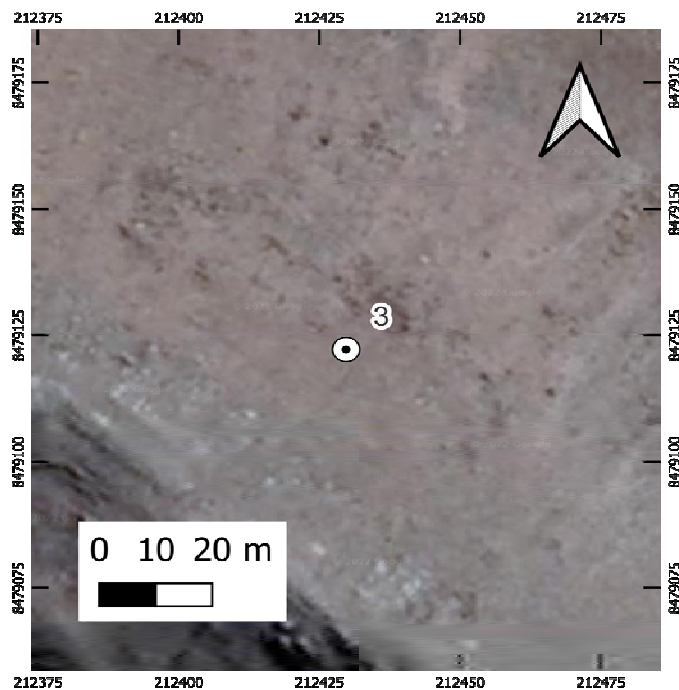
4366.698

19 S

IMAGEN DE RASTREO DE ANTENA



CROQUIS TOPOGRÁFICO



DESCRIPCIÓN

Punto de apoyo ubicado al lado derecho de la vía huaro - Sullucuyoc. Km 16+100, a 140 metros de la vía

DESCRITA POR:

REVISADO POR:

JEFE DE PROYECTO

FECHA:

31-May-22



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



FICHA TÉCNICA

PUNTOS DE CONTROL

CLIENTE:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

PROYECTO:

Determinación de la exactitud de levantamientos fotogramétricos con RPAS en terrenos empinados del sector de Huaru, región Cusco 2021

NOMBRE

CÓDIGO

DISTRITO

PROVINCIA

DEPARTAMENTO

4

4

HUARO

QUISPICANCHI

CUSCO

CARACTERÍSTICAS DE LA MARCA

Cilindro de mortero de cemento con tubo de pvc

LATITUD (S) WGS-84

LONGITUD (W) WGS-84

NORTE (N) WGS-84

ESTE (E) WGS-84

-13.74331325

-71.65836131

8479076.418

212513.584

ALTURA ELIPSOIDAL

ELEVACIÓN (EGM-08)

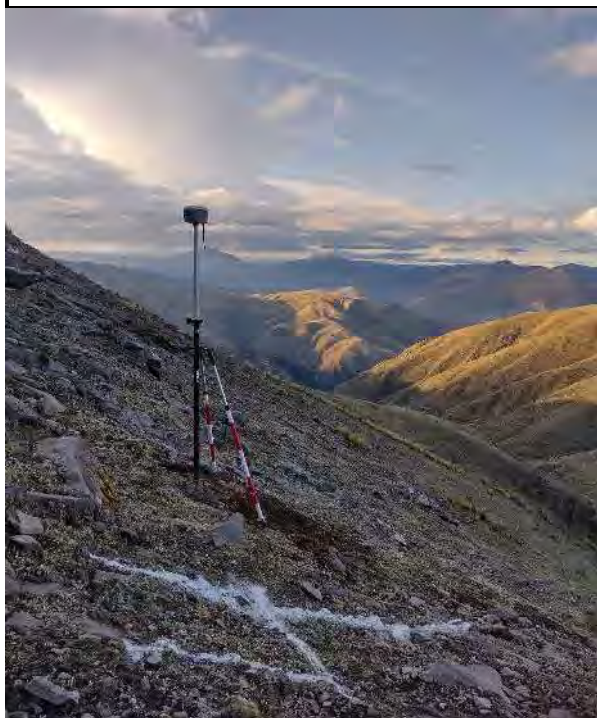
ZONA UTM

4397.413

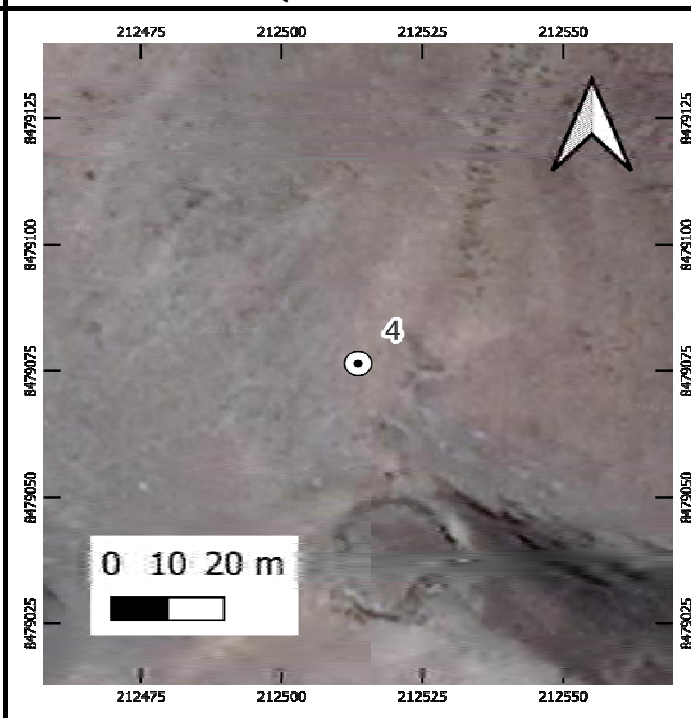
4351.396

19 S

IMAGEN DE RASTREO DE ANTENA



CROQUIS TOPOGRÁFICO



DESCRIPCIÓN

Punto de apoyo ubicado al lado derecho de la vía huaro - Sullucuyoc. Km 16+100, a 140 metros de la vía

DESCRITA POR:

REVISADO POR:

JEFE DE PROYECTO

FECHA:

31-May-22



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



FICHA TÉCNICA

PUNTOS DE CONTROL

CLIENTE:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

PROYECTO:

Determinación de la exactitud de levantamientos fotogramétricos con RPAS en terrenos empinados del sector de Huaru, región Cusco 2021

NOMBRE

CÓDIGO

DISTRITO

PROVINCIA

DEPARTAMENTO

5

5

HUARO

QUISPICANCHI

CUSCO

CARACTERÍSTICAS DE LA MARCA

Cilindro de mortero de cemento con tubo de pvc

LATITUD (S) WGS-84

LONGITUD (W) WGS-84

NORTE (N) WGS-84

ESTE (E) WGS-84

-13.74369685

-71.65745893

8479035.031

212611.702

ALTURA ELIPSOIDAL

ELEVACIÓN (EGM-08)

ZONA UTM

4420.816

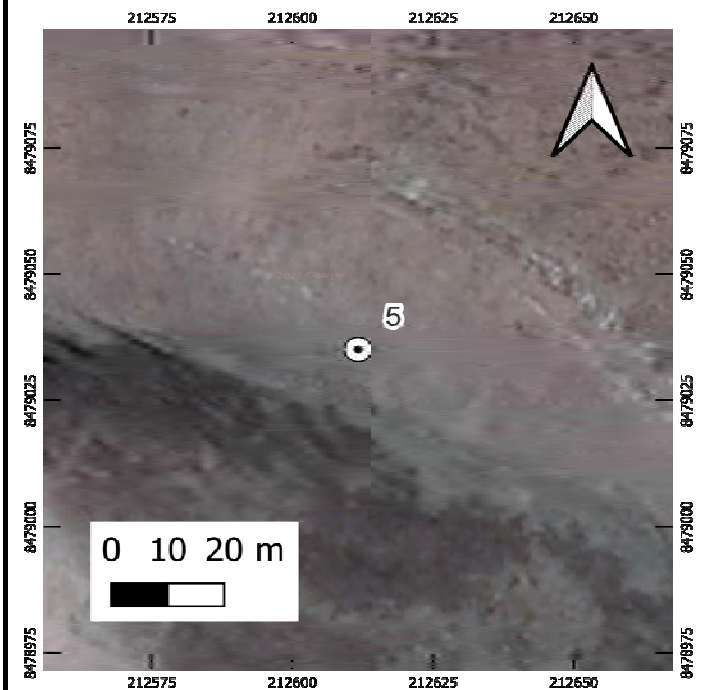
4374.795

19 S

IMAGEN DE RASTREO DE ANTENA



CROQUIS TOPOGRÁFICO



DESCRIPCIÓN

Punto de apoyo ubicado al lado derecho de la vía huaro - Sullucuyoc. Km 16+100, a 140 metros de la vía

DESCRITA POR:

REVISADO POR:

JEFE DE PROYECTO

FECHA:

31-May-22



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



FICHA TÉCNICA

PUNTOS DE CONTROL

CLIENTE:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

PROYECTO:

Determinación de la exactitud de levantamientos fotogramétricos con RPAS en terrenos empinados del sector de Huaru, región Cusco 2021

NOMBRE

CÓDIGO

DISTRITO

PROVINCIA

DEPARTAMENTO

6

6

HUARO

QUISPICANCHI

CUSCO

CARACTERÍSTICAS DE LA MARCA

Cilindro de mortero de cemento con tubo de pvc

LATITUD (S) WGS-84

LONGITUD (W) WGS-84

NORTE (N) WGS-84

ESTE (E) WGS-84

-13.74116672

-71.66031556

8479311.703

212299.485

ALTURA ELIPSOIDAL

ELEVACIÓN (EGM-08)

ZONA UTM

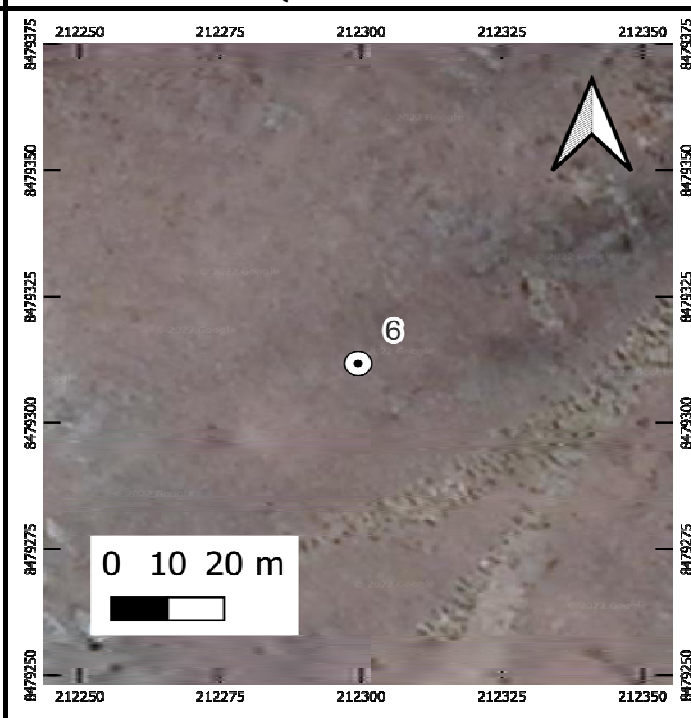
4337.624

4291.615

19 S

IMAGEN DE RASTREO DE ANTENA

CROQUIS TOPOGRÁFICO



DESCRIPCIÓN

Punto de apoyo ubicado al lado derecho de la vía huaro - Sullucuyoc. Km 16+100, a 140 metros de la vía

DESCRITA POR:

REVISADO POR:

JEFE DE PROYECTO

FECHA:

31-May-22



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



FICHA TÉCNICA

PUNTOS DE CONTROL

CLIENTE:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

PROYECTO:

Determinación de la exactitud de levantamientos fotogramétricos con RPAS en terrenos empinados del sector de Huaru, región Cusco 2021

NOMBRE

CÓDIGO

DISTRITO

PROVINCIA

DEPARTAMENTO

7

7

HUARO

QUISPICANCHI

CUSCO

CARACTERÍSTICAS DE LA MARCA

Cilindro de mortero de cemento con tubo de pvc

LATITUD (S) WGS-84

LONGITUD (W) WGS-84

NORTE (N) WGS-84

ESTE (E) WGS-84

-13.74163468

-71.65964551

8479260.701

212372.566

ALTURA ELIPSOIDAL

ELEVACIÓN (EGM-08)

ZONA UTM

4331.719

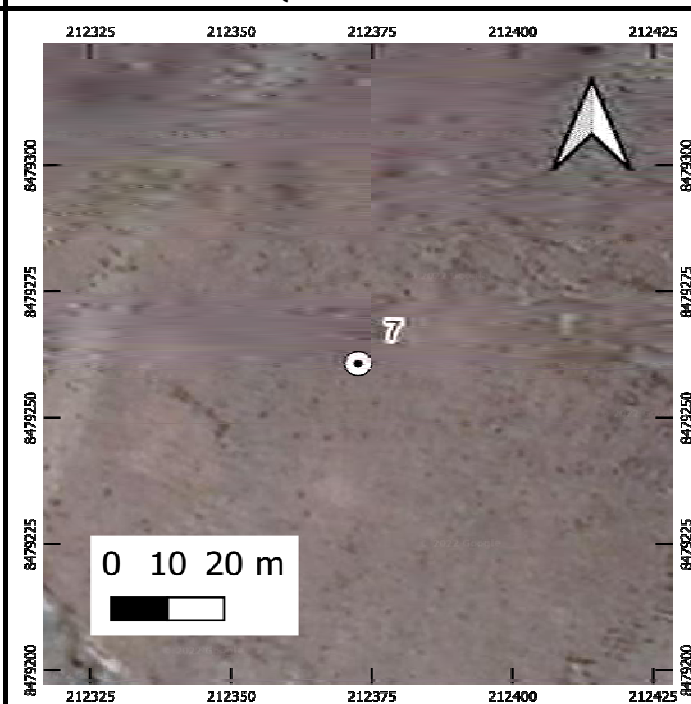
4285.707

19 S

IMAGEN DE RASTREO DE ANTENA



CROQUIS TOPOGRÁFICO



DESCRIPCIÓN

Punto de apoyo ubicado al lado derecho de la vía huaro - Sullucuyoc. Km 16+100, a 140 metros de la vía

DESCRITA POR:

REVISADO POR:

JEFE DE PROYECTO

FECHA:

31-May-22



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



FICHA TÉCNICA

PUNTOS DE CONTROL

CLIENTE:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

PROYECTO:

Determinación de la exactitud de levantamientos fotogramétricos con RPAS en terrenos empinados del sector de Huaru, región Cusco 2021

NOMBRE

CÓDIGO

DISTRITO

PROVINCIA

DEPARTAMENTO

8

8

HUARO

QUISPICANCHI

CUSCO

CARACTERÍSTICAS DE LA MARCA

Cilindro de mortero de cemento con tubo de pvc

LATITUD (S) WGS-84

LONGITUD (W) WGS-84

NORTE (N) WGS-84

ESTE (E) WGS-84

-13.74203118

-71.65866969

8479217.974

212478.647

ALTURA ELIPSOIDAL

ELEVACIÓN (EGM-08)

ZONA UTM

4354.297

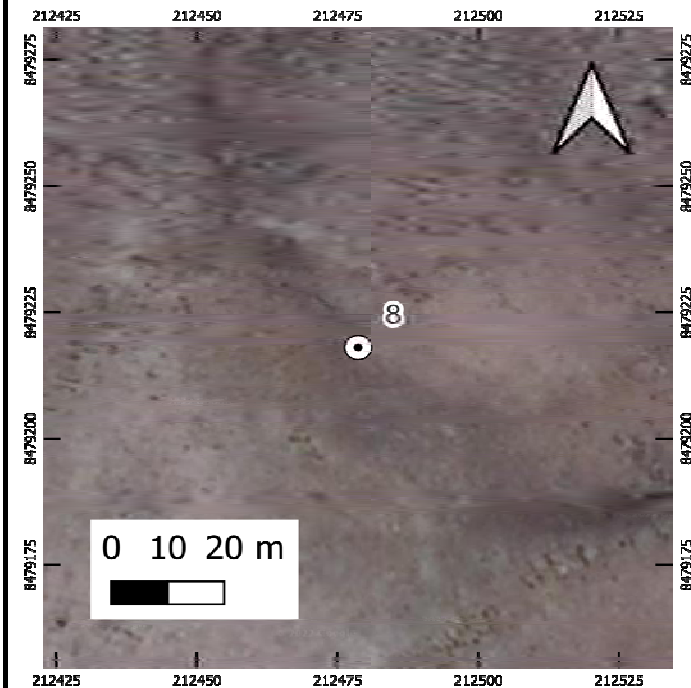
4308.281

19 S

IMAGEN DE RASTREO DE ANTENA



CROQUIS TOPOGRÁFICO



DESCRIPCIÓN

Punto de apoyo ubicado al lado derecho de la vía huaro - Sullucuyoc. Km 16+100, a 140 metros de la vía

DESCRITA POR:

REVISADO POR:

JEFE DE PROYECTO

FECHA:

31-May-22



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



FICHA TÉCNICA

PUNTOS DE CONTROL

CLIENTE:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

PROYECTO:

Determinación de la exactitud de levantamientos fotogramétricos con RPAS en terrenos empinados del sector de Huaru, región Cusco 2021

NOMBRE

CÓDIGO

DISTRITO

PROVINCIA

DEPARTAMENTO

9

9

HUARO

QUISPICANCHI

CUSCO

CARACTERÍSTICAS DE LA MARCA

Cilindro de mortero de cemento con tubo de pvc

LATITUD (S) WGS-84

LONGITUD (W) WGS-84

NORTE (N) WGS-84

ESTE (E) WGS-84

-13.74259876

-71.65766079

8479156.347

212588.518

ALTURA ELIPSOIDAL

ELEVACIÓN (EGM-08)

ZONA UTM

4346.866

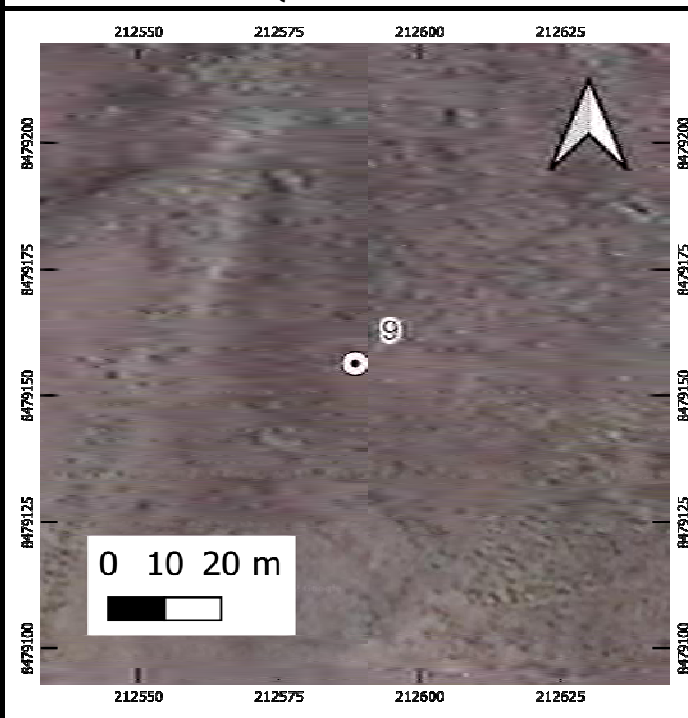
4300.845

19 S

IMAGEN DE RASTREO DE ANTENA



CROQUIS TOPOGRÁFICO



DESCRIPCIÓN

Punto de apoyo ubicado al lado derecho de la vía huaro - Sullucuyoc. Km 16+100, a 140 metros de la vía

DESCRITA POR:

REVISADO POR:

JEFE DE PROYECTO

FECHA:

31-May-22



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



FICHA TÉCNICA

PUNTOS DE CONTROL

CLIENTE:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

PROYECTO:

Determinación de la exactitud de levantamientos fotogramétricos con RPAS en terrenos empinados del sector de Huaru, región Cusco 2021

NOMBRE

CÓDIGO

DISTRITO

PROVINCIA

DEPARTAMENTO

10

10

HUARO

QUISPICANCHI

CUSCO

CARACTERÍSTICAS DE LA MARCA

Cilindro de mortero de cemento con tubo de pvc

LATITUD (S) WGS-84

LONGITUD (W) WGS-84

NORTE (N) WGS-84

ESTE (E) WGS-84

-13.74298912

-71.65709357

8479113.811

212650.375

ALTURA ELIPSOIDAL

ELEVACIÓN (EGM-08)

ZONA UTM

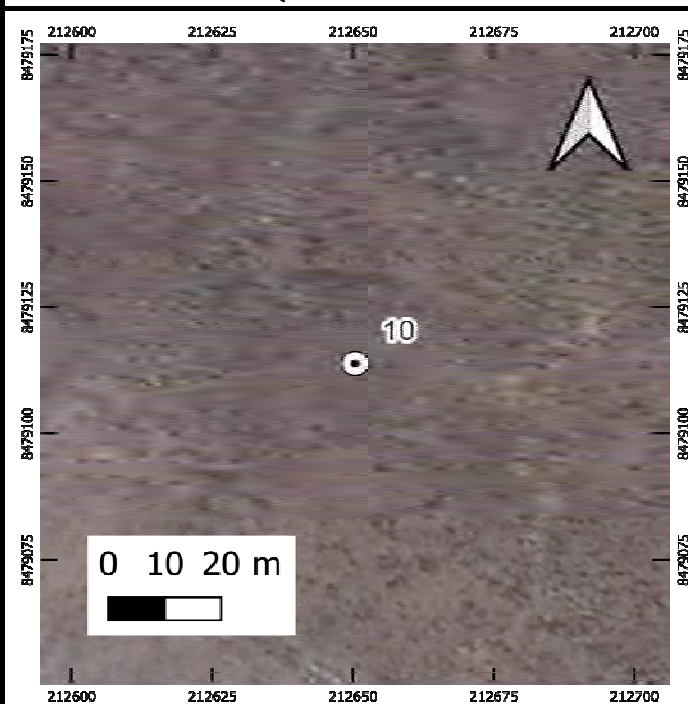
4360.826

4314.803

19 S

IMAGEN DE RASTREO DE ANTENA

CROQUIS TOPOGRÁFICO



DESCRIPCIÓN

Punto de apoyo ubicado al lado derecho de la vía huaro - Sullucuyoc. Km 16+100, a 140 metros de la vía

DESCRITA POR:

REVISADO POR:

JEFE DE PROYECTO

FECHA:

31-May-22



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



FICHA TÉCNICA

PUNTOS DE CONTROL

CLIENTE:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

PROYECTO:

Determinación de la exactitud de levantamientos fotogramétricos con RPAS en terrenos empinados del sector de Huaru, región Cusco 2021

NOMBRE

CÓDIGO

DISTRITO

PROVINCIA

DEPARTAMENTO

11

11

HUARO

QUISPICANCHI

CUSCO

CARACTERÍSTICAS DE LA MARCA

Cilindro de mortero de cemento con tubo de pvc

LATITUD (S) WGS-84

LONGITUD (W) WGS-84

NORTE (N) WGS-84

ESTE (E) WGS-84

-13.7404128

-71.65986117

8479395.705

212347.735

ALTURA ELIPSOIDAL

ELEVACIÓN (EGM-08)

ZONA UTM

4282.912

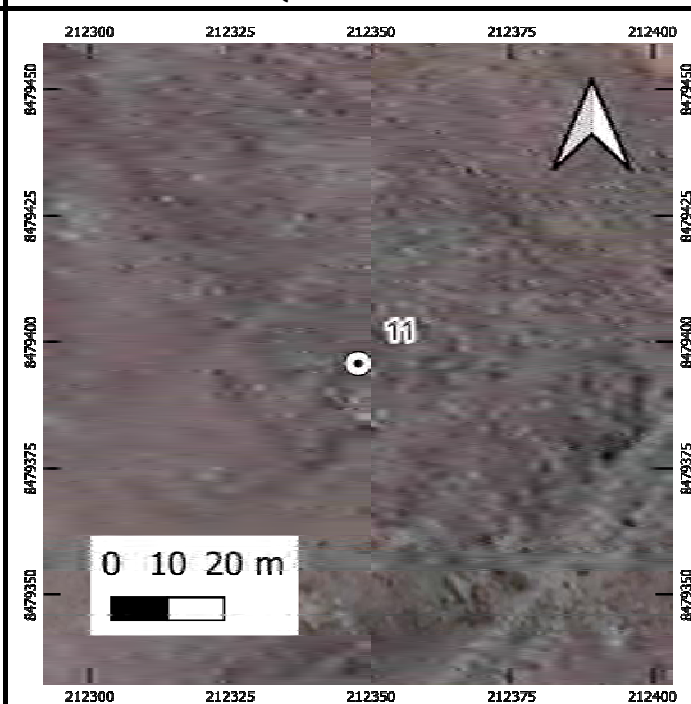
4236.9

19 S

IMAGEN DE RASTREO DE ANTENA



CROQUIS TOPOGRÁFICO



DESCRIPCIÓN

Punto de apoyo ubicado al lado derecho de la vía huaro - Sullucuyoc. Km 16+100, a 140 metros de la vía

DESCRITA POR:

REVISADO POR:

JEFE DE PROYECTO

FECHA:

31-May-22



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



FICHA TÉCNICA

PUNTOS DE CONTROL

CLIENTE:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

PROYECTO:

Determinación de la exactitud de levantamientos fotogramétricos con RPAS en terrenos empinados del sector de Huaru, región Cusco 2021

NOMBRE

CÓDIGO

DISTRITO

PROVINCIA

DEPARTAMENTO

12

12

HUARO

QUISPICANCHI

CUSCO

CARACTERÍSTICAS DE LA MARCA

Cilindro de mortero de cemento con tubo de pvc

LATITUD (S) WGS-84

LONGITUD (W) WGS-84

NORTE (N) WGS-84

ESTE (E) WGS-84

-13.74080143

-71.65912011

8479353.568

212428.404

ALTURA ELIPSOIDAL

ELEVACIÓN (EGM-08)

ZONA UTM

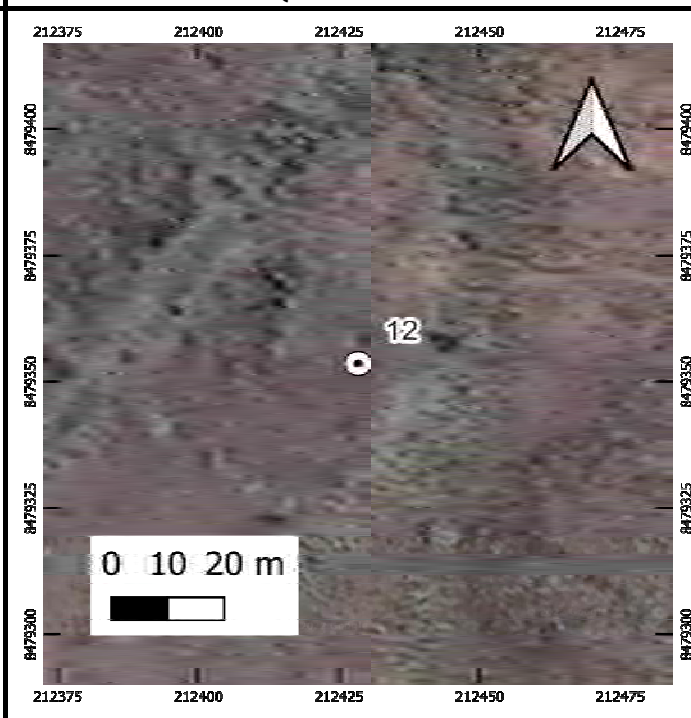
4261.235

4215.22

19 S

IMAGEN DE RASTREO DE ANTENA

CROQUIS TOPOGRÁFICO



DESCRIPCIÓN

Punto de apoyo ubicado al lado derecho de la vía huaro - Sullucuyoc. Km 16+100, a 140 metros de la vía

DESCRITA POR:

REVISADO POR:

JEFE DE PROYECTO

FECHA:

31-May-22



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



FICHA TÉCNICA

PUNTOS DE CONTROL

CLIENTE:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

PROYECTO:

Determinación de la exactitud de levantamientos fotogramétricos con RPAS en terrenos empinados del sector de Huaru, región Cusco 2021

NOMBRE

CÓDIGO

DISTRITO

PROVINCIA

DEPARTAMENTO

13

13

HUARO

QUISPICANCHI

CUSCO

CARACTERÍSTICAS DE LA MARCA

Cilindro de mortero de cemento con tubo de pvc

LATITUD (S) WGS-84

LONGITUD (W) WGS-84

NORTE (N) WGS-84

ESTE (E) WGS-84

-13.74107996

-71.65848404

8479323.495

212497.576

ALTURA ELIPSOIDAL

ELEVACIÓN (EGM-08)

ZONA UTM

4274.937

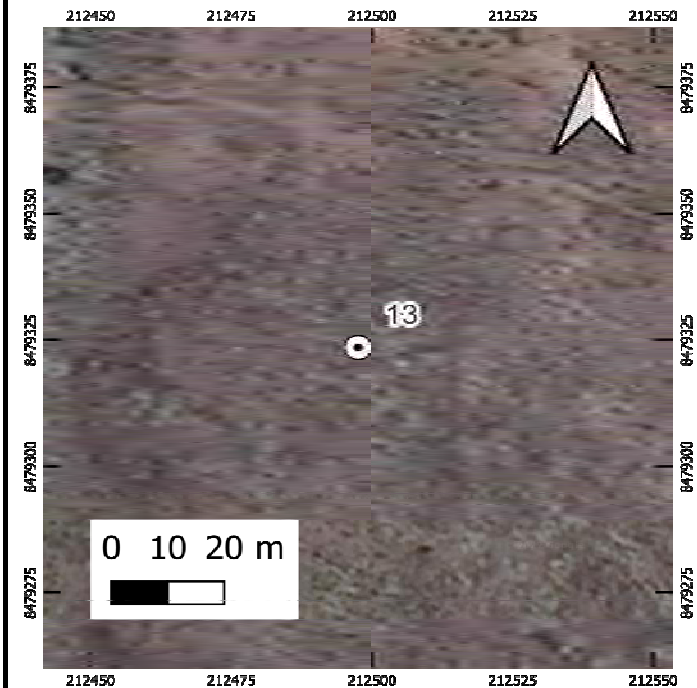
4228.919

19 S

IMAGEN DE RASTREO DE ANTENA



CROQUIS TOPOGRÁFICO



DESCRIPCIÓN

Punto de apoyo ubicado al lado derecho de la vía huaro - Sullucuyoc. Km 16+100, a 140 metros de la vía

DESCRITA POR:

REVISADO POR:

JEFE DE PROYECTO

FECHA:

31-May-22



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



FICHA TÉCNICA

PUNTOS DE CONTROL

CLIENTE:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

PROYECTO:

Determinación de la exactitud de levantamientos fotogramétricos con RPAS en terrenos empinados del sector de Huaru, región Cusco 2021

NOMBRE

CÓDIGO

DISTRITO

PROVINCIA

DEPARTAMENTO

14

14

HUARO

QUISPICANCHI

CUSCO

CARACTERÍSTICAS DE LA MARCA

Cilindro de mortero de cemento con tubo de pvc

LATITUD (S) WGS-84

LONGITUD (W) WGS-84

NORTE (N) WGS-84

ESTE (E) WGS-84

-13.74179529

-71.65744614

8479245.547

212610.765

ALTURA ELIPSOIDAL

ELEVACIÓN (EGM-08)

ZONA UTM

4270.113

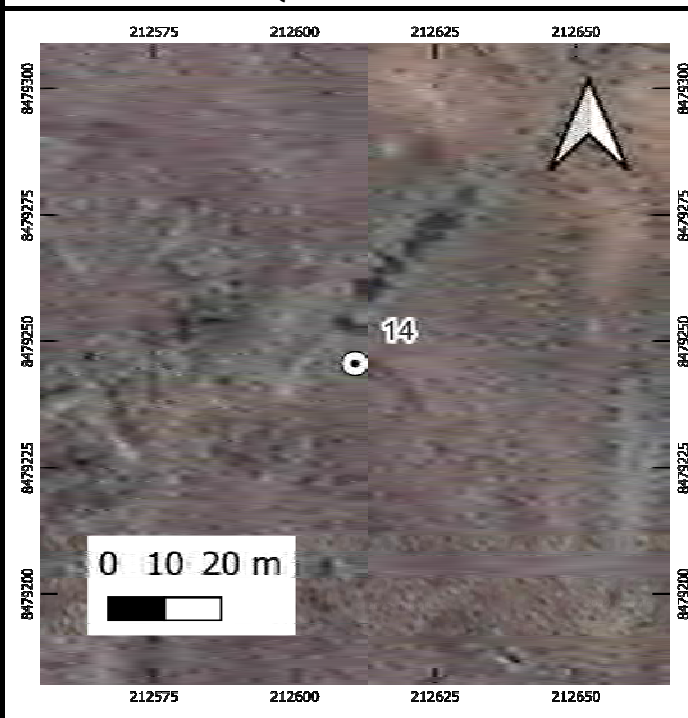
4224.09

19 S

IMAGEN DE RASTREO DE ANTENA



CROQUIS TOPOGRÁFICO



DESCRIPCIÓN

Punto de apoyo ubicado al lado derecho de la vía huaro - Sullucuyoc. Km 16+100, a 140 metros de la vía

DESCRITA POR:

REVISADO POR:

JEFE DE PROYECTO

FECHA:

31-May-22



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



FICHA TÉCNICA

PUNTOS DE CONTROL

CLIENTE:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

PROYECTO:

Determinación de la exactitud de levantamientos fotogramétricos con RPAS en terrenos empinados del sector de Huaru, región Cusco 2021

NOMBRE

CÓDIGO

DISTRITO

PROVINCIA

DEPARTAMENTO

15

15

HUARO

QUISPICANCHI

CUSCO

CARACTERÍSTICAS DE LA MARCA

Cilindro de mortero de cemento con tubo de pvc

LATITUD (S) WGS-84

LONGITUD (W) WGS-84

NORTE (N) WGS-84

ESTE (E) WGS-84

-13.74207634

-71.6566209

8479215.419

212700.411

ALTURA ELIPSOIDAL

ELEVACIÓN (EGM-08)

ZONA UTM

4277.4

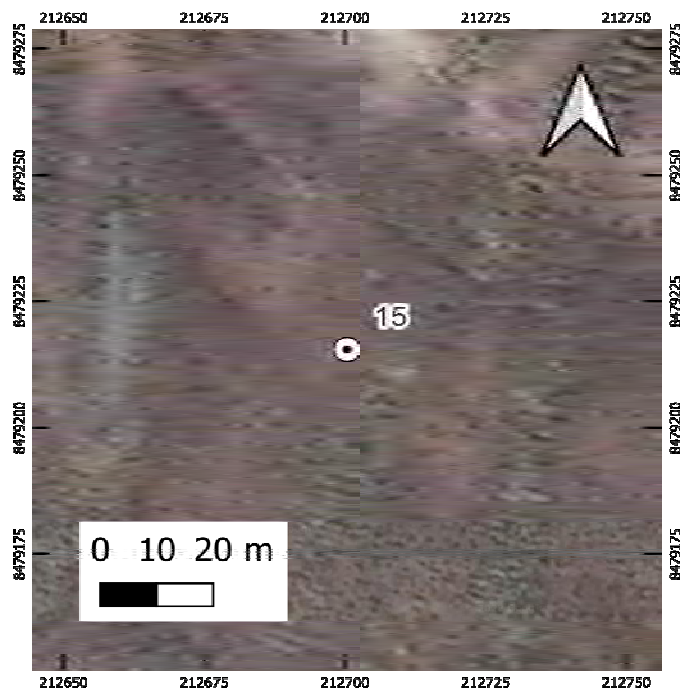
4231.373

19 S

IMAGEN DE RASTREO DE ANTENA



CROQUIS TOPOGRÁFICO



DESCRIPCIÓN

Punto de apoyo ubicado al lado derecho de la vía huaro - Sullucuyoc. Km 16+100, a 140 metros de la vía

DESCRITA POR:

REVISADO POR:

JEFE DE PROYECTO

FECHA:

31-May-22

Anexo 3

Formulario de información de la estación GNSS de rastreo permanente CS01

En este formulario se puede observar los datos generales, así como la información de la estación GNSS, información sobre la localización, coordenadas de la estación, información sobre el equipo GNSS, esquema de la estación, información sobre el procesamiento y contactos de la oficina responsable.



INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL
SUBDIRECCIÓN DE CARTOGRAFÍA
DEPARTAMENTO DE PROCESAMIENTO GEODÉSICO



FORMULARIO DE INFORMACIÓN DE LA ESTACIÓN GNSS DE RASTREO
PERMANENTE

0. DATOS GENERALES:

Preparado por: Departamento de Procesamiento Geodésico
Realizado: 30 de noviembre de 2020
Versión: 3.1.0

1. INFORMACIÓN DE LA ESTACIÓN GNSS:

Nombre: Cusco
Código Nacional: CS01
Código Internacional: 42235M001
Inscripción: Placa de bronce
Orden de la estación: "0"
Fecha de monumentación: 20 de julio de 2010



2. INFORMACIÓN SOBRE LA LOCALIZACIÓN:

Departamento: Cusco
Provincia: Cusco
Distrito: Wanchaq
Ubicación de la estación: Plan MERISS del Gobierno Regional de Cusco

CROQUIS DE UBICACIÓN





INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL
SUBDIRECCIÓN DE CARTOGRAFÍA
DEPARTAMENTO DE PROCESAMIENTO GEODÉSICO



3. COORDENADAS DE LA ESTACIÓN:

Sistema de referencia GRS80 / WGS84	Marco de referencia: ITRF2000
-------------------------------------	-------------------------------

3.1. GEODÉSICAS:

Latitud (S)	Longitud (O)
13°31'27.32009"	71°57'45.34163"
Altura Elipsoidal (m)	Factor de escala combinado
3410.0430	1.000871242128

3.2. CARTESIANAS

X (m)	Y (m)	Z (m)
1921528.2810	-5900745.4758	-1482655.4930

3.3. UTM

Este (m)	Norte (m)
179291.7309	8502947.3663
Zona: 19 Sur	

4. INFORMACIÓN SOBRE EL EQUIPO GNSS

4.1. RECEPTOR:

Modelo: NET R8 TRIMBLE, Doble frecuencia
 N° de serie: 4906K34484
 Versión del firmware: 4.41
 Fecha de instalación: 20 de julio de 2010
 Ubicación del receptor: El receptor se encuentra dentro de una caja metálica de color blanco hum empotrada en la pared, ubicada en la oficina de informática de la mencionada institución.

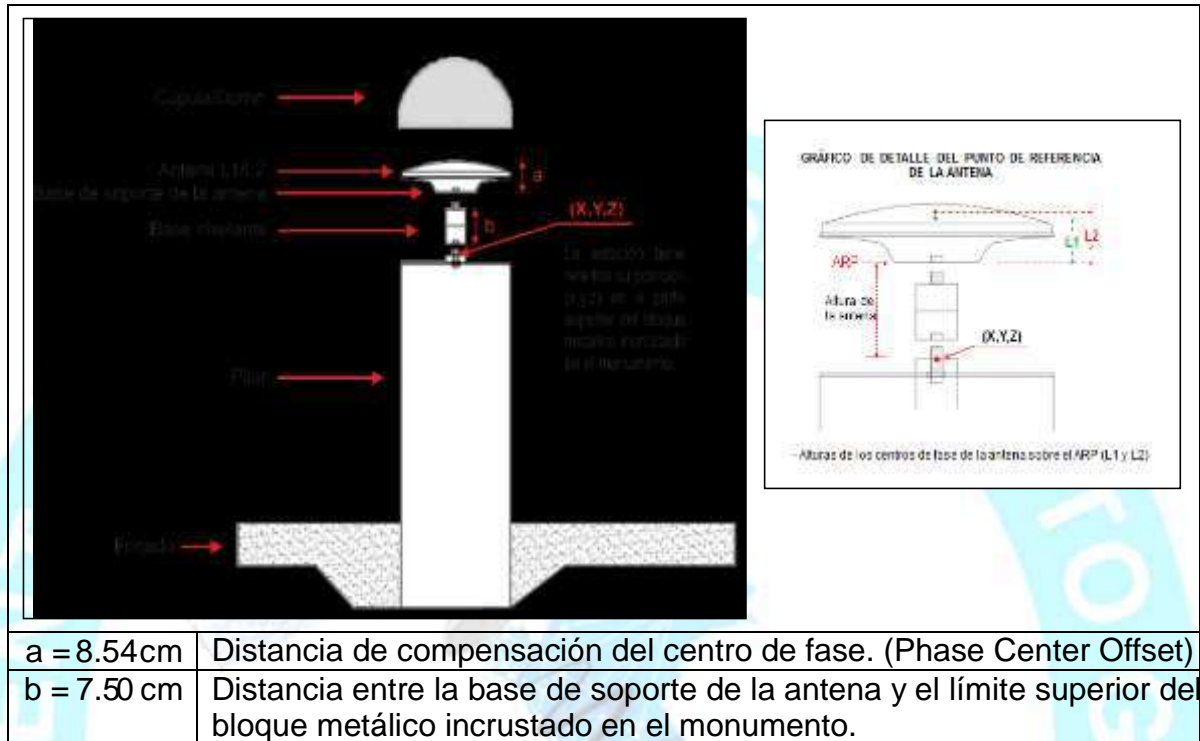
4.2. ANTENA:

Modelo: Zephyr Geodetic Model 2 (L1,L2) Trimble
 N° de serie: 1440929389
 Cubierta protectora: con domo
 Medición de la antena: ARP (Base de soporte de la antena)
 Altura de la antena: 0.0750m
 Fecha de instalación: 20 de julio de 2010
 Ubicación de la antena: La antena está instalada sobre un tubo cilíndrico de ~~10~~ 6 cm de alto y 6 pulgadas de diámetro, ubicada en el techo de la mencionada institución.

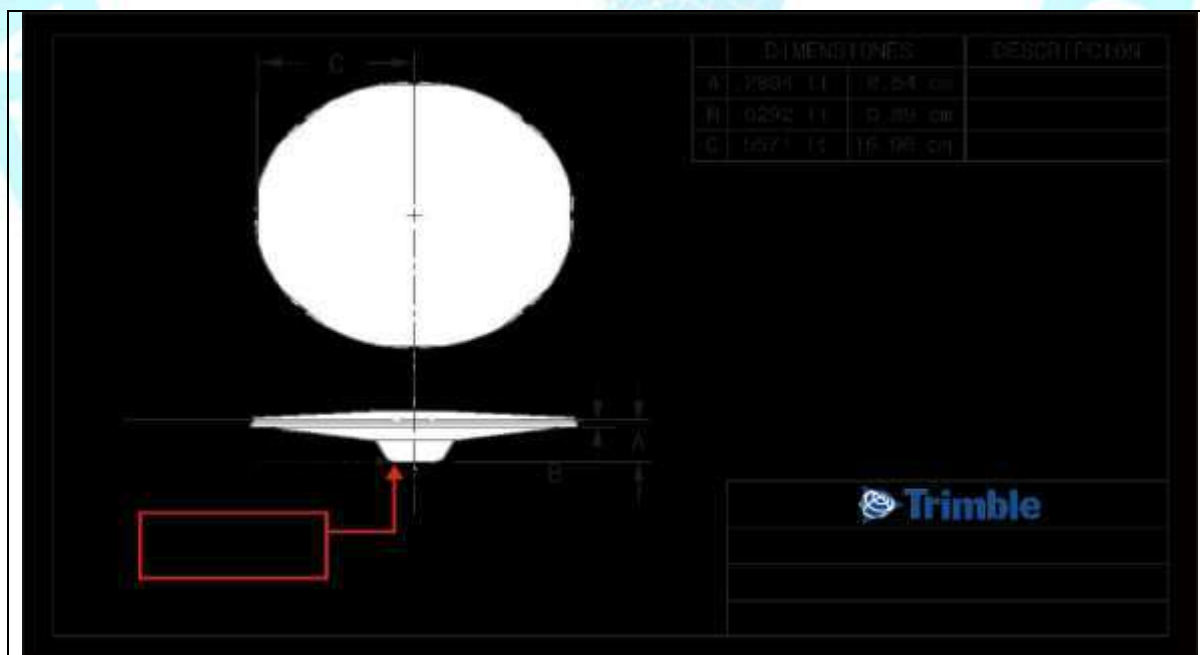


5. ESQUEMA DE LA ESTACIÓN

5.1 ESQUEMA DE ALTURA DE LA ANTENA



5.2 DIMENSIONES DE LA ANTENA





INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL
SUBDIRECCIÓN DE CARTOGRAFÍA
DEPARTAMENTO DE PROCESAMIENTO GEODÉSICO



6. INFORMACIÓN SOBRE EL PROCESAMIENTO

Área de mantenimiento: DPG
Área de control: DPG
Área de procesamiento: DPG
Observables: L1, L2, C1, P2
Intervalo de registro: 5 seg
Máscara de elevación: 5°
Archivo diario: 24 HRS
Formato de archivo nativo: *T01
Datos para el procesamiento: 06 al 19 de septiembre de 2020
Tipo de órbita: Efemérides precisas finales
Archivo procesado: Rinex 2.11
Software de procesamiento: Gamit / Globk V 10.71
Procesador y analista GNSS Lic. Franklin Maylle Gamarra
Revisado por: CAP. EP. Rogger Montoya Monroy

7. CONTACTOS

Oficina: Departamento de Procesamiento Geodésico
Dirección: Av. Andrés Aramburú 1184, Surquillo, Lima 34, Perú
Teléfono: 4759960 / 4753030 Anexo 120
Correo: cpg@ign.gob.pe / irgas_per@ign.gob.pe
Web site: http://209.45.65.186/rastreo_permanente

Anexo 4

Reporte de procesamiento fotogramétrico

En el reporte de procesamiento fotogramétrico se observa las características generales del proceso, la calibración del modelo, la posición de las cámaras, los traslapes, el error de posicionamiento de las marcas y características de los productos finales.

Quality Report



Generated with Pix4Denterprise version 4.5.6



Important: Click on the different icons for:



Help to analyze the results in the Quality Report



Additional information about the sections



Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary



Project	AMSL 60 MAS PUNTOS
Processed	2022-01-01 16:41:47
Camera Model Name(s)	L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	2.22 cm / 0.87 in
Area Covered	0.222 km ² / 22.1968 ha / 0.09 sq. mi. / 54.8778 acres

Quality Check



Images	median of 74508 keypoints per image	
Dataset	615 out of 615 images calibrated (100%), all images enabled	
Camera Optimization	2.31% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
Matching	median of 16598.8 matches per calibrated image	
Georeferencing	yes, 12 GCPs (12 3D), mean RMS error = 0.008 m	

Preview

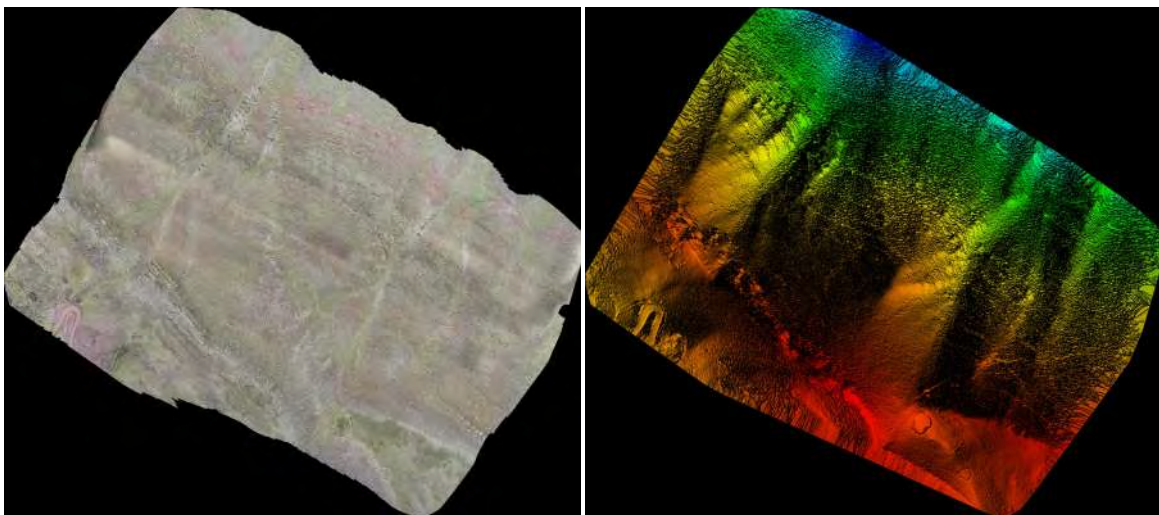


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details



Number of Calibrated Images	615 out of 615
Number of Geolocated Images	615 out of 615

 Initial Image Positions

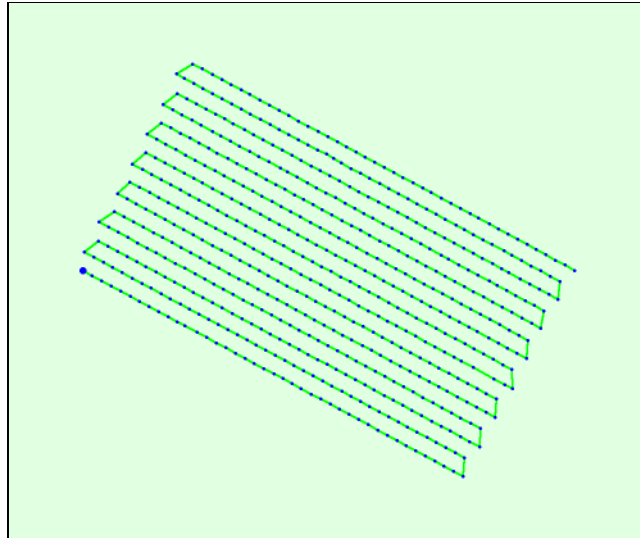
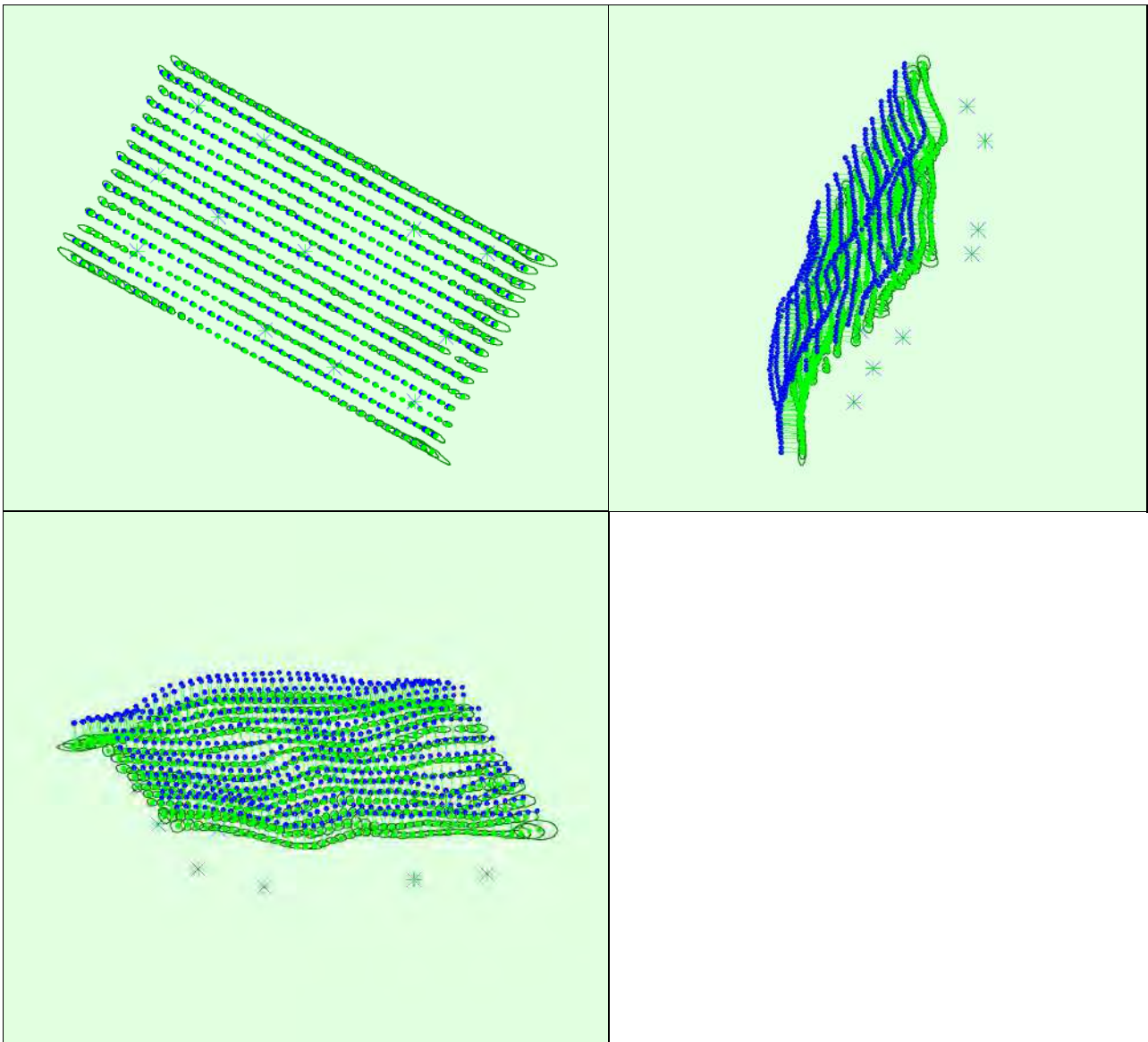


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

 Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



Uncertainty ellipses 500x magnified

Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Absolute camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X[m]	Camera Displacement Y[m]	Camera Displacement Z[m]
Mean	0.012	0.008	0.007	0.007	0.010	0.007	0.003	0.004	0.009
Sigma	0.005	0.003	0.002	0.003	0.004	0.003	0.001	0.002	0.003

Overlap

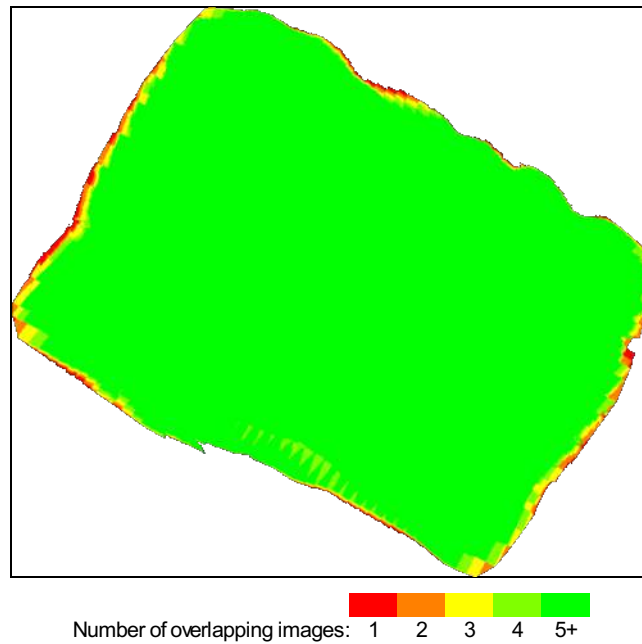


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details

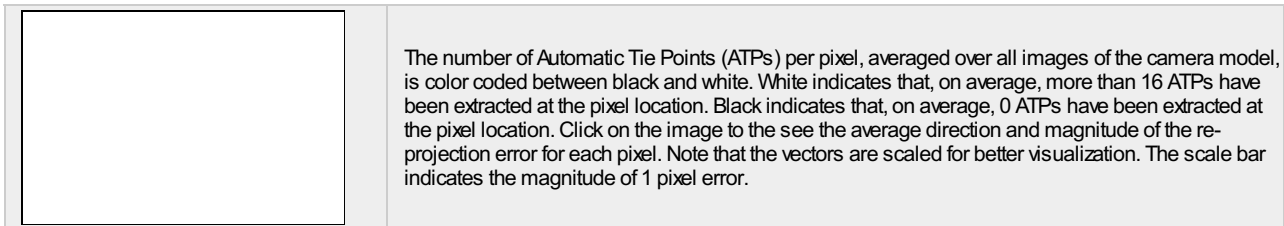
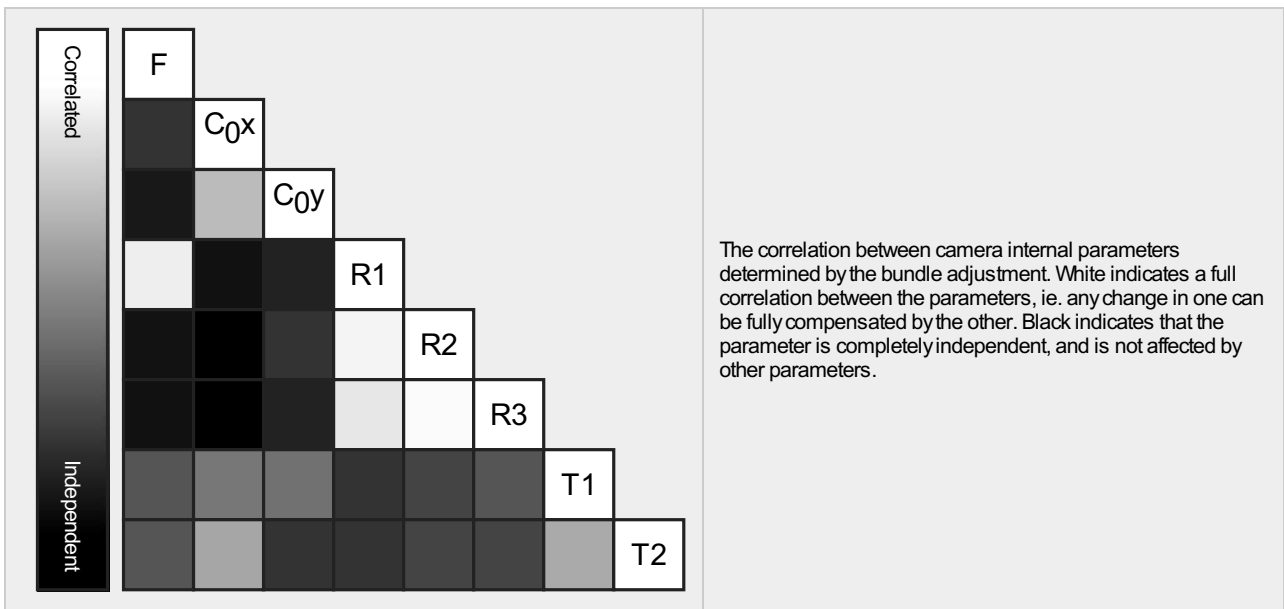
Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	9954114
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	3765364
Mean Reprojection Error [pixels]	0.116

Internal Camera Parameters

L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.825 [mm] x 8.550 [mm]

EXIF ID: L1D-20c_10.3_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	4470.830 [pixel] 10.479 [mm]	2770.870 [pixel] 6.494 [mm]	1698.700 [pixel] 3.981 [mm]	0.009	0.040	-0.050	-0.003	0.002
Optimized Values	4367.238 [pixel] 10.236 [mm]	2723.693 [pixel] 6.384 [mm]	1797.858 [pixel] 4.214 [mm]	0.005	0.034	-0.040	-0.002	-0.000
Uncertainties (Sigma)	0.238 [pixel] 0.001 [mm]	0.056 [pixel] 0.000 [mm]	0.109 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	74508	16599
Mn	63887	3468
Max	79955	32646
Mean	74550	16186

3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	2678241
In 3 Images	615078
In 4 Images	211081
In 5 Images	94234
In 6 Images	50996
In 7 Images	32199
In 8 Images	21867
In 9 Images	15827
In 10 Images	11675
In 11 Images	8697
In 12 Images	6559
In 13 Images	4922
In 14 Images	3682
In 15 Images	2851
In 16 Images	2091
In 17 Images	1506
In 18 Images	1083
In 19 Images	731
In 20 Images	524
In 21 Images	397
In 22 Images	301
In 23 Images	245

In 24 Images	150
In 25 Images	122
In 26 Images	92
In 27 Images	70
In 28 Images	48
In 29 Images	27
In 30 Images	25
In 31 Images	13
In 32 Images	12
In 33 Images	7
In 34 Images	5
In 35 Images	2
In 36 Images	2
In 38 Images	1
In 40 Images	1

2D Keypoint Matches

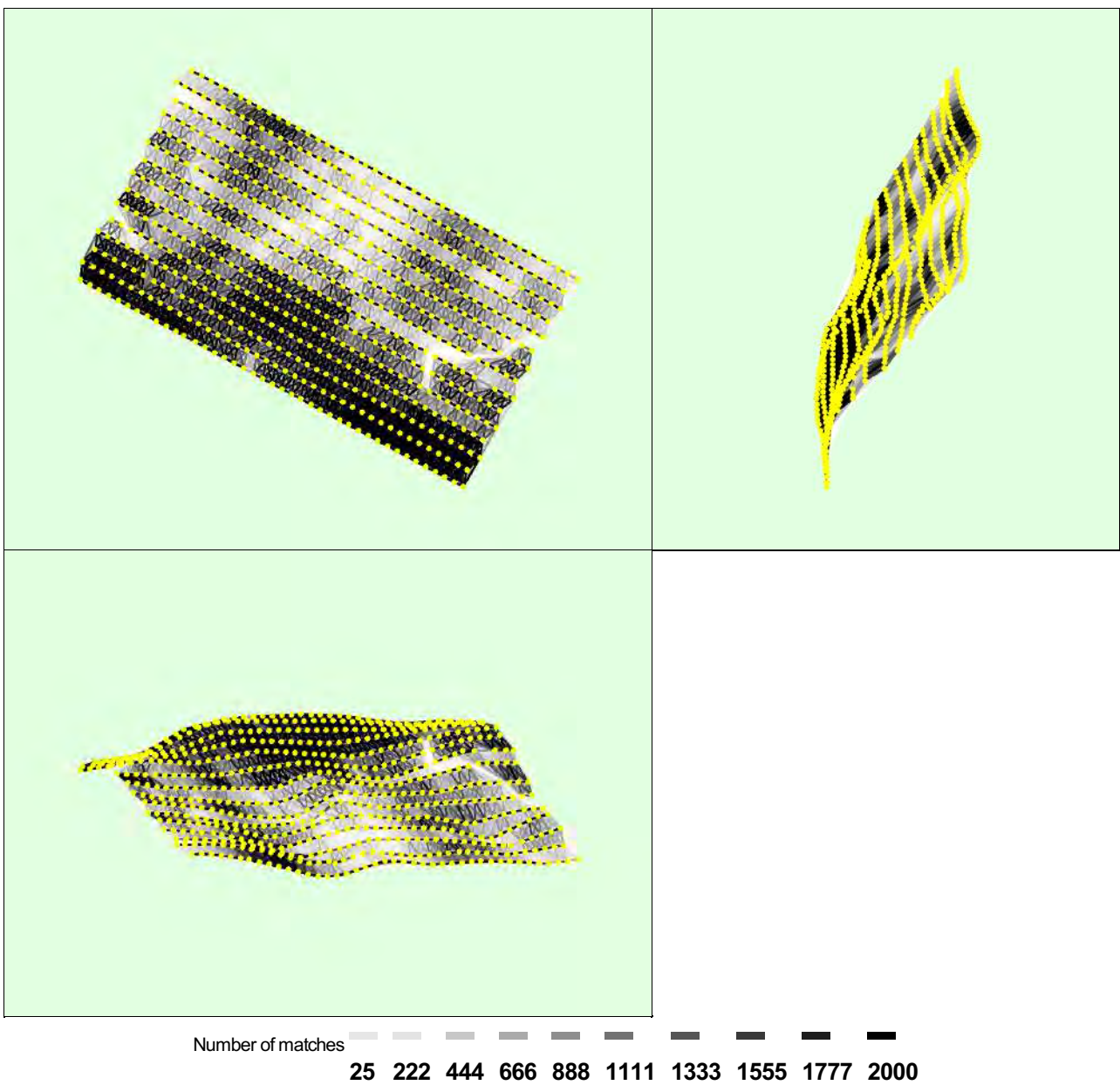


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images.

Geolocation Details



Ground Control Points



GCP Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
CUS12124 (3D)	0.020/ 0.020	-0.004	-0.002	-0.003	0.135	17 / 17
3 (3D)	0.020/ 0.020	0.006	0.004	0.016	0.308	19 / 19
4 (3D)	0.020/ 0.020	-0.004	-0.002	-0.028	0.384	22 / 22
5 (3D)	0.020/ 0.020	-0.001	0.001	0.012	0.288	14 / 14
6 (3D)	0.020/ 0.020	-0.001	-0.015	-0.010	0.259	26 / 26
7 (3D)	0.020/ 0.020	-0.001	0.007	0.004	0.223	35 / 35
8 (3D)	0.020/ 0.020	0.006	0.021	0.010	0.323	17 / 17
10 (3D)	0.020/ 0.020	-0.005	-0.001	-0.011	0.210	32 / 32
11 (3D)	0.020/ 0.020	-0.006	0.001	0.006	0.223	20 / 20
12 (3D)	0.020/ 0.020	0.005	-0.002	0.002	0.202	33 / 33
14 (3D)	0.020/ 0.020	-0.002	-0.007	-0.005	0.257	46 / 46
15 (3D)	0.020/ 0.020	0.005	-0.005	0.003	0.439	33 / 33
Mean [m]		-0.000131	-0.000027	-0.000302		
Sigma [m]		0.004426	0.008249	0.011587		
RMS Error [m]		0.004428	0.008249	0.011591		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

Absolute Geolocation Variance



Mn Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	0.00	0.00	0.00
-3.00	0.00	47.15	53.33	51.54
0.00	3.00	52.85	46.67	46.18
3.00	6.00	0.00	0.00	2.28
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		-2.202622	0.950613	25.123988
Sigma [m]		1.196859	0.474191	1.138876
RMS Error [m]		2.506793	1.062320	25.149787

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	-2.202622	0.950613	25.123988

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

Relative Geolocation Variance



Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
----------------------------	--------------	--------------	--------------

[-1.00, 1.00]	100.00	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	0.618
Phi	1.206
Kappa	9.668

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Rolling Shutter Statistics

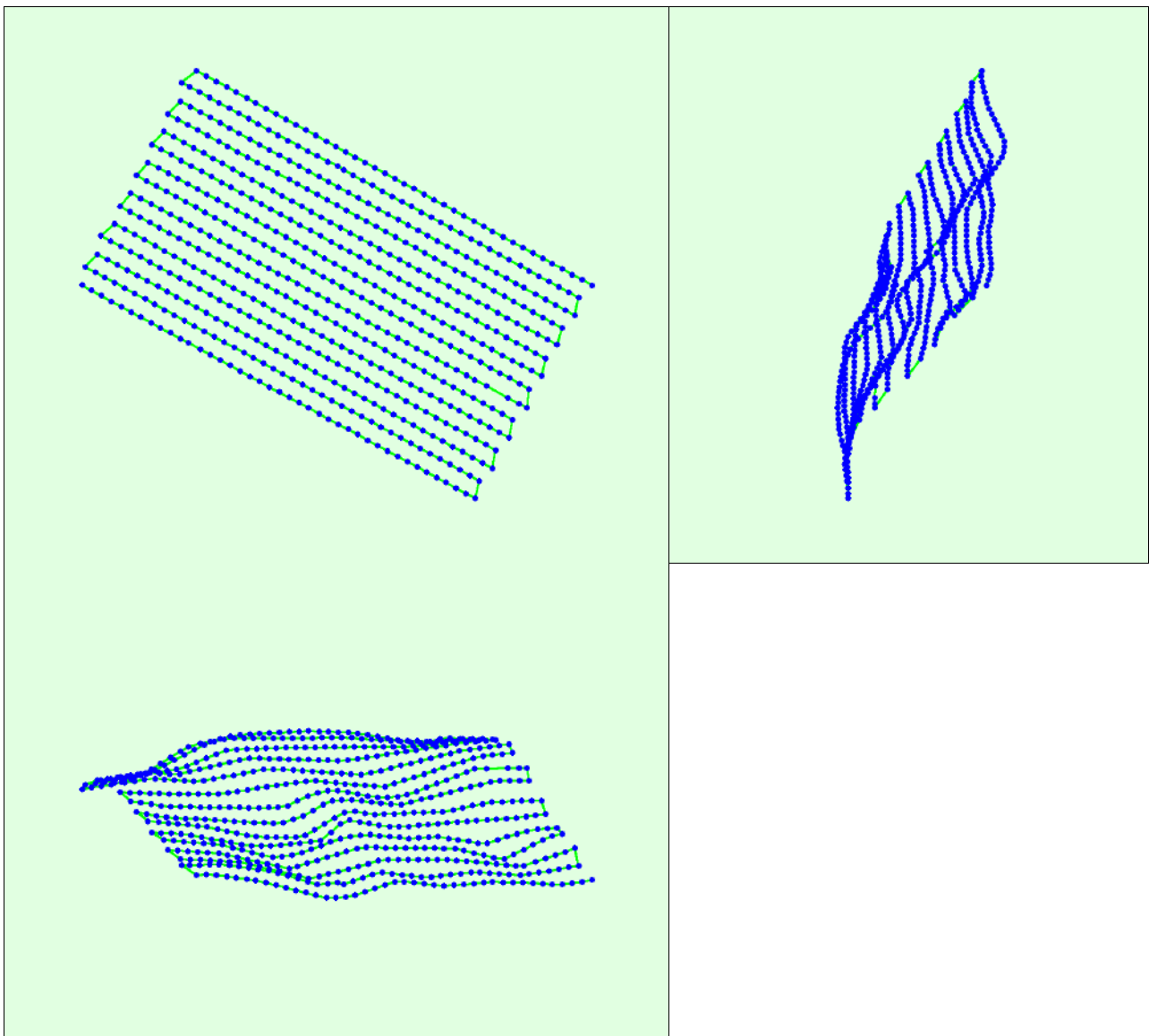


Figure 6: Camera movement estimated by the rolling shutter camera model. The green line follows the computed image positions. The blue dots represent the camera position at the start of the exposure. The blue lines represent the camera motion during the rolling shutter readout, re-scaled by a project dependant scaling factor for better visibility.

Median Camera Speed	5.0852 [m/s]
Median Camera Displacement During Sensor Readout)	0.3066 [m]
Median Rolling Shutter Readout Time	59.1401 [ms]

Initial Processing Details



System Information



Hardware	CPU: AMD Ryzen 9 3900X 12-Core Processor RAM: 32GB GPU: NVIDIA GeForce RTX 3080 (Driver: 27.21.14.5751)
Operating System	Windows 10 Home, 64-bit

Coordinate Systems



Image Coordinate System	WGS 84 (EGM96 Geoid)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 19S (EGM96 Geoid)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 19S (EGM96 Geoid)

Processing Options



Detected Template	No Template Available
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, no

Point Cloud Densification details



Processing Options



Image Scale	multiscale, 1 (Original image size, Slow)
Point Density	High (Slow)
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: no
LOD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes

Results



Number of Generated Tiles	52
Number of 3D Densified Points	1286316582
Average Density (per m ³)	6869.2

DSM, Orthomosaic and Index Details



Processing Options



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (2.22 [cm/pixel])
--------------------------------	---------------------------

DSMFilters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no

Quality Report



Generated with Pix4Denterprise version 4.5.6



Important: Click on the different icons for:



Help to analyze the results in the Quality Report



Additional information about the sections



Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary



Project	agl80v2
Processed	2021-12-31 17:32:19
Camera Model Name(s)	L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	2.65 cm / 1.04 in
Area Covered	0.244 km ² / 24.3852 ha / 0.09 sq. mi. / 60.2884 acres

Quality Check



Images	median of 74356 keypoints per image	
Dataset	341 out of 341 images calibrated (100%), all images enabled	
Camera Optimization	2.37% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
Matching	median of 32554.2 matches per calibrated image	
Georeferencing	yes, 7 GCPs (7 3D), mean RMS error = 0.007 m	

Preview

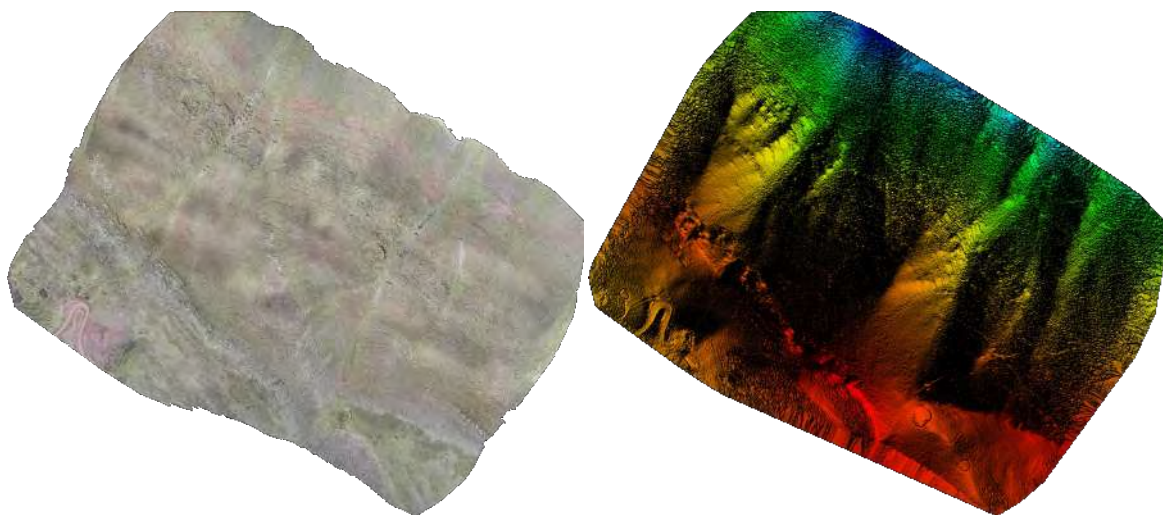


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details



Number of Calibrated Images	341 out of 341
Number of Geolocated Images	341 out of 341

Initial Image Positions

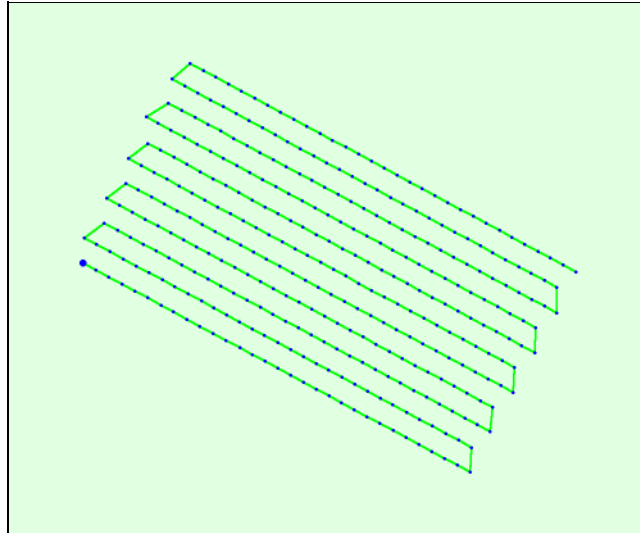
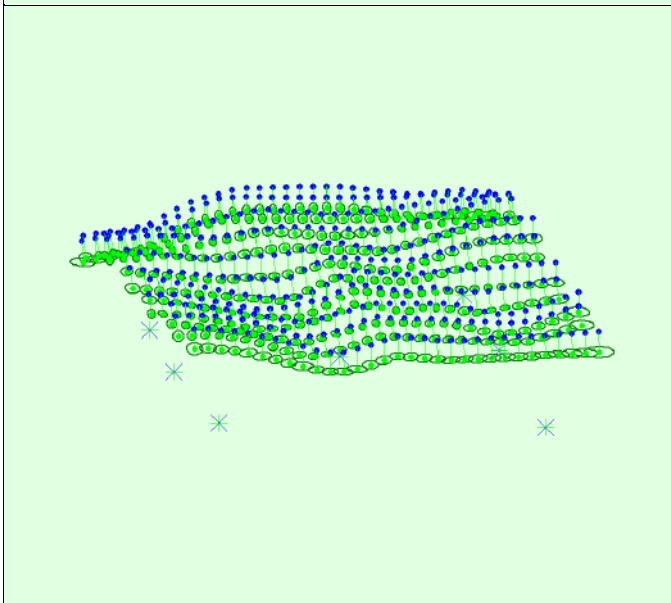
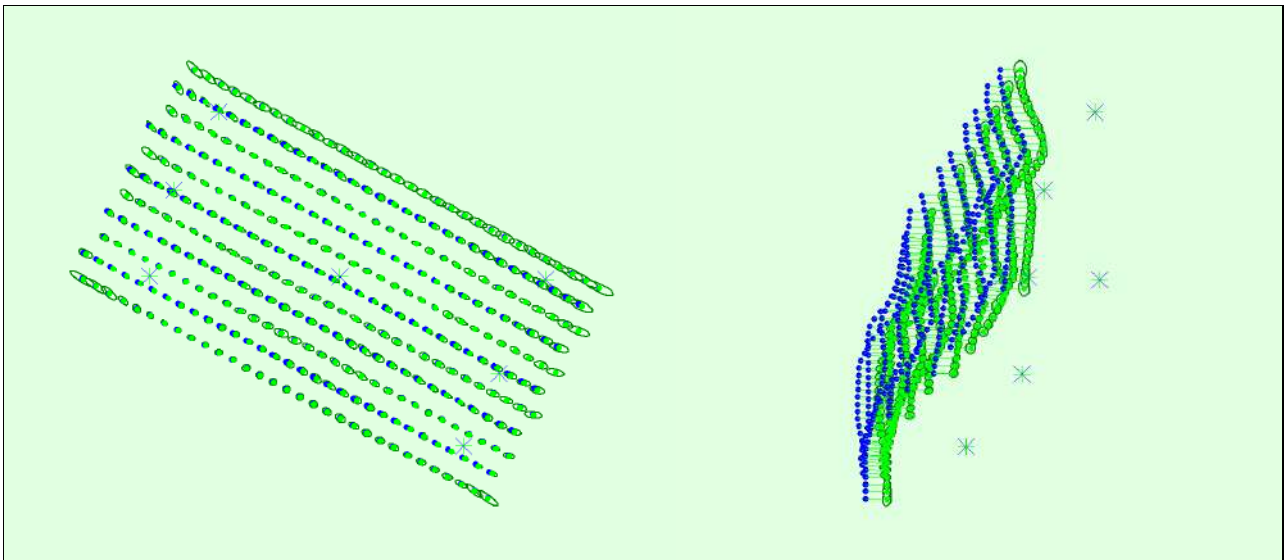


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



Uncertainty ellipses 500x magnified

Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Absolute camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X[m]	Camera Displacement Y[m]	Camera Displacement Z[m]
Mean	0.012	0.008	0.008	0.005	0.007	0.005	0.003	0.004	0.008
Sigma	0.004	0.002	0.001	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.003

Overlap

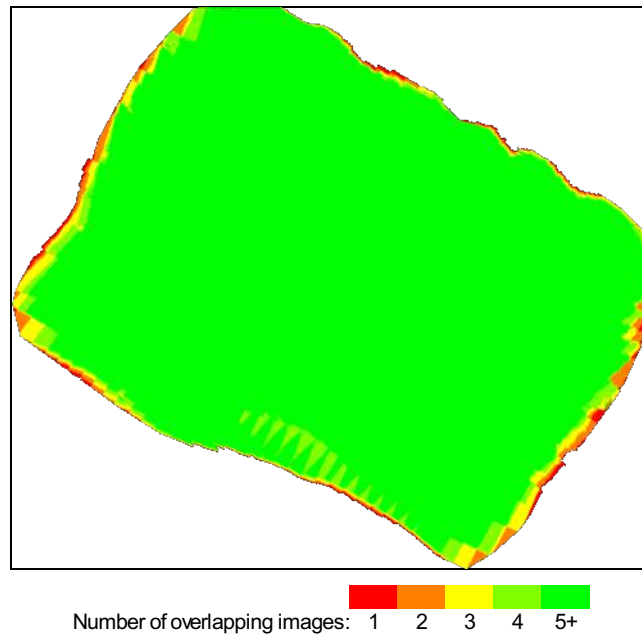


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details

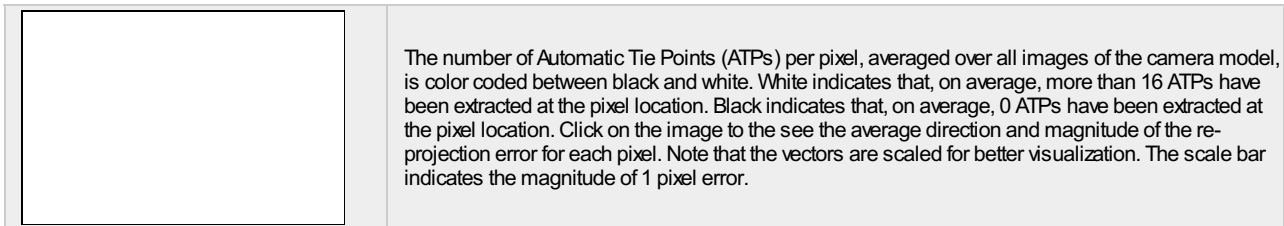
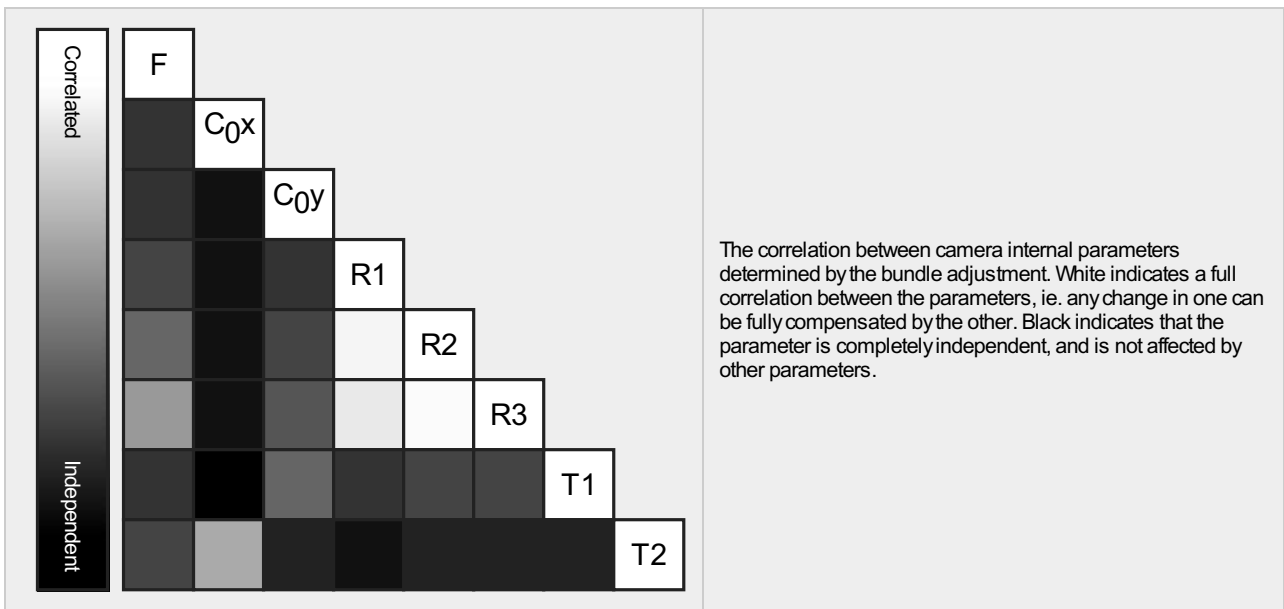
Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	11588614
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	4229199
Mean Reprojection Error [pixels]	0.148

Internal Camera Parameters

L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.825 [mm] x 8.550 [mm]

EXIF ID: L1D-20c_10.3_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	4470.830 [pixel] 10.479 [mm]	2770.870 [pixel] 6.494 [mm]	1698.700 [pixel] 3.981 [mm]	0.009	0.040	-0.050	-0.003	0.002
Optimized Values	4364.733 [pixel] 10.230 [mm]	2723.571 [pixel] 6.383 [mm]	1798.146 [pixel] 4.214 [mm]	0.005	0.033	-0.038	-0.002	-0.000
Uncertainties (Sigma)	0.388 [pixel] 0.001 [mm]	0.050 [pixel] 0.000 [mm]	0.099 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	74356	32554
Mn	61284	17134
Max	79992	49993
Mean	74054	33984

3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	2843214
In 3 Images	743539
In 4 Images	284846
In 5 Images	131136
In 6 Images	73606
In 7 Images	46371
In 8 Images	31652
In 9 Images	21958
In 10 Images	15300
In 11 Images	10791
In 12 Images	7706
In 13 Images	5580
In 14 Images	4060
In 15 Images	2777
In 16 Images	1826
In 17 Images	1350
In 18 Images	895
In 19 Images	680
In 20 Images	525
In 21 Images	401
In 22 Images	288
In 23 Images	191

In 24 Images	137
In 25 Images	104
In 26 Images	89
In 27 Images	48
In 28 Images	39
In 29 Images	27
In 30 Images	20
In 31 Images	16
In 32 Images	6
In 33 Images	9
In 34 Images	3
In 35 Images	5
In 36 Images	3
In 37 Images	1

2D Keypoint Matches

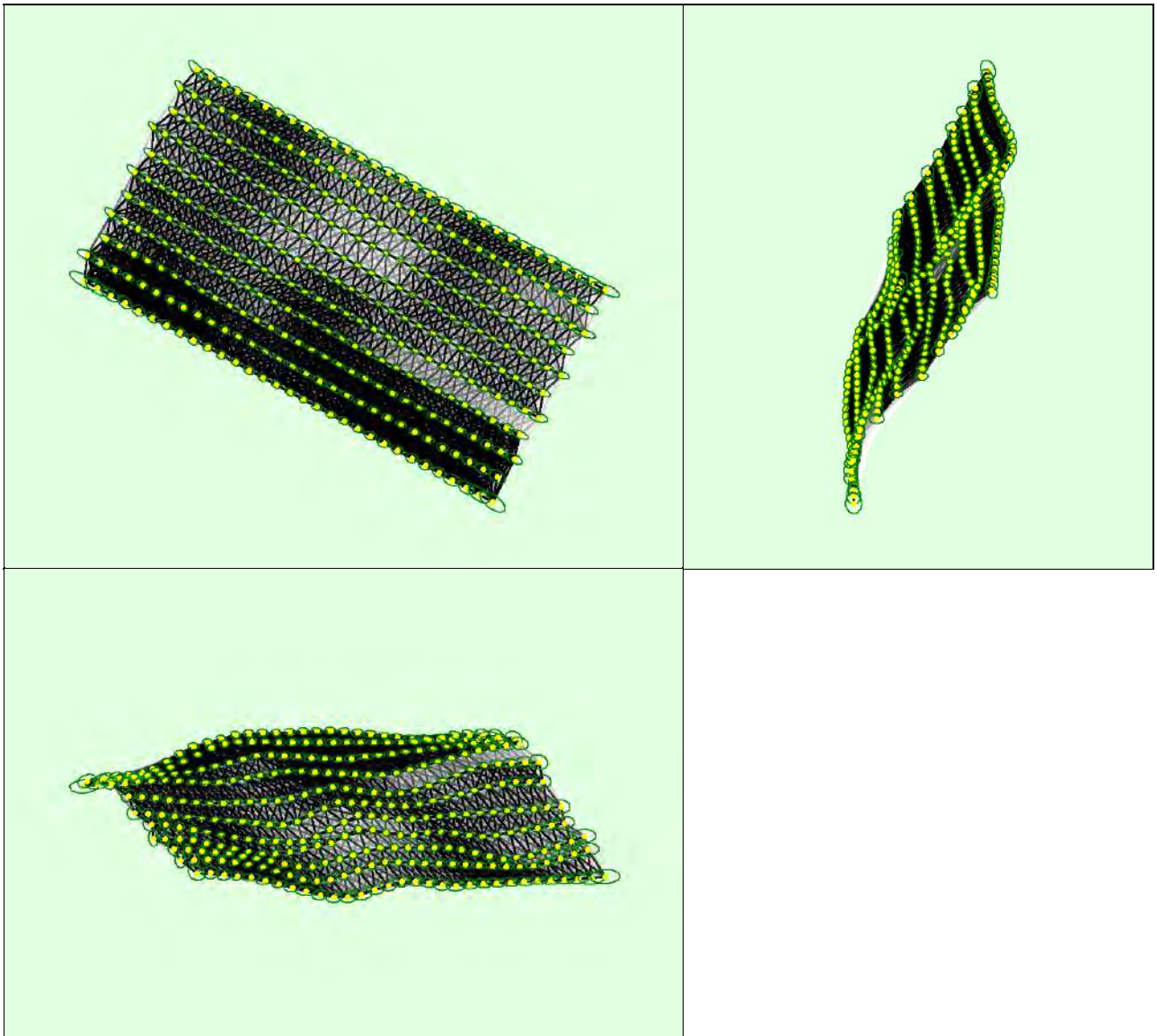


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties



	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X[m]	Camera Displacement Y[m]	Camera Displacement Z[m]
Mean	0.013	0.009	0.008	0.006	0.008	0.006	0.004	0.004	0.008
Sigma	0.004	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.003

Geolocation Details



Ground Control Points



GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X[m]	Error Y[m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
1 (3D)	0.020/0.020	0.001	0.001	0.001	0.443	19 / 19
5 (3D)	0.020/0.020	-0.008	0.007	0.005	0.417	17 / 17
6 (3D)	0.020/0.020	-0.005	-0.012	-0.009	0.555	24 / 24
8 (3D)	0.020/0.020	0.007	0.015	0.011	0.465	19 / 19
10 (3D)	0.020/0.020	0.003	-0.013	-0.014	0.451	28 / 28
11 (3D)	0.020/0.020	-0.000	0.001	0.006	0.601	22 / 22
15 (3D)	0.020/0.020	0.003	0.001	0.001	0.622	32 / 32
Mean [m]		0.000005	-0.000004	0.000037		
Sigma [m]		0.004629	0.009015	0.008302		
RMS Error [m]		0.004629	0.009015	0.008302		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

Absolute Geolocation Variance



Mn Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	0.00	0.00	0.00
-3.00	0.00	45.45	54.55	48.97
0.00	3.00	54.55	45.45	51.03
3.00	6.00	0.00	0.00	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		-1.788895	1.066650	22.560468
Sigma [m]		1.515843	0.760586	0.861519
RMS Error [m]		2.344765	1.310051	22.576912

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	-1.788895	1.066650	22.560468

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

Relative Geolocation Variance



Relative Geolocation Error	Images X[%]	Images Y[%]	Images Z[%]
[-1.00, 1.00]	100.00	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	0.631
Phi	1.300
Kappa	5.284

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Rolling Shutter Statistics

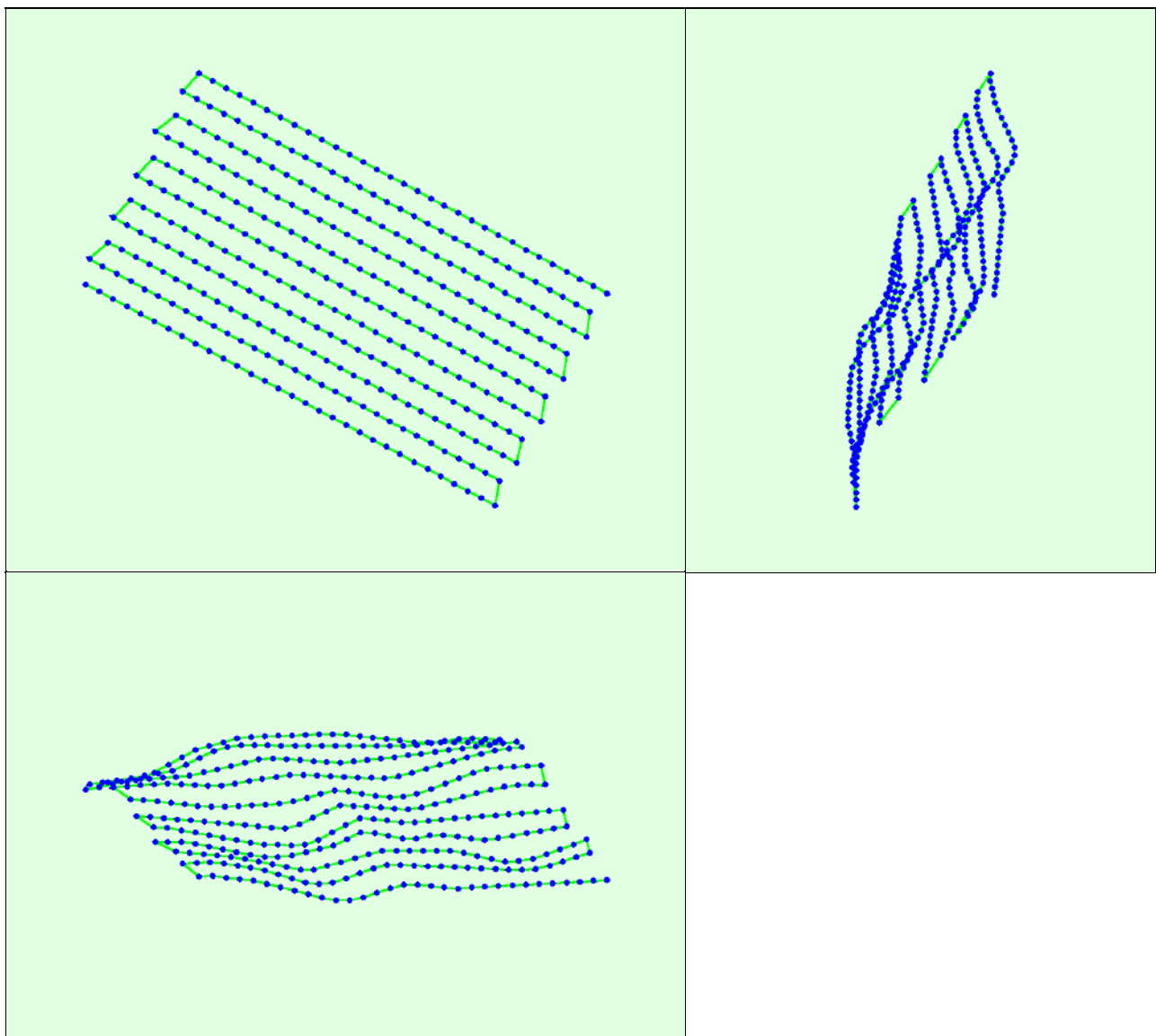


Figure 6: Camera movement estimated by the rolling shutter camera model. The green line follows the computed image positions. The blue dots represent the camera position at the start of the exposure. The blue lines represent the camera motion during the rolling shutter readout, re-scaled by a project dependant scaling factor for better visibility.

Median Camera Speed

8.0757 [m/s]

Median Camera Displacement During Sensor Readout)	0.398 [m]
Median Rolling Shutter Readout Time	52.3583 [ms]

Initial Processing Details



System Information



Hardware	CPU: AMD Ryzen 5 5600X6-Core Processor RAM: 32GB GPU: NVIDIA GeForce RTX 3080 (Driver: 27.21.14.5671)
Operating System	Windows 10 Pro, 64-bit

Coordinate Systems



Image Coordinate System	WGS 84 (EGM96 Geoid)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 19S (EGM96 Geoid)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 19S (EGM96 Geoid)

Processing Options



Detected Template	No Template Available
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

Point Cloud Densification details



Processing Options



Image Scale	multiscale, 1 (Original image size, Slow)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	no
LOD	Generated: no
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes

Results



Number of Generated Tiles	8
Number of 3D Densified Points	199832239
Average Density (per m ³)	738.54

DSM, Orthomosaic and Index Details



Processing Options



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (2.65 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no

Quality Report



Generated with Pix4Denterprise version 4.5.6



Important: Click on the different icons for:



Help to analyze the results in the Quality Report



Additional information about the sections



Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary



Project	agl 100
Processed	2021-12-15 21:27:36
Camera Model Name(s)	L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	3.21 cm / 1.26 in
Area Covered	0.267 km ² / 26.6843 ha / 0.10 sq. mi. / 65.9726 acres

Quality Check



Images	median of 74008 keypoints per image	
Dataset	225 out of 225 images calibrated (100%), all images enabled	
Camera Optimization	2.31% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
Matching	median of 30443.8 matches per calibrated image	
Georeferencing	yes, 5 GCPs (5 3D), mean RMS error = 0.004 m	

Preview

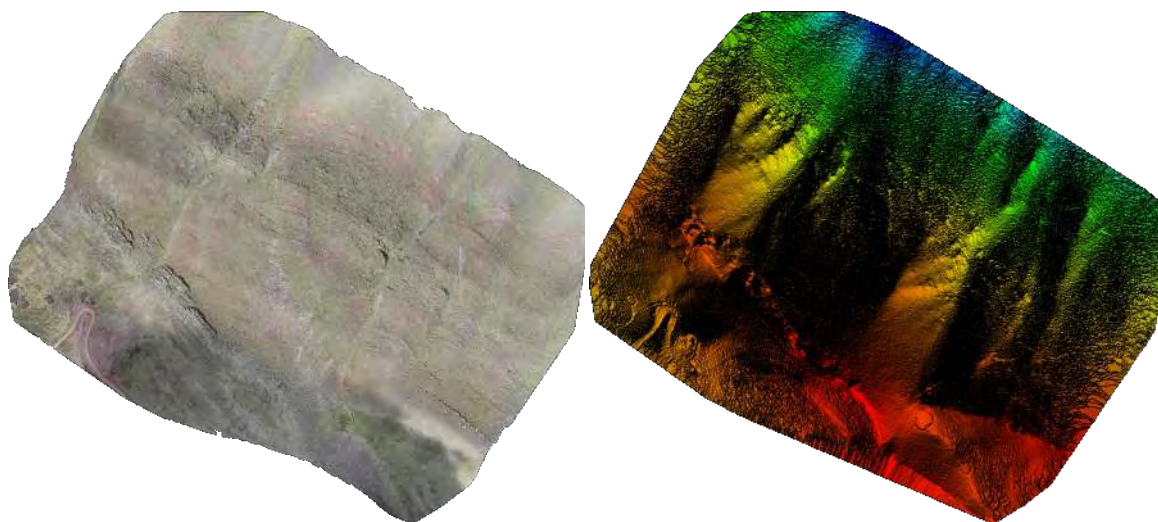


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details



Number of Calibrated Images	225 out of 225
Number of Geolocated Images	225 out of 225

Initial Image Positions

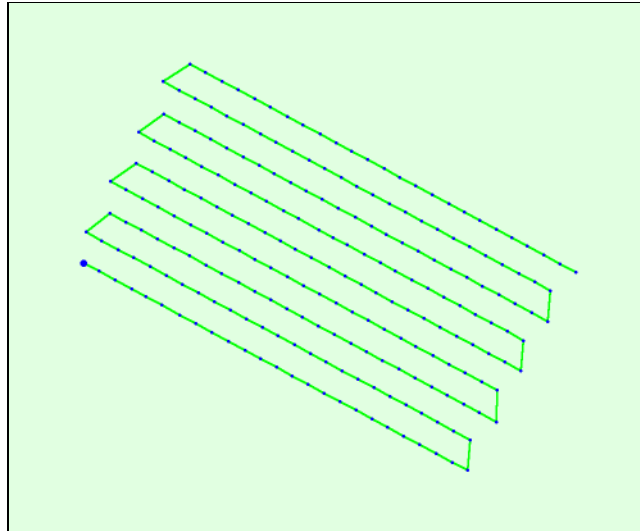
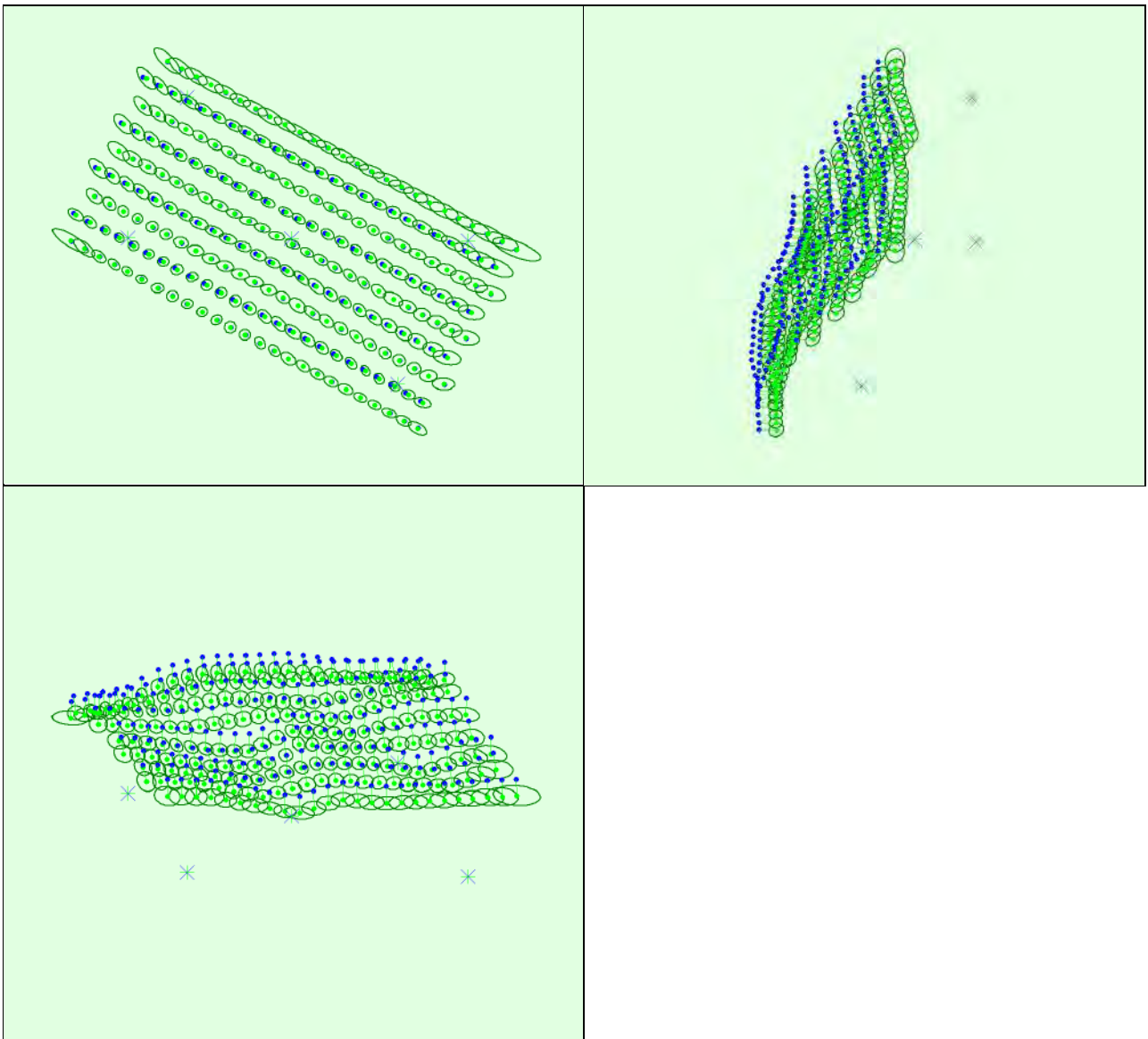


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



Uncertainty ellipses 1000x magnified

Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Absolute camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X[m]	Camera Displacement Y[m]	Camera Displacement Z[m]
Mean	0.011	0.008	0.009	0.004	0.005	0.004	0.003	0.004	0.007
Sigma	0.003	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002

Overlap

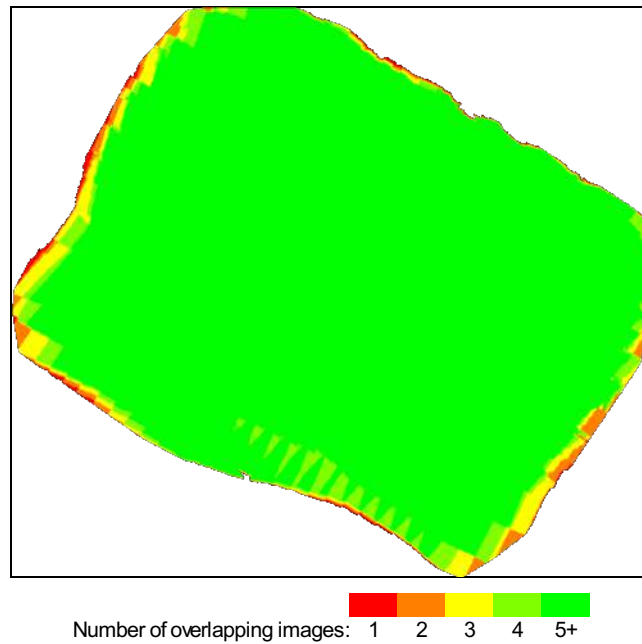


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details

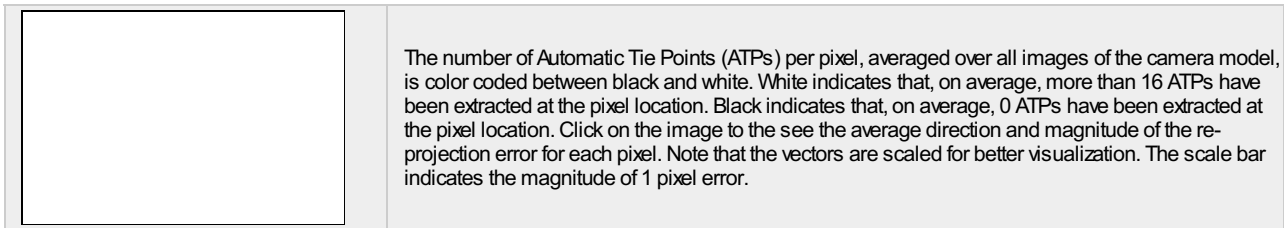
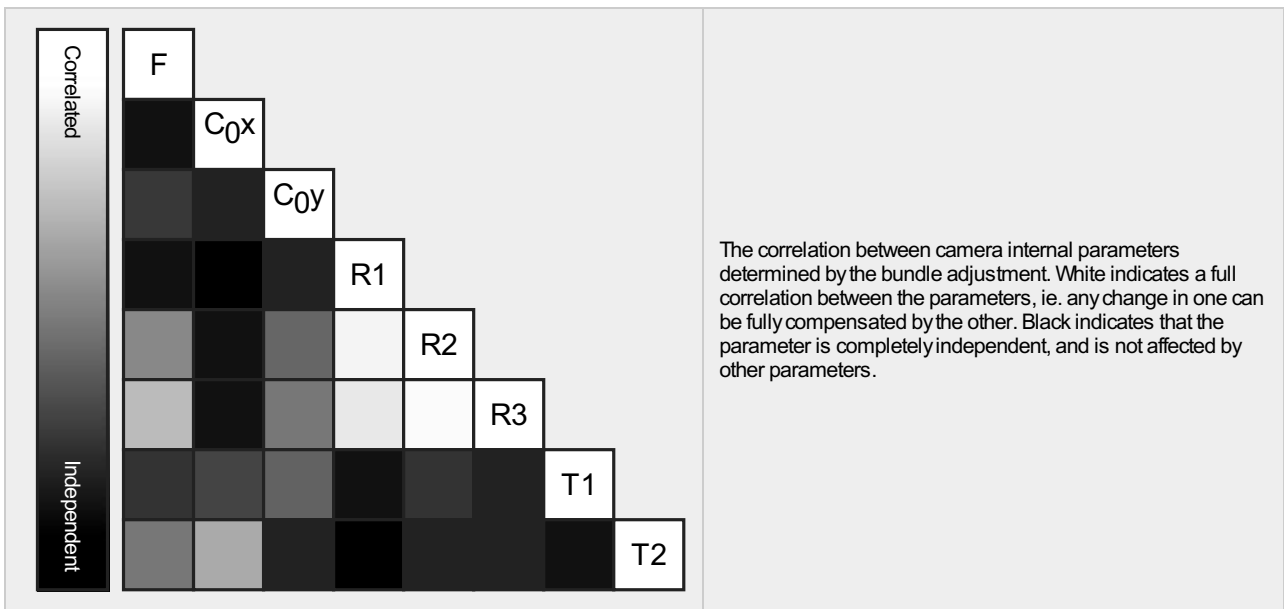
Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	7080657
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	2616971
Mean Reprojection Error [pixels]	0.152

Internal Camera Parameters

L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.825 [mm] x 8.550 [mm]

EXIF ID: L1D-20c_10.3_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	4470.830 [pixel] 10.479 [mm]	2770.870 [pixel] 6.494 [mm]	1698.700 [pixel] 3.981 [mm]	0.009	0.040	-0.050	-0.003	0.002
Optimized Values	4367.316 [pixel] 10.236 [mm]	2723.916 [pixel] 6.384 [mm]	1798.733 [pixel] 4.216 [mm]	0.005	0.037	-0.042	-0.002	-0.000
Uncertainties (Sigma)	0.384 [pixel] 0.001 [mm]	0.046 [pixel] 0.000 [mm]	0.090 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	74008	30444
Mn	50872	15908
Max	79764	45544
Mean	72981	31470

3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	1753588
In 3 Images	477797
In 4 Images	180375
In 5 Images	79138
In 6 Images	43361
In 7 Images	27039
In 8 Images	17811
In 9 Images	11783
In 10 Images	7932
In 11 Images	5194
In 12 Images	3834
In 13 Images	2640
In 14 Images	1782
In 15 Images	1216
In 16 Images	878
In 17 Images	658
In 18 Images	552
In 19 Images	366
In 20 Images	307
In 21 Images	212
In 22 Images	151
In 23 Images	117

In 24 Images	85
In 25 Images	50
In 26 Images	37
In 27 Images	19
In 28 Images	16
In 29 Images	7
In 30 Images	6
In 31 Images	11
In 32 Images	7
In 33 Images	2

2D Keypoint Matches

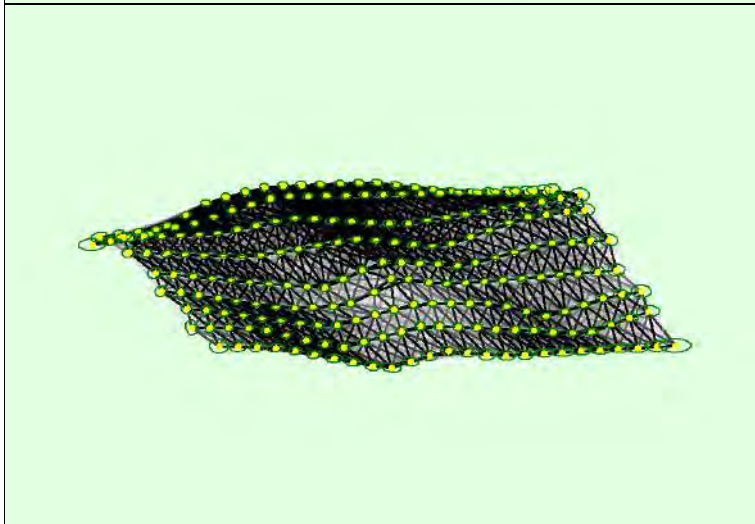
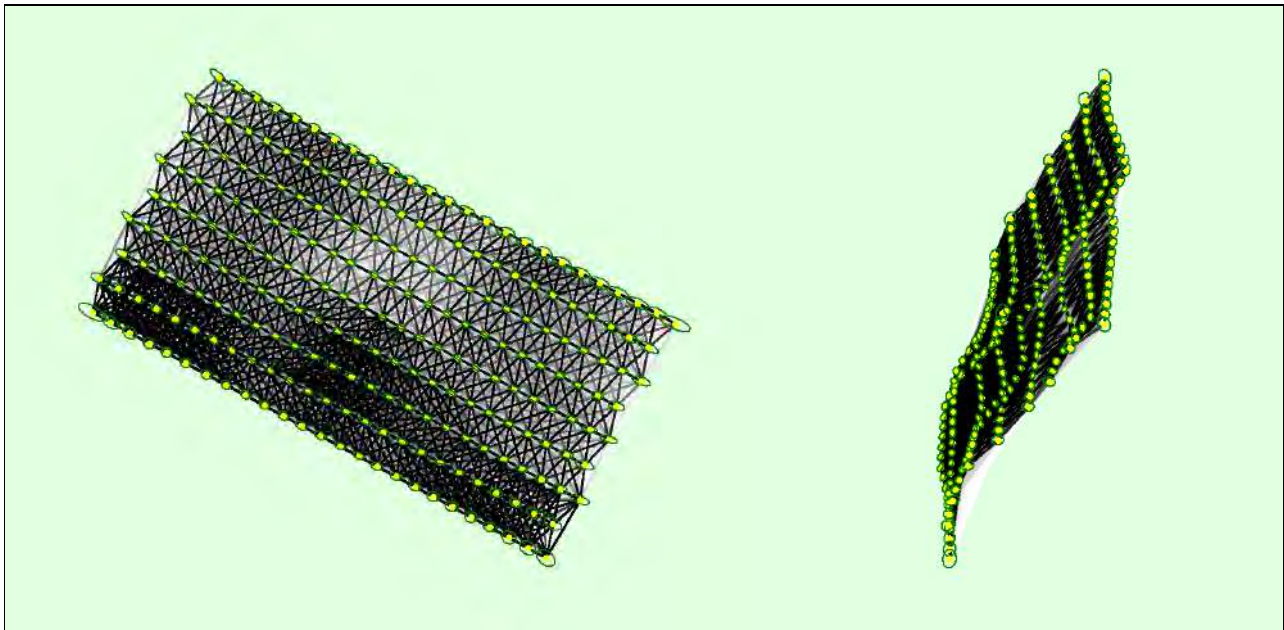


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X[m]	Camera Displacement Y[m]	Camera Displacement Z[m]
Mean	0.012	0.008	0.007	0.004	0.006	0.004	0.004	0.004	0.008

Sigma	0.003	0.002	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Geolocation Details



Ground Control Points



GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
1 (3D)	0.020/0.020	0.001	-0.003	-0.007	0.642	12 / 12
5 (3D)	0.020/0.020	-0.004	-0.000	-0.003	0.426	12 / 12
8 (3D)	0.020/0.020	0.003	0.009	0.010	0.525	22 / 22
11 (3D)	0.020/0.020	-0.004	-0.002	0.001	0.642	20 / 20
15 (3D)	0.020/0.020	0.003	-0.003	-0.004	0.535	33 / 33
Mean [m]		-0.000045	-0.000064	-0.000659		
Sigma [m]		0.003302	0.004483	0.005728		
RMS Error [m]		0.003302	0.004483	0.005766		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

Absolute Geolocation Variance



Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	0.00	0.00	0.00
-3.00	0.00	44.44	55.56	52.00
0.00	3.00	55.56	44.44	48.00
3.00	6.00	0.00	0.00	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		-1.445664	0.634486	21.411844
Sigma [m]		1.869863	1.000112	0.446077
RMS Error [m]		2.363542	1.184397	21.416490

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	-1.445664	0.634486	21.411844

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

Relative Geolocation Variance



Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	100.00	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00

Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	0.634
Phi	1.302
Kappa	3.875

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Rolling Shutter Statistics

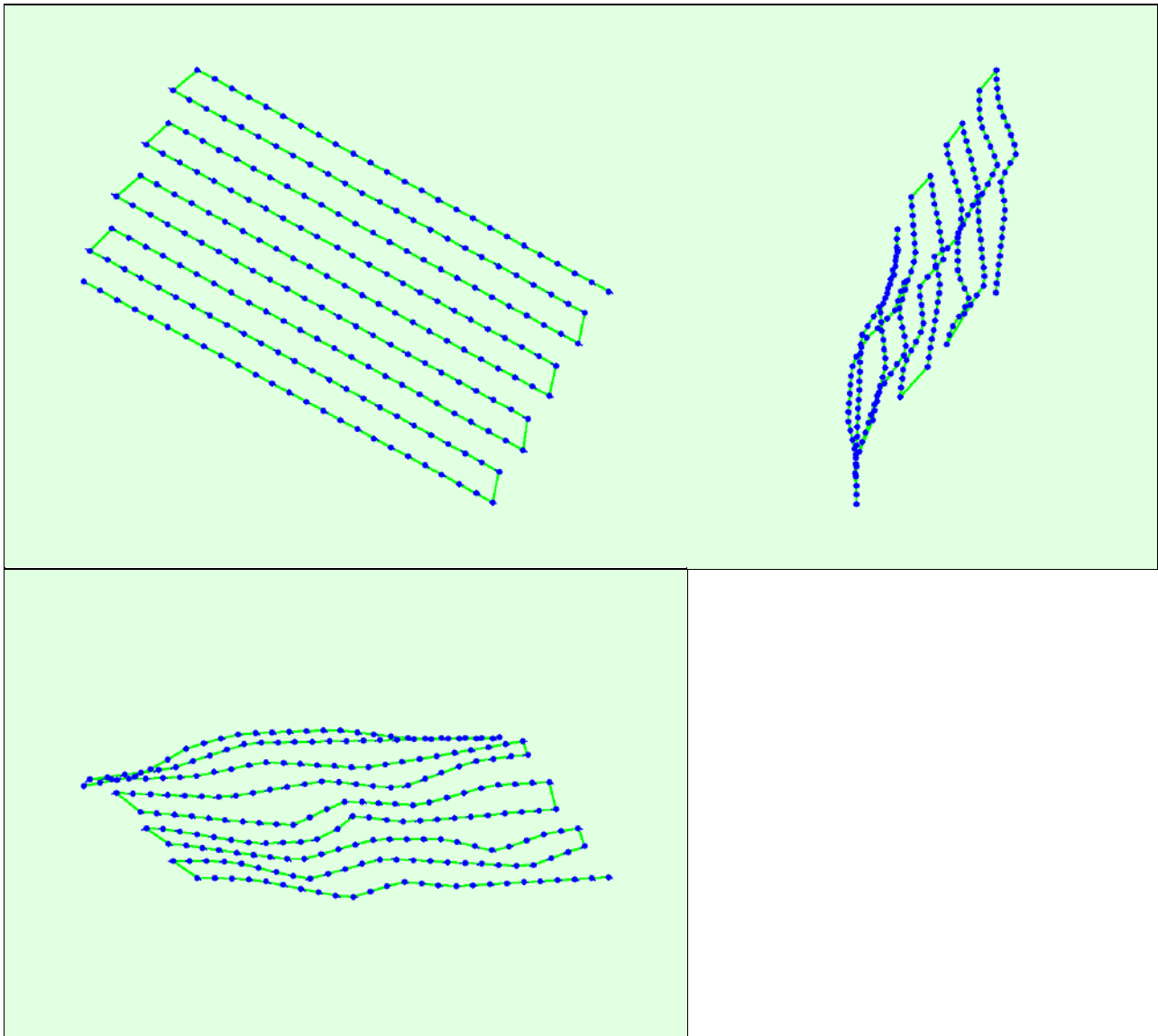


Figure 6: Camera movement estimated by the rolling shutter camera model. The green line follows the computed image positions. The blue dots represent the camera position at the start of the exposure. The blue lines represent the camera motion during the rolling shutter readout, re-scaled by a project dependant scaling factor for better visibility.

Median Camera Speed	9.9287 [m/s]
Median Camera Displacement During Sensor Readout)	0.5039 [m]
Median Rolling Shutter Readout Time	53.4274 [ms]

Initial Processing Details

System Information



Hardware	CPU: AMD Ryzen 5 5600X6-Core Processor RAM: 32GB GPU: NVIDIA GeForce RTX 3080 (Driver: 27.21.14.5671)
Operating System	Windows 10 Pro, 64-bit

Coordinate Systems



Image Coordinate System	WGS 84 (EGM96 Geoid)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 19S (EGM96 Geoid)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 19S (EGM96 Geoid)

Processing Options



Detected Template	3D Maps
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

Point Cloud Densification details



Processing Options



Image Scale	multiscale, 1 (Original image size, Slow)
Point Density	High (Slow)
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	no
LOD	Generated: no
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	13h:49m:18s
Time for Point Cloud Classification	11m:08s
Time for 3D Textured Mesh Generation	NA

Results



Number of Processed Clusters	4
Number of Generated Tiles	23
Number of 3D Densified Points	503299418
Average Density (per m ³)	1589.66

DSM, Orthomosaic and Index Details



Processing Options



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (3.21 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp

Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Time for DSM Generation	02h:09m:34s
Time for Orthomosaic Generation	31m:22s
Time for DTM Generation	00s
Time for Contour Lines Generation	00s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s

Quality Report



Generated with Pix4Denterprise version 4.5.6



Important: Click on the different icons for:



Help to analyze the results in the Quality Report



Additional information about the sections



Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary



Project	AGL 120
Processed	2021-12-29 12:18:45
Camera Model Name(s)	L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	3.82 cm / 1.50 in
Area Covered	0.280 km ² / 28.0417 ha / 0.11 sq. mi. / 69.3284 acres

Quality Check



Images	median of 75659 keypoints per image	
Dataset	147 out of 147 images calibrated (100%), all images enabled	
Camera Optimization	2.28% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
Matching	median of 31587.6 matches per calibrated image	
Georeferencing	yes, 5 GCPs (5 3D), mean RMS error = 0.004 m	

Preview

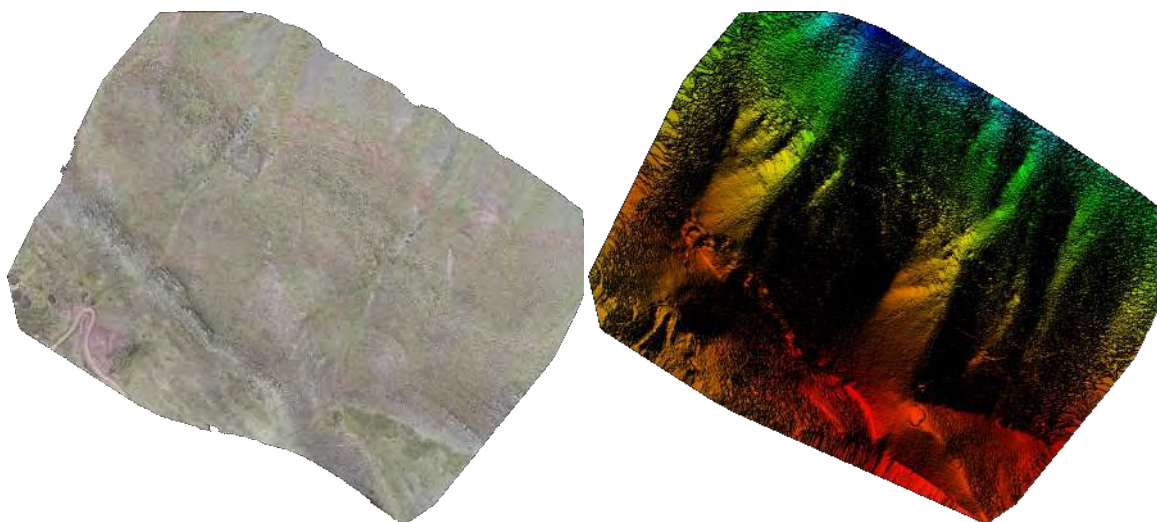


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details



Number of Calibrated Images	147 out of 147
Number of Geolocated Images	147 out of 147

Initial Image Positions

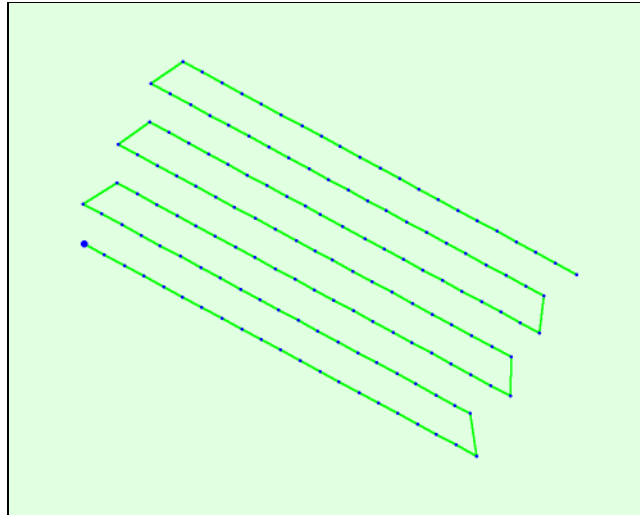
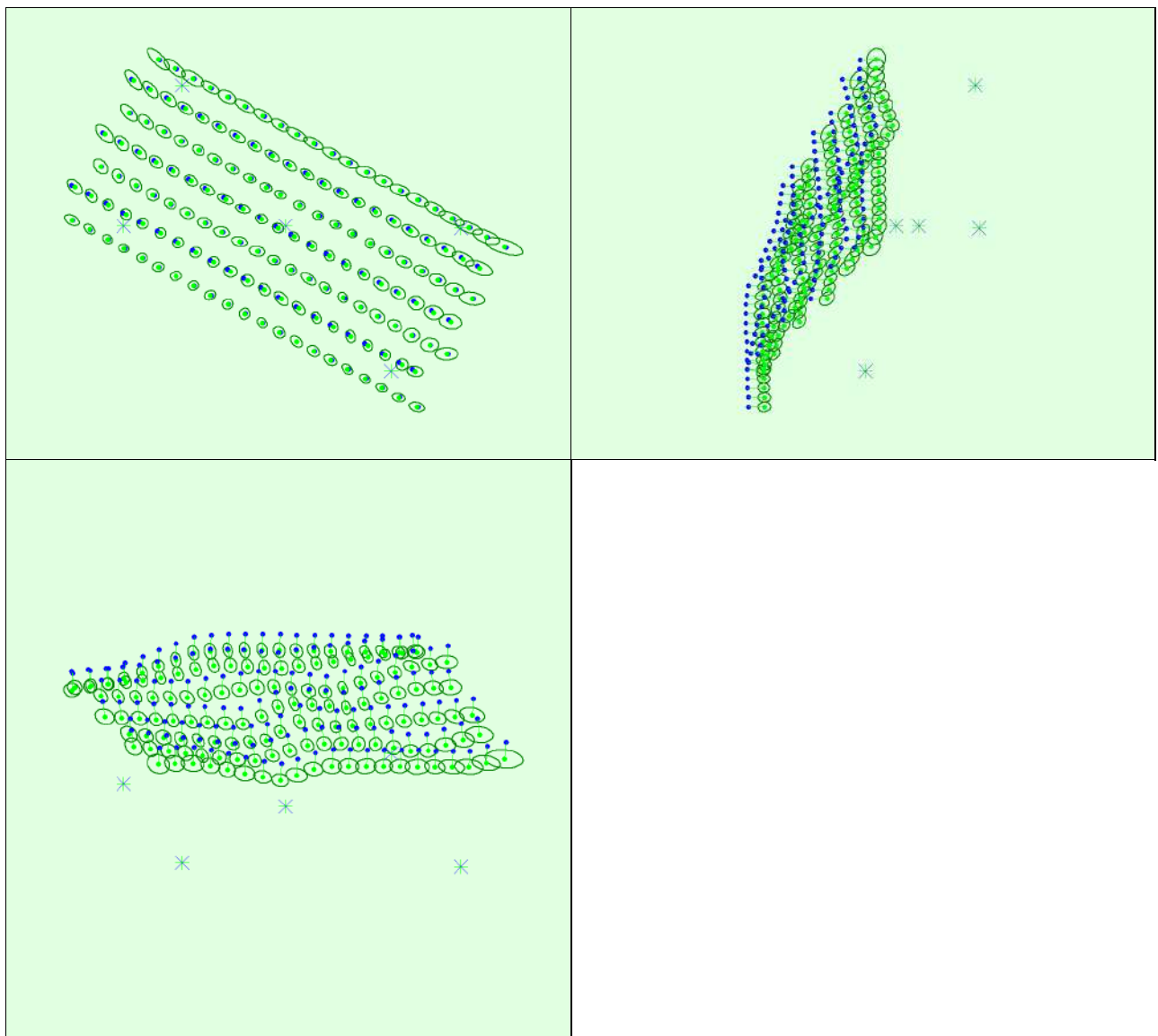


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



Uncertainty ellipses 1000x magnified

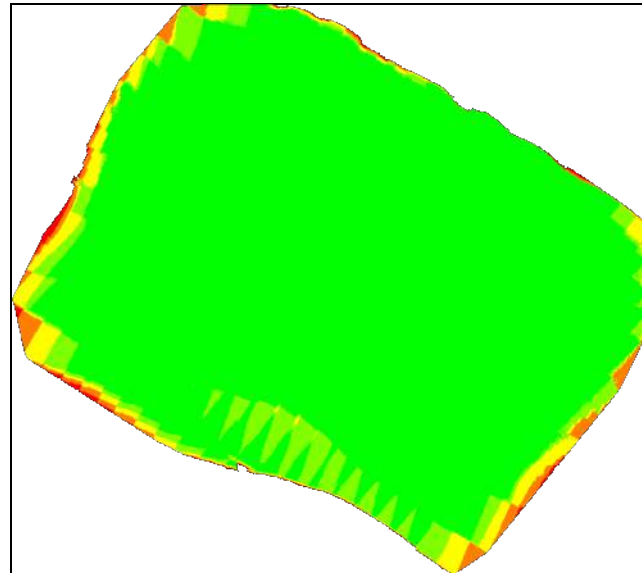
Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and

their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Absolute camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X[m]	Camera Displacement Y[m]	Camera Displacement Z[m]
Mean	0.009	0.008	0.009	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.007
Sigma	0.003	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002

Overlap



Number of overlapping images: 1 2 3 4 5+

Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details

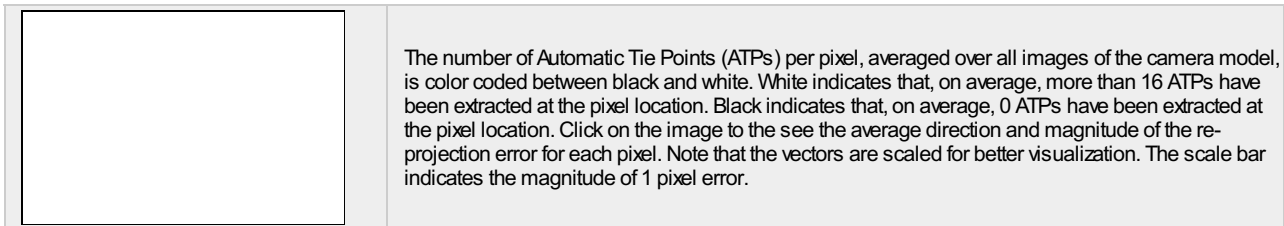
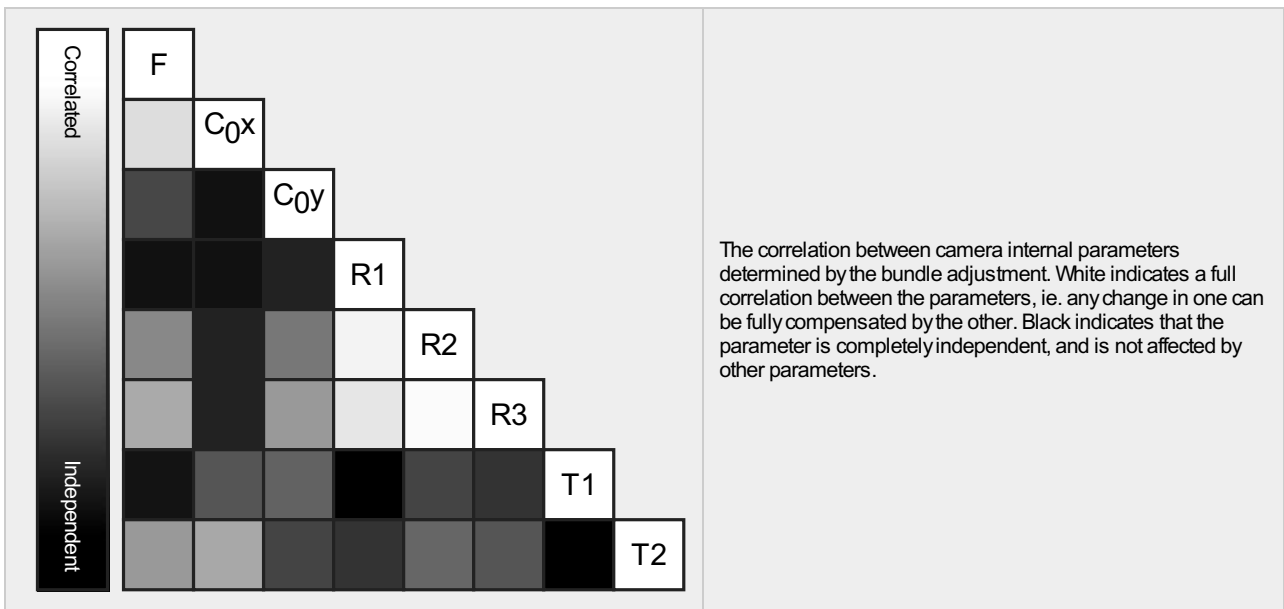
Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	4634894
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	1635778
Mean Reprojection Error [pixels]	0.154

Internal Camera Parameters

L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.825 [mm] x 8.550 [mm]

EXIF ID: L1D-20c_10.3_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	4470.830 [pixel] 10.479 [mm]	2770.870 [pixel] 6.494 [mm]	1698.700 [pixel] 3.981 [mm]	0.009	0.040	-0.050	-0.003	0.002
Optimized Values	4368.841 [pixel] 10.239 [mm]	2723.439 [pixel] 6.383 [mm]	1798.477 [pixel] 4.215 [mm]	0.006	0.031	-0.036	-0.002	-0.000
Uncertainties (Sigma)	0.346 [pixel] 0.001 [mm]	0.041 [pixel] 0.000 [mm]	0.081 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



2D Keypoints Table

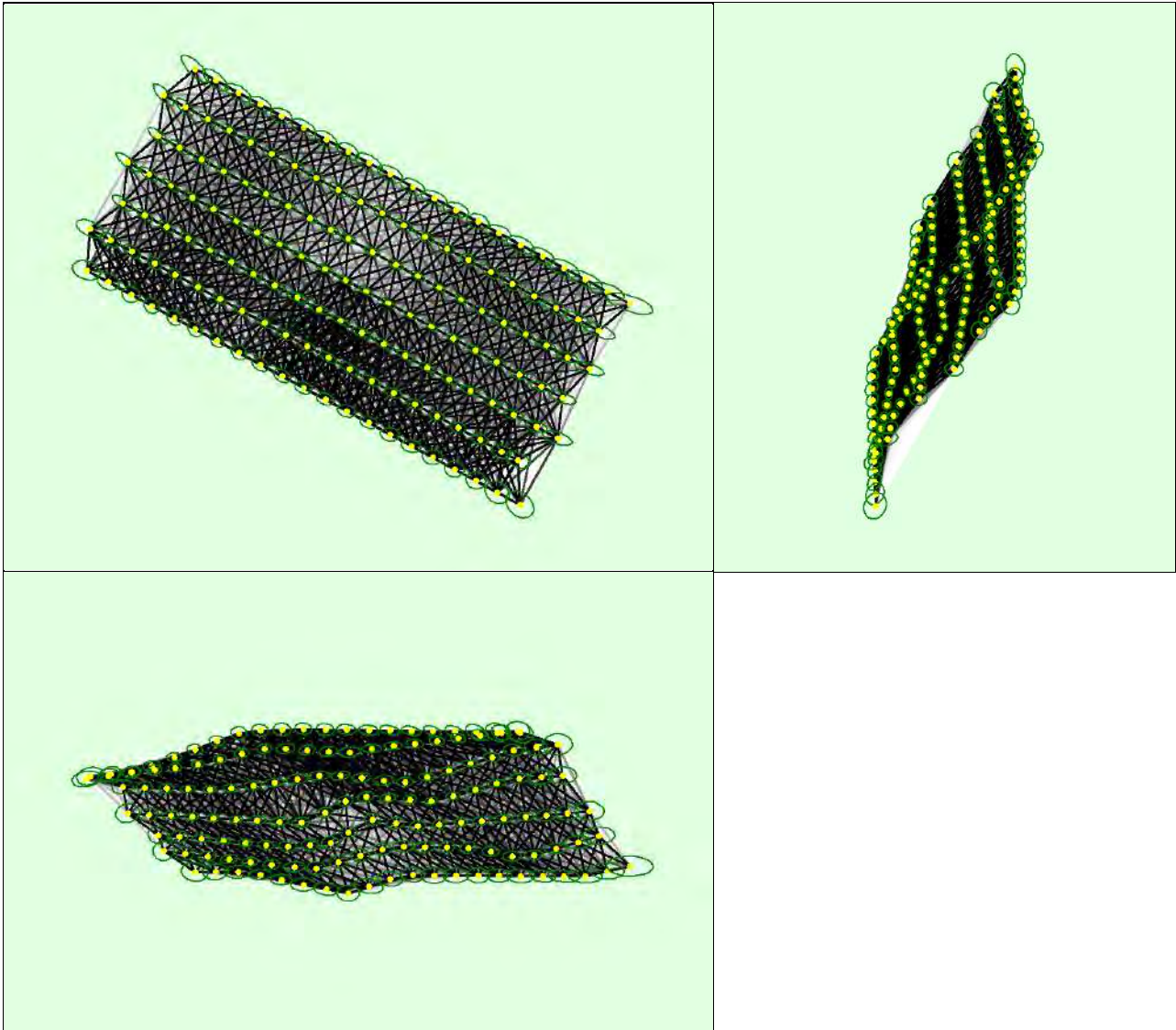
	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	75659	31588
Mn	60143	16197
Max	84008	41220
Mean	75263	31530

3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	1039039
In 3 Images	313465
In 4 Images	123828
In 5 Images	58789
In 6 Images	33342
In 7 Images	21202
In 8 Images	14319
In 9 Images	10040
In 10 Images	6315
In 11 Images	4196
In 12 Images	3066
In 13 Images	2154
In 14 Images	1661
In 15 Images	1187
In 16 Images	833
In 17 Images	666
In 18 Images	488
In 19 Images	364
In 20 Images	250
In 21 Images	186
In 22 Images	112
In 23 Images	86

In 24 Images	61
In 25 Images	43
In 26 Images	30
In 27 Images	18
In 28 Images	13
In 29 Images	8
In 30 Images	8
In 31 Images	4
In 32 Images	2
In 33 Images	2
In 34 Images	1

2D Keypoint Matches



Uncertainty ellipses 1000x magnified

Number of matches

25 222 444 666 888 1111 1333 1555 1777 2000

Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X[m]	Camera Displacement Y[m]	Camera Displacement Z[m]
Mean	0.010	0.007	0.006	0.003	0.005	0.003	0.004	0.004	0.007

Sigma	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Geolocation Details



Ground Control Points



GCP Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
CUS12124 (3D)	0.020/ 0.020	0.000	-0.003	-0.005	0.477	14 / 14
5 (3D)	0.020/ 0.020	-0.005	-0.002	-0.005	0.384	12 / 12
8 (3D)	0.020/ 0.020	0.005	0.008	0.010	0.463	18 / 18
11 (3D)	0.020/ 0.020	-0.004	-0.004	0.003	0.451	16 / 16
15 (3D)	0.020/ 0.020	0.003	-0.001	-0.006	0.493	27 / 27
Mean [m]		-0.000179	-0.000311	-0.000483		
Sigma [m]		0.003680	0.004090	0.006312		
RMS Error [m]		0.003685	0.004102	0.006331		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

Absolute Geolocation Variance



Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	12.93	0.00	0.00
-3.00	0.00	29.93	57.14	45.58
0.00	3.00	57.14	42.86	54.42
3.00	6.00	0.00	0.00	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		-0.687960	0.936551	20.461428
Sigma [m]		2.327271	1.200776	0.379415
RMS Error [m]		2.426825	1.522824	20.464945

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	-0.687960	0.936551	20.461428

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

Relative Geolocation Variance



Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	100.00	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00

Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	0.635
Phi	1.524
Kappa	5.019

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Rolling Shutter Statistics

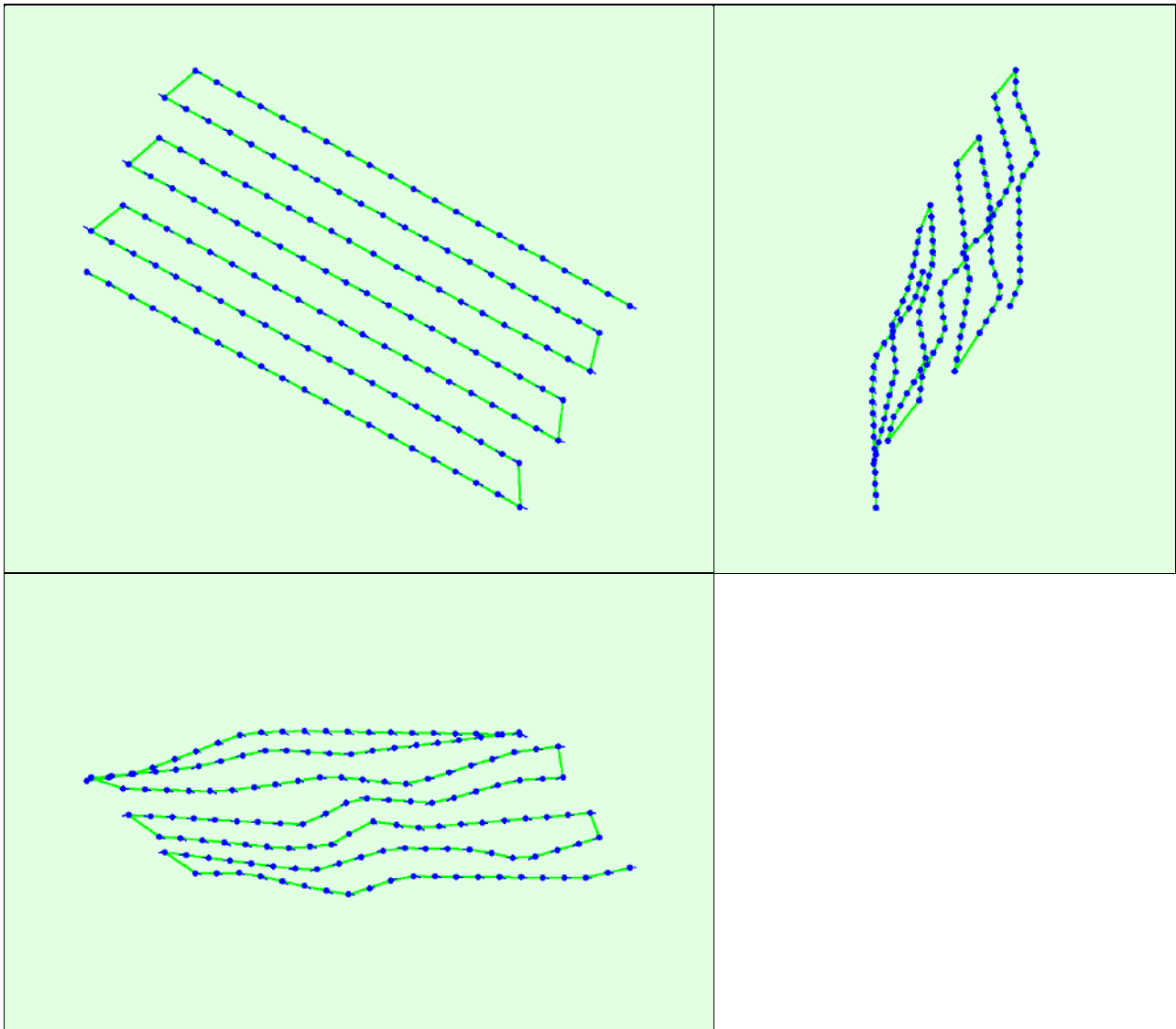


Figure 6: Camera movement estimated by the rolling shutter camera model. The green line follows the computed image positions. The blue dots represent the camera position at the start of the exposure. The blue lines represent the camera motion during the rolling shutter readout, re-scaled by a project dependant scaling factor for better visibility.

Median Camera Speed	11.9236 [m/s]
Median Camera Displacement During Sensor Readout)	0.5805 [m]
Median Rolling Shutter Readout Time	54.2954 [ms]

Initial Processing Details

System Information



Hardware	CPU: AMD Ryzen 9 3900X 12-Core Processor RAM: 32GB GPU: NVIDIA GeForce RTX 3080 (Driver: 27.21.14.5751)
Operating System	Windows 10 Home, 64-bit

Coordinate Systems



Image Coordinate System	WGS 84 (EGM96 Geoid)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 19S (EGM96 Geoid)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 19S (EGM96 Geoid)

Processing Options



Detected Template	No Template Available
Keypoints Image Scale	Custom, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

Point Cloud Densification details



Processing Options



Image Scale	multiscale, 1 (Original image size, Slow)
Point Density	High (Slow)
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	no
LOD	Generated: no
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes

Results



Number of Generated Tiles	21
Number of 3D Densified Points	337086807
Average Density (per m ³)	774.23

DSM, Orthomosaic and Index Details



Processing Options



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (3.82 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes

Orthomosaic

Generated: yes
Merge Tiles: yes
GeoTIFF Without Transparency: no
Google Maps Tiles and KML: no

Quality Report



Generated with Pix4Denterprise version 4.5.6



Important: Click on the different icons for:



Help to analyze the results in the Quality Report



Additional information about the sections



Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary



Project	AGL140
Processed	2021-12-16 08:26:37
Camera Model Name(s)	L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	4.47 cm / 1.76 in
Area Covered	0.336 km ² / 33.5570 ha / 0.13 sq. mi. / 82.9641 acres

Quality Check



Images	median of 75248 keypoints per image	
Dataset	126 out of 126 images calibrated (100%), all images enabled	
Camera Optimization	2.18% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
Matching	median of 27917.9 matches per calibrated image	
Georeferencing	yes, 5 GCPs (5 3D), mean RMS error = 0.007 m	

Preview

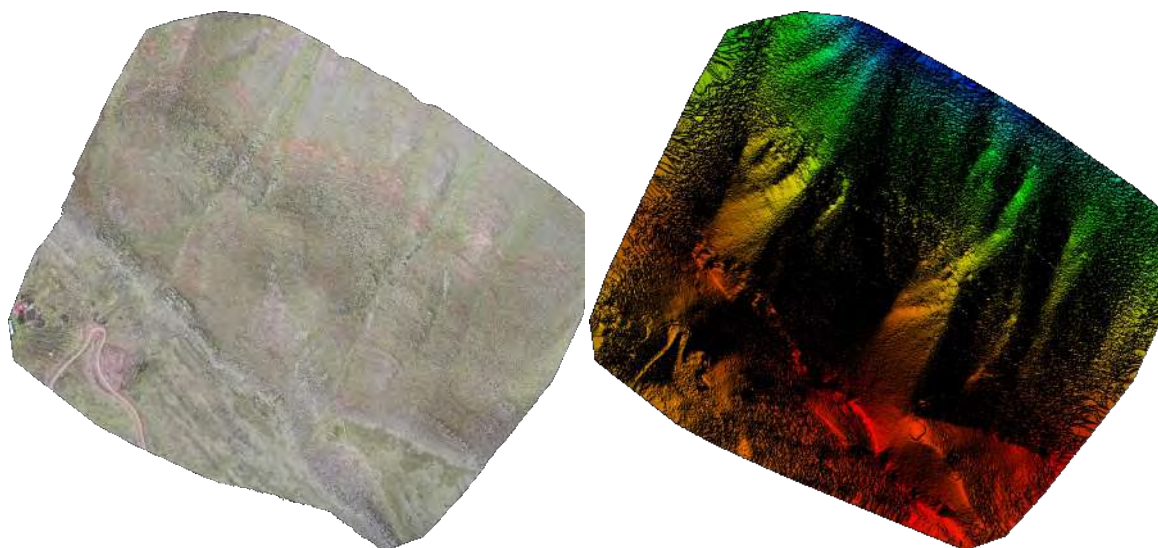


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details



Number of Calibrated Images	126 out of 126
-----------------------------	----------------

Initial Image Positions

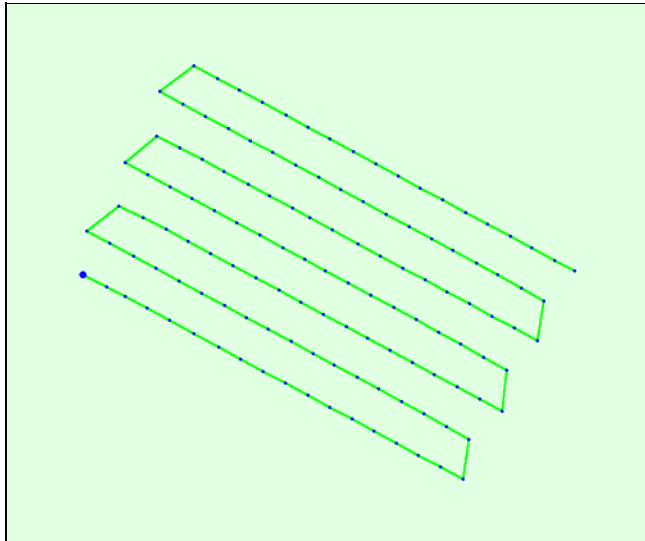


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions

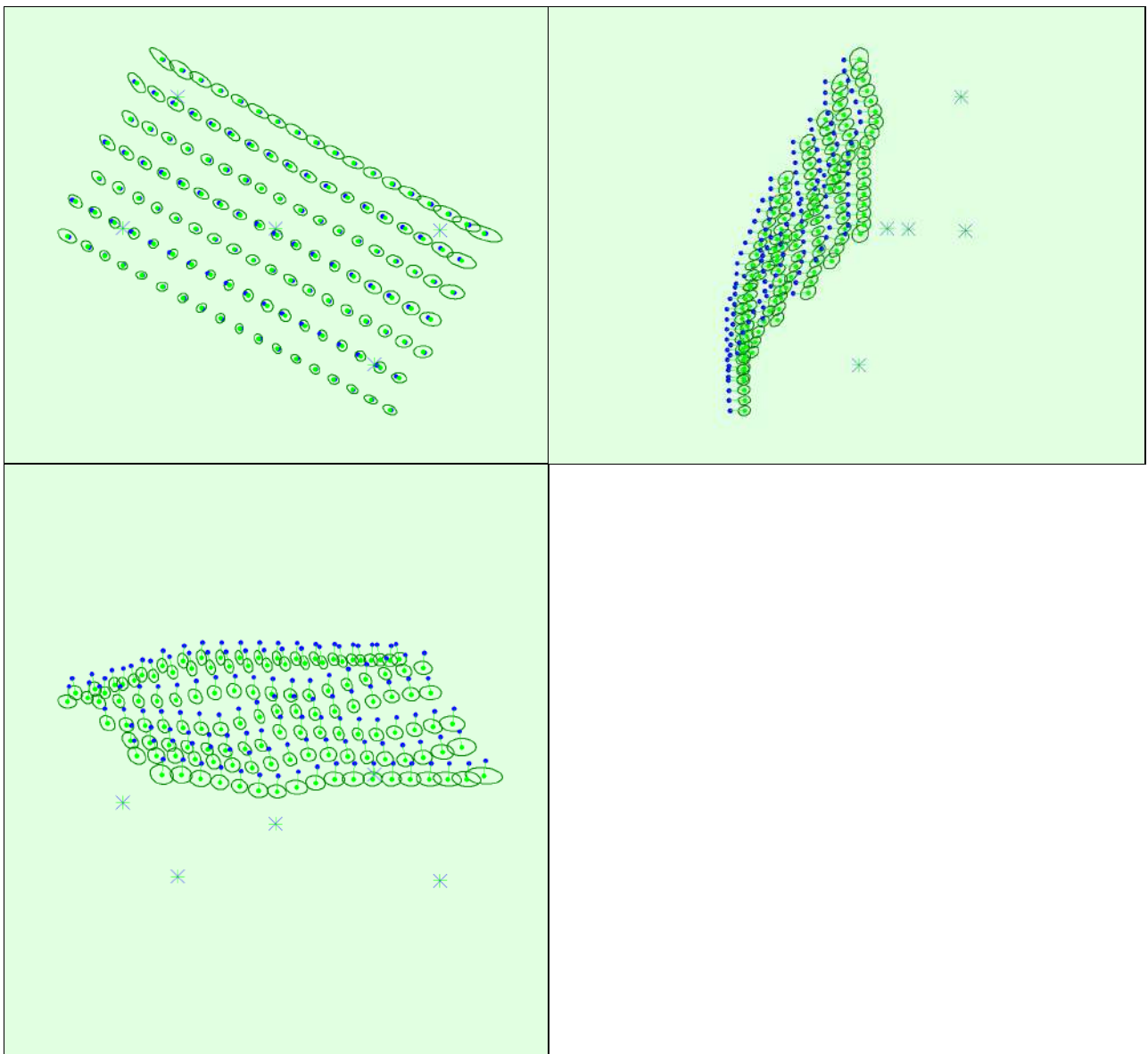


Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Absolute camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X[m]	Camera Displacement Y[m]	Camera Displacement Z[m]
Mean	0.010	0.008	0.009	0.003	0.004	0.002	0.003	0.003	0.007
Sigma	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002

Overlap

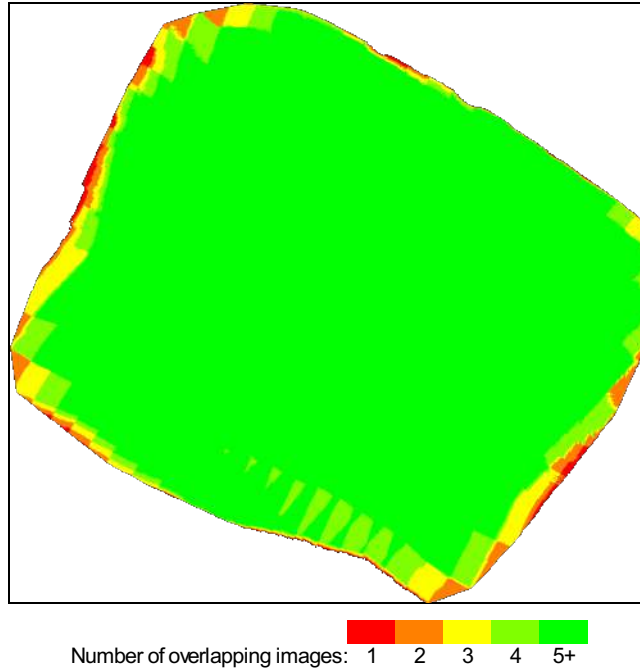


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details

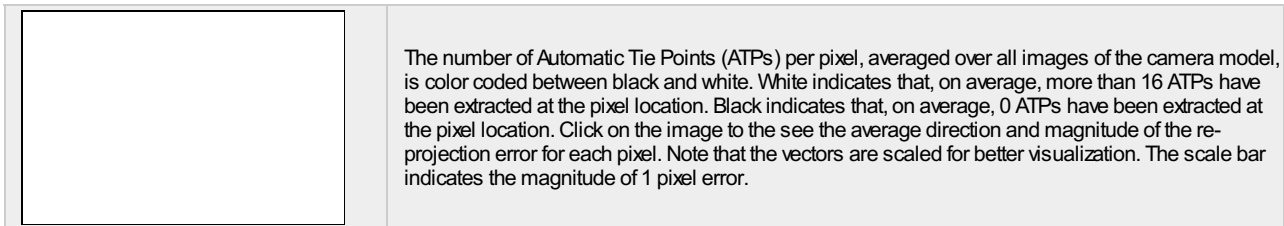
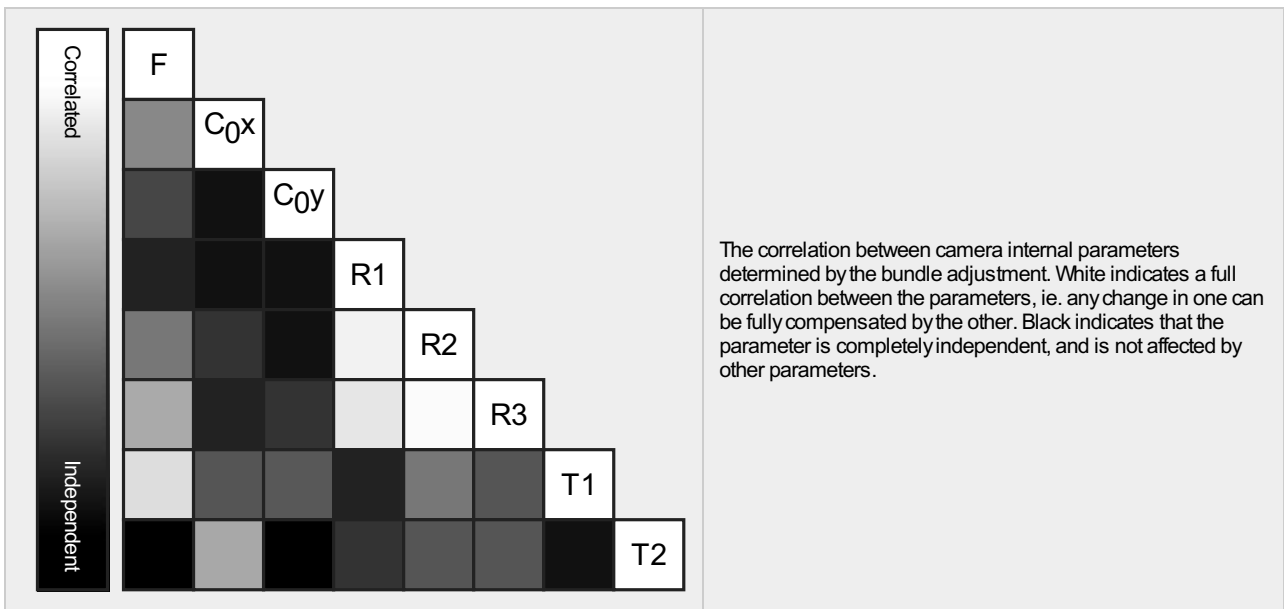
Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	3511176
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	1187146
Mean Reprojection Error [pixels]	0.155

Internal Camera Parameters

L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.825 [mm] x 8.550 [mm]

EXIF ID: L1D-20c_10.3_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	4470.830 [pixel] 10.479 [mm]	2770.870 [pixel] 6.494 [mm]	1698.700 [pixel] 3.981 [mm]	0.009	0.040	-0.050	-0.003	0.002
Optimized Values	4373.197 [pixel] 10.250 [mm]	2723.413 [pixel] 6.383 [mm]	1798.452 [pixel] 4.215 [mm]	0.007	0.033	-0.037	-0.002	-0.000
Uncertainties (Sigma)	0.326 [pixel] 0.001 [mm]	0.039 [pixel] 0.000 [mm]	0.078 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



2D Keypoints Table

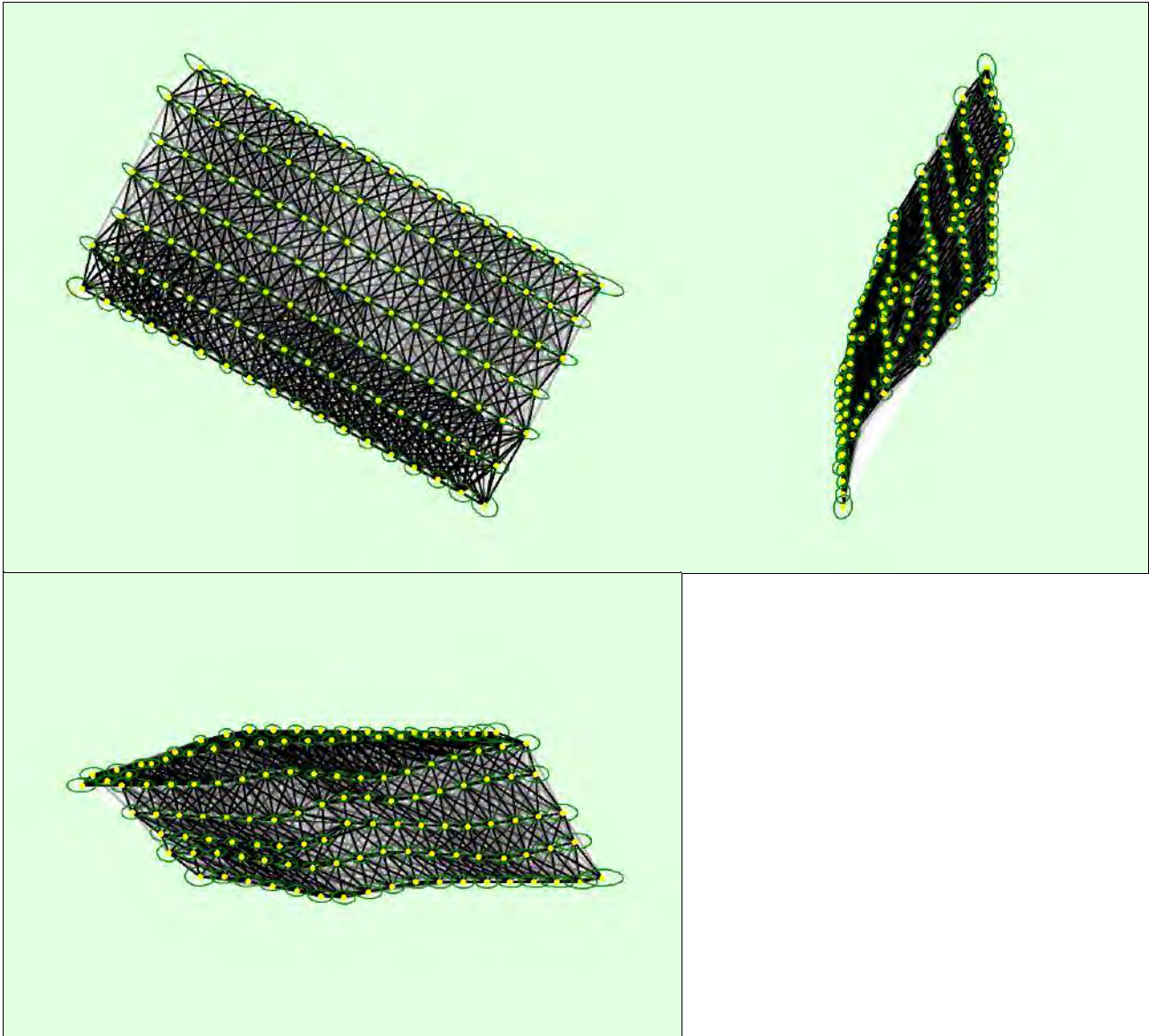
	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	75248	27918
Mn	61710	16419
Max	80837	39186
Mean	74056	27866

3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	710649
In 3 Images	239881
In 4 Images	97813
In 5 Images	49003
In 6 Images	29682
In 7 Images	19012
In 8 Images	13140
In 9 Images	8539
In 10 Images	6052
In 11 Images	3860
In 12 Images	2779
In 13 Images	1865
In 14 Images	1403
In 15 Images	950
In 16 Images	698
In 17 Images	529
In 18 Images	395
In 19 Images	243
In 20 Images	194
In 21 Images	150
In 22 Images	107
In 23 Images	59

In 24 Images	49
In 25 Images	23
In 26 Images	25
In 27 Images	15
In 28 Images	10
In 29 Images	7
In 30 Images	6
In 31 Images	5
In 32 Images	1
In 35 Images	1
In 36 Images	1

2D Keypoint Matches



Uncertainty ellipses 1000x magnified

Number of matches

25 222 444 666 888 1111 1333 1555 1777 2000

Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties

X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X[m]	Camera Displacement Y[m]	Camera Displacement Z[m]
------	------	------	----------------	--------------	----------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Mean	0.010	0.007	0.005	0.003	0.004	0.003	0.004	0.004	0.007
Sigma	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002

Geolocation Details



Ground Control Points



GCP Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
CUS12124 (3D)	0.020/ 0.020	0.002	-0.003	-0.017	0.433	12 / 12
5 (3D)	0.020/ 0.020	-0.006	-0.002	-0.007	0.397	12 / 12
8 (3D)	0.020/ 0.020	0.005	0.008	0.022	0.570	18 / 18
11 (3D)	0.020/ 0.020	-0.006	-0.003	0.003	0.429	18 / 18
15 (3D)	0.020/ 0.020	0.004	-0.002	-0.010	0.540	25 / 25
Mean [m]		-0.000160	-0.000314	-0.001938		
Sigma [m]		0.004839	0.004003	0.013686		
RMS Error [m]		0.004842	0.004015	0.013823		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

Absolute Geolocation Variance



Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	19.84	0.00	0.00
-3.00	0.00	23.02	57.14	53.97
0.00	3.00	53.17	42.86	46.03
3.00	6.00	3.97	0.00	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		-0.687067	0.692177	20.538419
Sigma [m]		2.644892	1.396673	0.386382
RMS Error [m]		2.732676	1.558783	20.542053

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	-0.687067	0.692177	20.538419

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

Relative Geolocation Variance



Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	100.00	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00

[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	0.869
Phi	1.899
Kappa	3.339

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Rolling Shutter Statistics

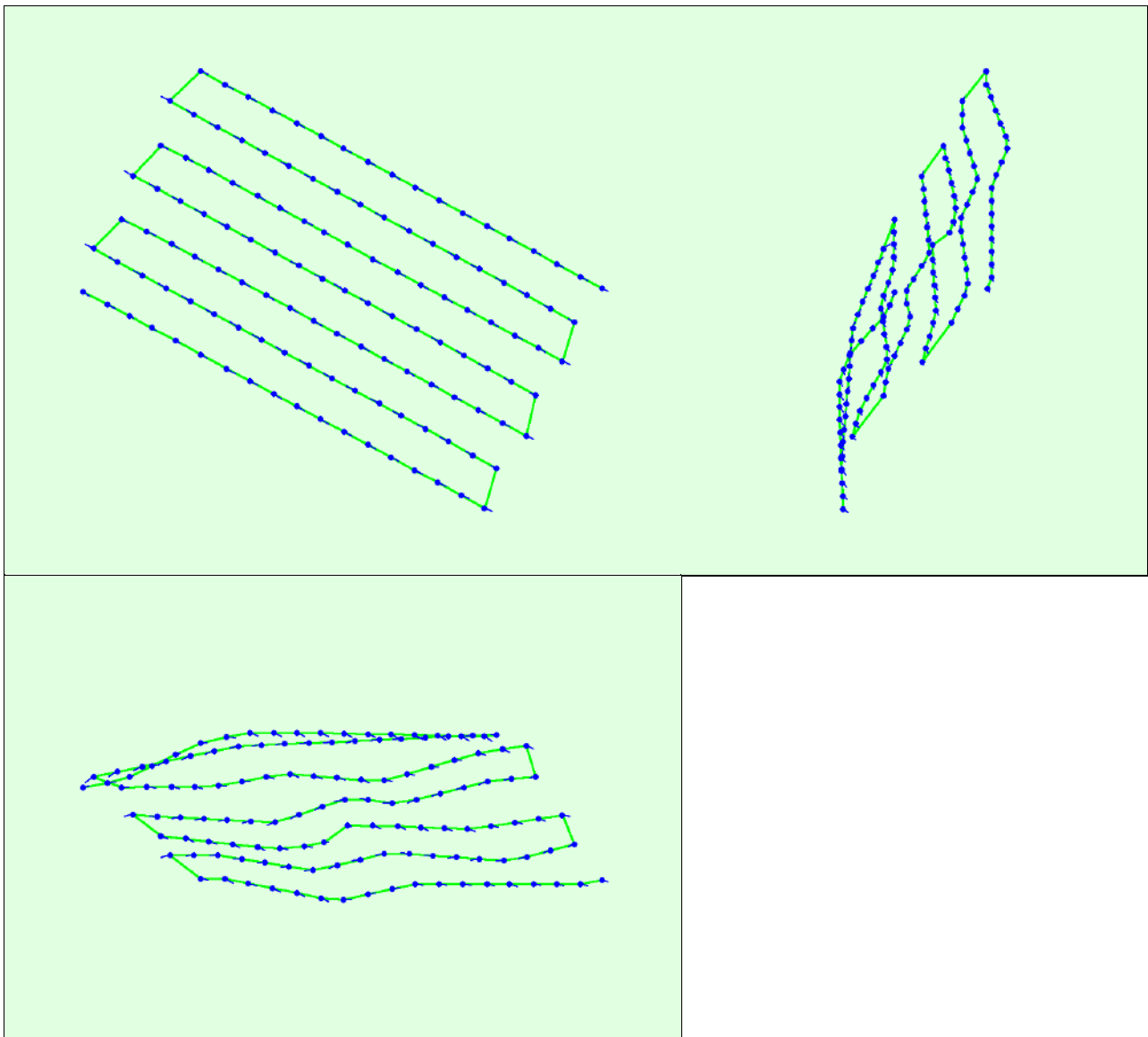


Figure 6: Camera movement estimated by the rolling shutter camera model. The green line follows the computed image positions. The blue dots represent the camera position at the start of the exposure. The blue lines represent the camera motion during the rolling shutter readout, re-scaled by a project dependant scaling factor for better visibility.

Median Camera Speed	10.8245 [m/s]
Median Camera Displacement During Sensor Readout)	0.6916 [m]
Median Rolling Shutter Readout Time	54.7142 [ms]

Initial Processing Details

System Information



Hardware	CPU: AMD Ryzen 9 3900X 12-Core Processor RAM: 32GB GPU: NVIDIA GeForce RTX 3080 (Driver: 27.21.14.5751)
Operating System	Windows 10 Home, 64-bit

Coordinate Systems



Image Coordinate System	WGS 84 (EGM96 Geoid)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 19S (EGM96 Geoid)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 19S (EGM96 Geoid)

Processing Options



Detected Template	3D Maps
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

Point Cloud Densification details



Processing Options



Image Scale	multiscale, 1 (Original image size, Slow)
Point Density	High (Slow)
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	no
LOD	Generated: no
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	03h:59m:29s
Time for Point Cloud Classification	06m:56s
Time for 3D Textured Mesh Generation	NA

Results



Number of Processed Clusters	2
Number of Generated Tiles	15
Number of 3D Densified Points	292687449
Average Density (per m ³)	580.92

DSM, Orthomosaic and Index Details



Processing Options



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (4.47 [cm/pixel])
--------------------------------	---------------------------

DSMFilters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Time for DSM Generation	01h:50m:37s
Time for Orthomosaic Generation	13m:29s
Time for DTM Generation	00s
Time for Contour Lines Generation	00s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s

Quality Report



Generated with Pix4Denterprise version 4.5.6



Important: Click on the different icons for:



Help to analyze the results in the Quality Report



Additional information about the sections



Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary



Project	AGL 160
Processed	2021-12-16 16:23:29
Camera Model Name(s)	L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	5.62 cm / 2.21 in
Area Covered	0.432 km ² / 43.1691 ha / 0.17 sq. mi. / 106.7284 acres

Quality Check



Images	median of 76245 keypoints per image	
Dataset	81 out of 81 images calibrated (100%), all images enabled	
Camera Optimization	2.45% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
Matching	median of 25752.9 matches per calibrated image	
Georeferencing	yes, 5 GCPs (5 3D), mean RMS error = 0.007 m	

Preview

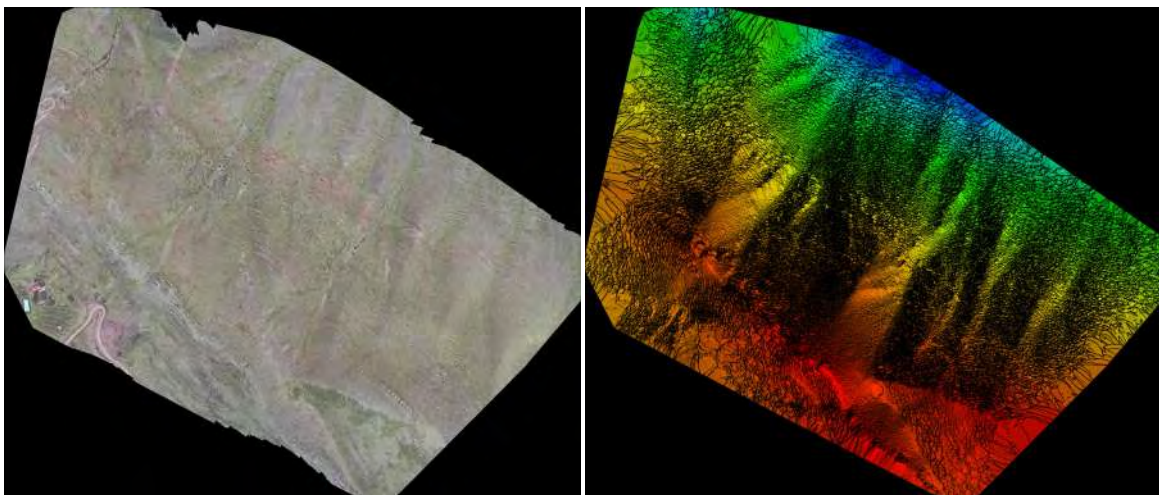


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details



Number of Calibrated Images	81 out of 81
Number of Geolocated Images	81 out of 81

Initial Image Positions

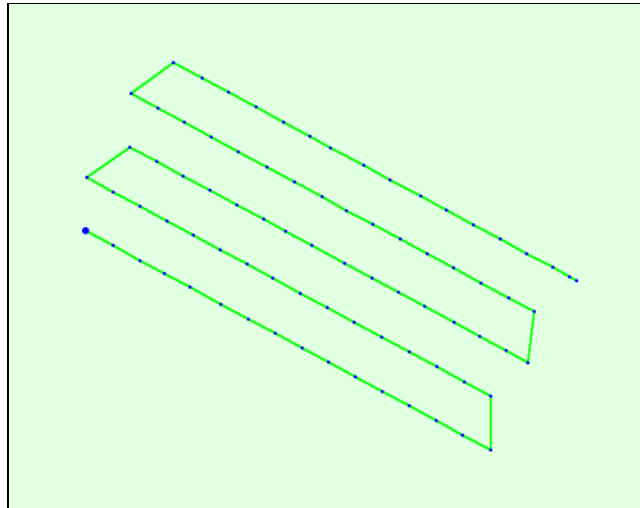
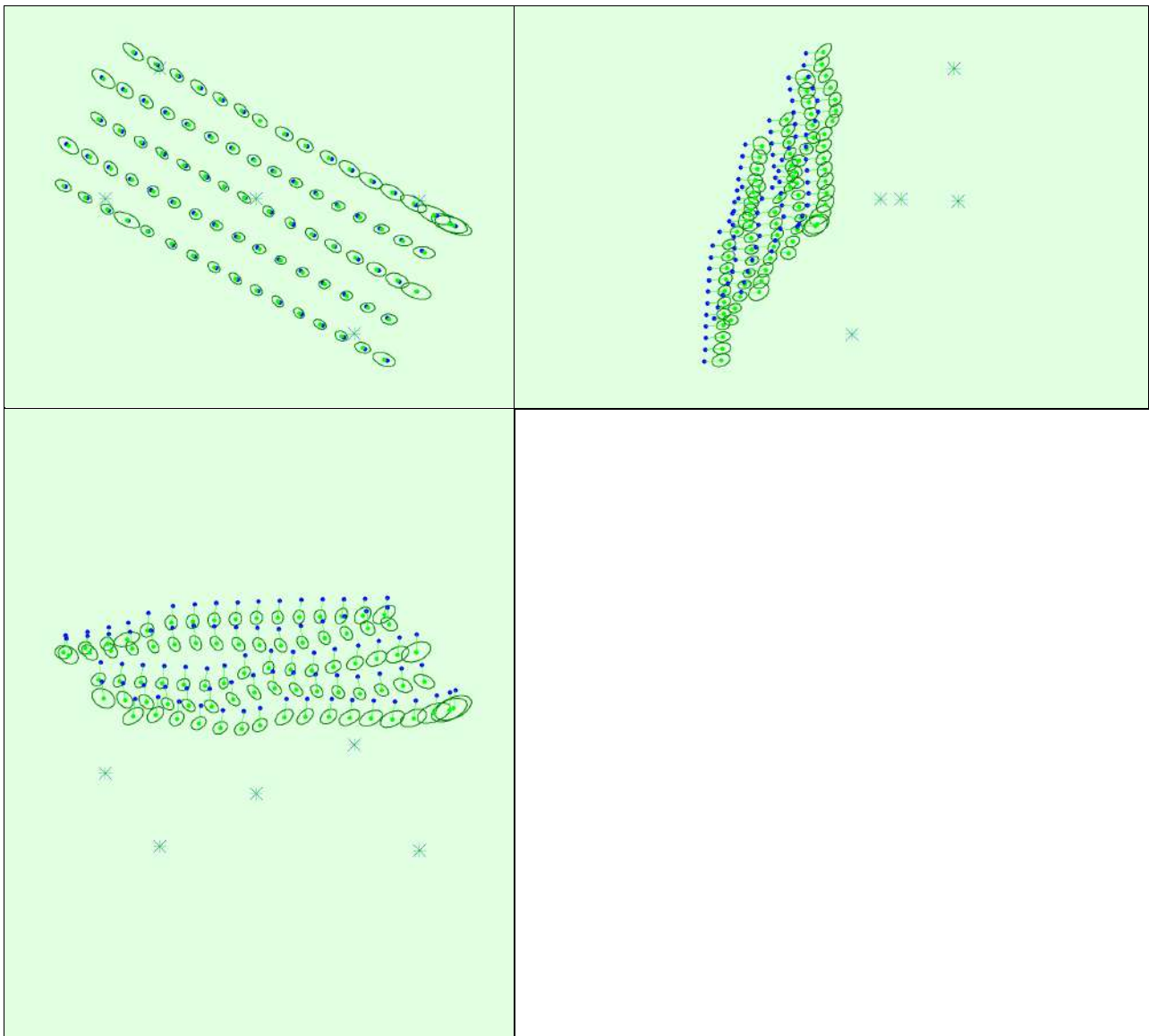


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



Uncertainty ellipses 1000x magnified

Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute

🔍 Absolute camera position and orientation uncertainties

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X [m]	Camera Displacement Y [m]	Camera Displacement Z [m]
Mean	0.011	0.009	0.010	0.003	0.004	0.003	0.003	0.004	0.008
Sigma	0.004	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002

🔍 Overlap

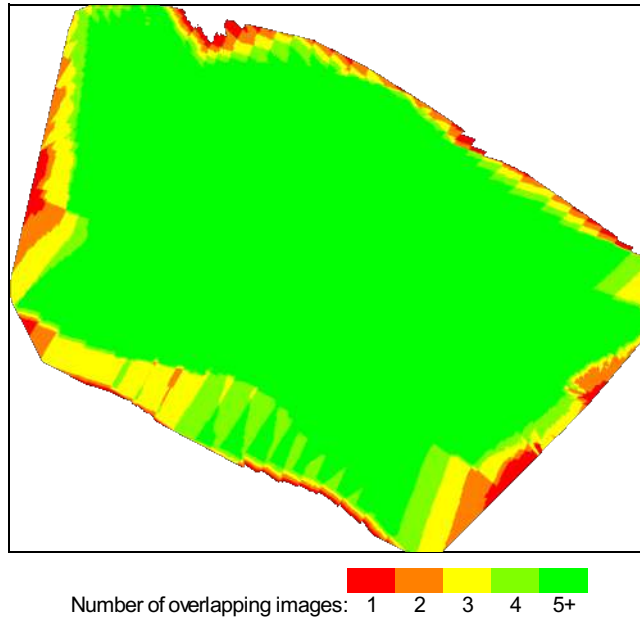


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details

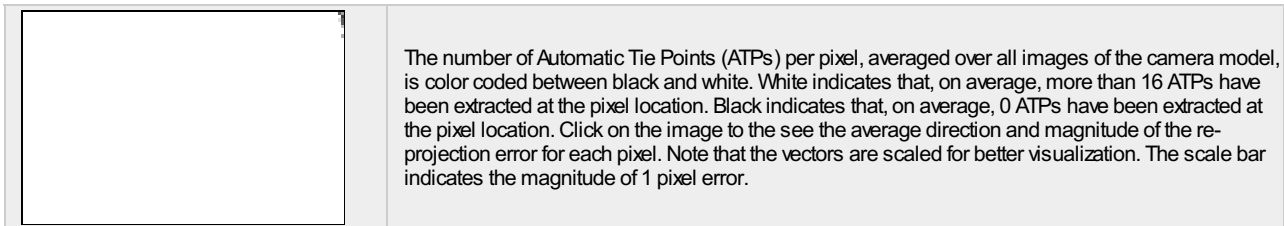
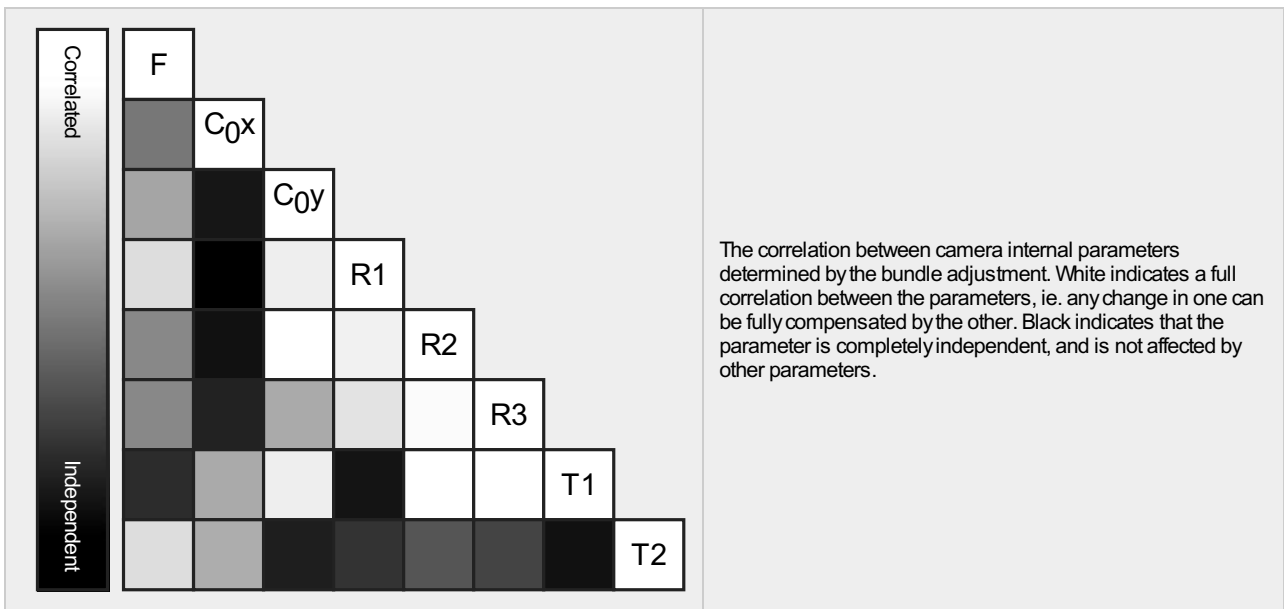
Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	2080923
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	789429
Mean Reprojection Error [pixels]	0.156

🔍 Internal Camera Parameters

📷 L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.825 [mm] x 8.550 [mm]

EXIF ID: L1D-20c_10.3_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	4470.830 [pixel] 10.479 [mm]	2770.870 [pixel] 6.494 [mm]	1698.700 [pixel] 3.981 [mm]	0.009	0.040	-0.050	-0.003	0.002
Optimized Values	4361.106 [pixel] 10.221 [mm]	2723.369 [pixel] 6.383 [mm]	1797.093 [pixel] 4.212 [mm]	0.005	0.029	-0.036	-0.002	-0.000
Uncertainties (Sigma)	0.226 [pixel] 0.001 [mm]	0.075 [pixel] 0.000 [mm]	0.193 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	76245	25753
Mn	54241	2048
Max	85006	37238
Mean	75745	25690

3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	505600
In 3 Images	170212
In 4 Images	62676
In 5 Images	26085
In 6 Images	11844
In 7 Images	6063
In 8 Images	3159
In 9 Images	1635
In 10 Images	905
In 11 Images	533
In 12 Images	278
In 13 Images	205
In 14 Images	90
In 15 Images	77
In 16 Images	39
In 17 Images	13
In 18 Images	7
In 19 Images	3
In 20 Images	3
In 24 Images	1
In 25 Images	1

2D Keypoint Matches

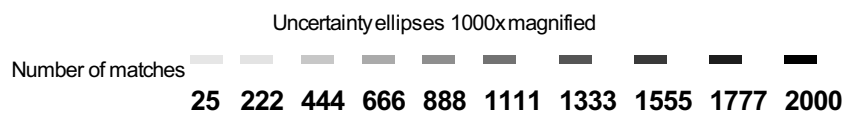
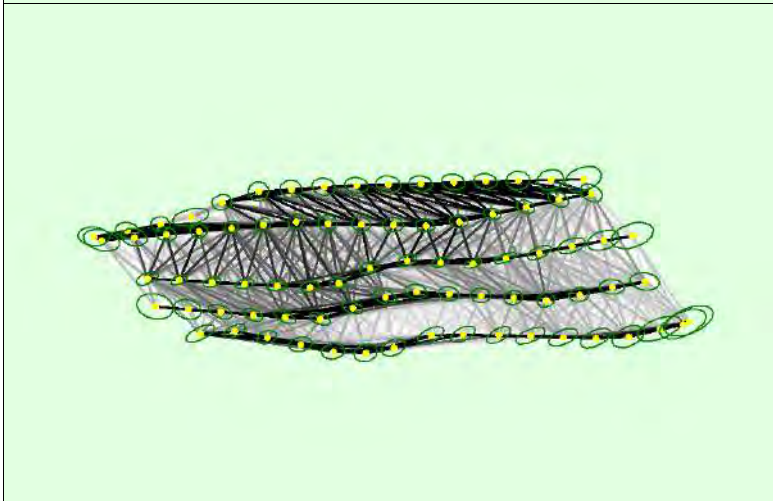
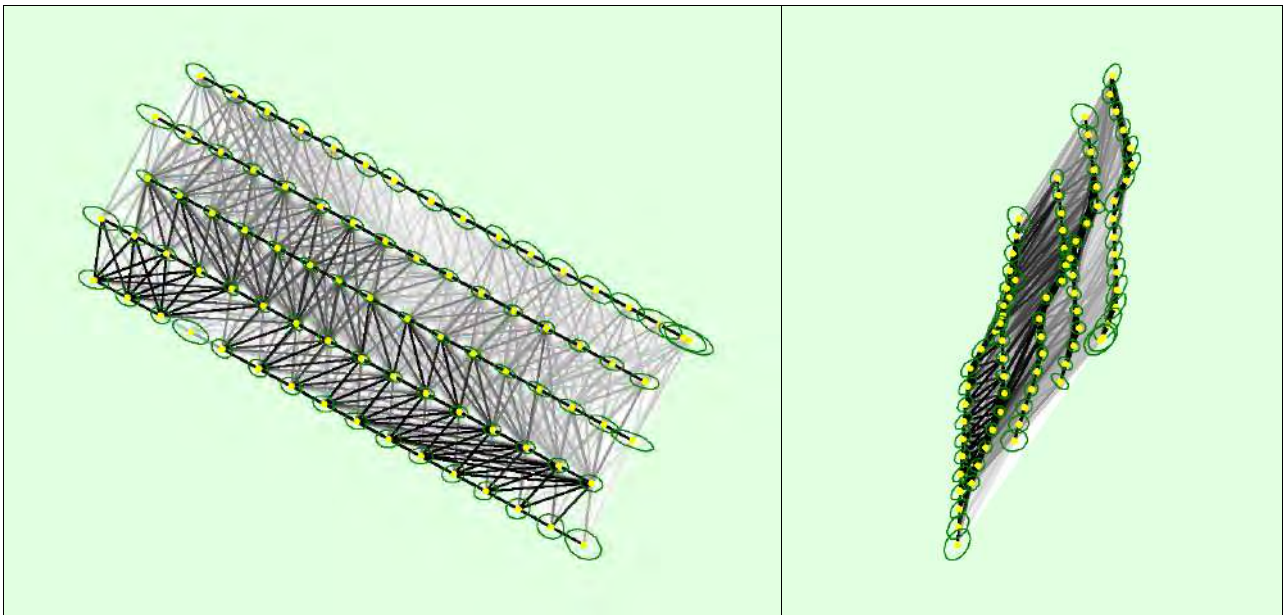


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties



	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X[m]	Camera Displacement Y [m]	Camera Displacement Z [m]
Mean	0.011	0.008	0.007	0.005	0.005	0.004	0.004	0.005	0.008
Sigma	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002

Geolocation Details



Ground Control Points



GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
CUS12124 (3D)	0.020/0.020	-0.001	0.002	-0.021	0.203	8 / 8

5 (3D)	0.020/ 0.020	0.001	-0.002	-0.026	0.319	7 / 7
8 (3D)	0.020/ 0.020	0.000	-0.003	0.023	0.316	19 / 19
11 (3D)	0.020/ 0.020	-0.003	0.001	-0.010	0.360	11 / 11
15 (3D)	0.020/ 0.020	0.008	0.003	-0.020	0.404	16 / 16
Mean [m]		0.001107	0.000037	-0.010988		
Sigma [m]		0.003602	0.002089	0.017980		
RMS Error [m]		0.003769	0.002090	0.021072		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

Absolute Geolocation Variance



Mn Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X[%]	Geolocation Error Y[%]	Geolocation Error Z[%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	29.63	0.00	0.00
-3.00	0.00	9.88	59.26	48.15
0.00	3.00	56.79	40.74	51.85
3.00	6.00	3.70	0.00	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		0.451498	0.064965	23.460304
Sigma [m]		2.734157	1.415900	0.454133
RMS Error [m]		2.771185	1.417390	23.464699

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	0.451498	0.064965	23.460304

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

Relative Geolocation Variance



Relative Geolocation Error	Images X[%]	Images Y[%]	Images Z[%]
[-1.00, 1.00]	100.00	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	1.219
Phi	3.349
Kappa	3.511

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

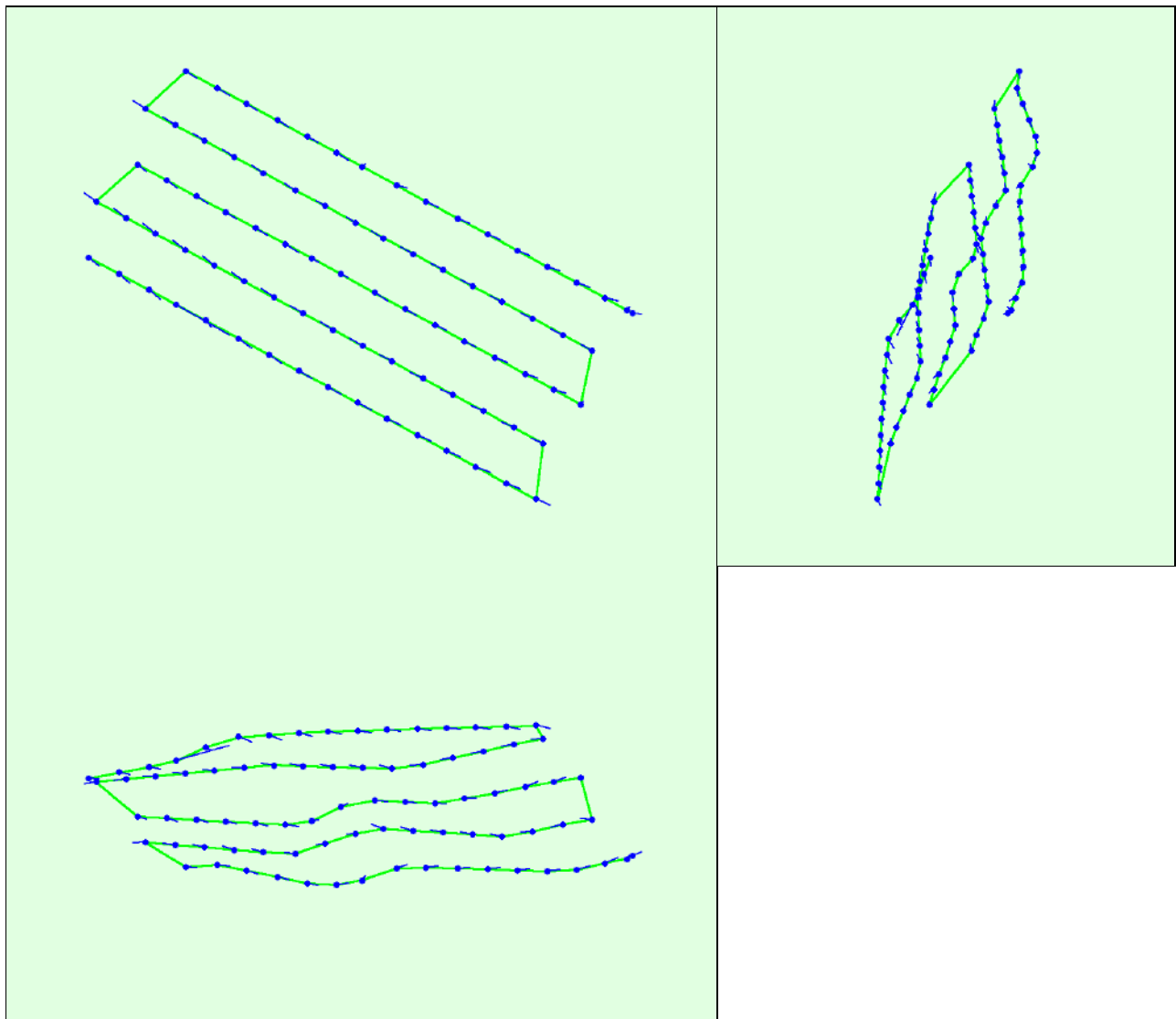


Figure 6: Camera movement estimated by the rolling shutter camera model. The green line follows the computed image positions. The blue dots represent the camera position at the start of the exposure. The blue lines represent the camera motion during the rolling shutter readout, re-scaled by a project dependant scaling factor for better visibility.

Median Camera Speed	11.4126 [m/s]
Median Camera Displacement During Sensor Readout)	0.8186 [m]
Median Rolling Shutter Readout Time	66.8764 [ms]

Initial Processing Details

System Information

Hardware	CPU: AMD Ryzen 9 3900X 12-Core Processor RAM: 32GB GPU: NMDIA GeForce RTX 3080 (Driver: 27.21.14.5751)
Operating System	Windows 10 Home, 64-bit

Coordinate Systems

Image Coordinate System	WGS 84 (EGM96 Geoid)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 19S (EGM96 Geoid)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 19S (EGM96 Geoid)

Processing Options



Detected Template	3D Maps
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

Point Cloud Densification details



Processing Options



Image Scale	multiscale, 1 (Original image size, Slow)
Point Density	High (Slow)
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	no
LOD	Generated: no
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	03h:18m:28s
Time for Point Cloud Classification	07m:41s
Time for 3D Textured Mesh Generation	NA

Results



Number of Processed Clusters	2
Number of Generated Tiles	8
Number of 3D Densified Points	217503810
Average Density (per m ³)	220.93

DSM, Orthomosaic and Index Details



Processing Options



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (5.62 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Time for DSM Generation	45m:42s
Time for Orthomosaic Generation	08m:36s
Time for DTM Generation	00s
Time for Contour Lines Generation	00s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s

Quality Report



Generated with Pix4Denterprise version 4.5.6



Important: Click on the different icons for:



Help to analyze the results in the Quality Report



Additional information about the sections



Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary



Project	AGL 180
Processed	2021-12-18 15:29:28
Camera Model Name(s)	L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	6.05 cm / 2.38 in
Area Covered	0.407 km ² / 40.6765 ha / 0.16 sq. mi. / 100.5658 acres

Quality Check



Images	median of 74594 keypoints per image	
Dataset	71 out of 71 images calibrated (100%), all images enabled	
Camera Optimization	2.53% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
Matching	median of 23852.6 matches per calibrated image	
Georeferencing	yes, 5 GCPs (5 3D), mean RMS error = 0.009 m	

Preview

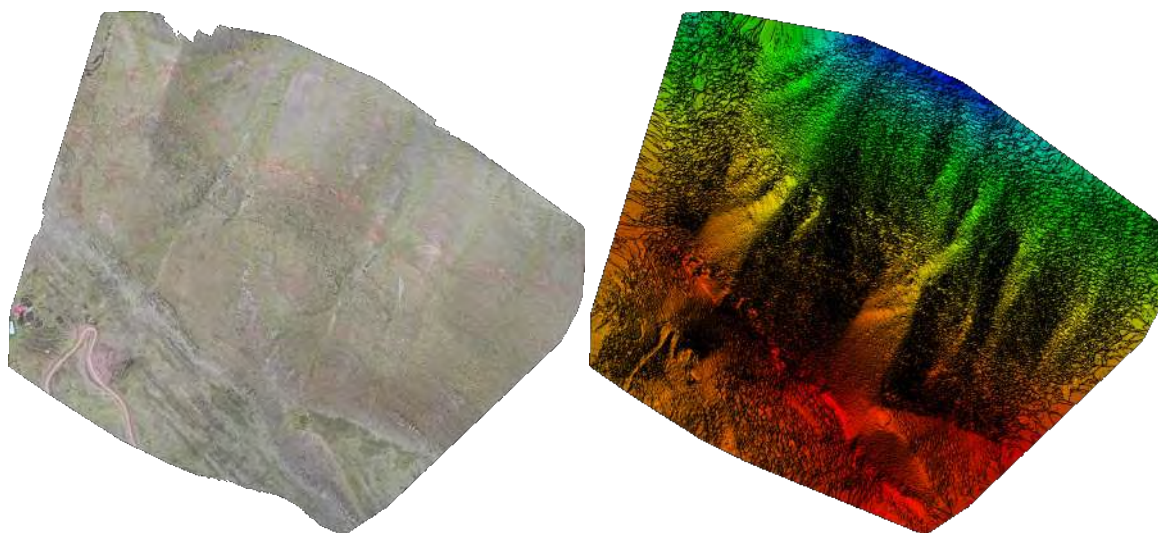


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details



Number of Calibrated Images	71 out of 71
-----------------------------	--------------

Initial Image Positions

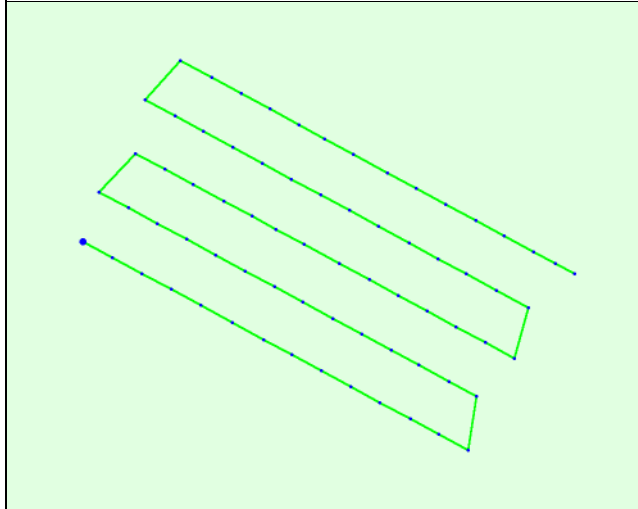
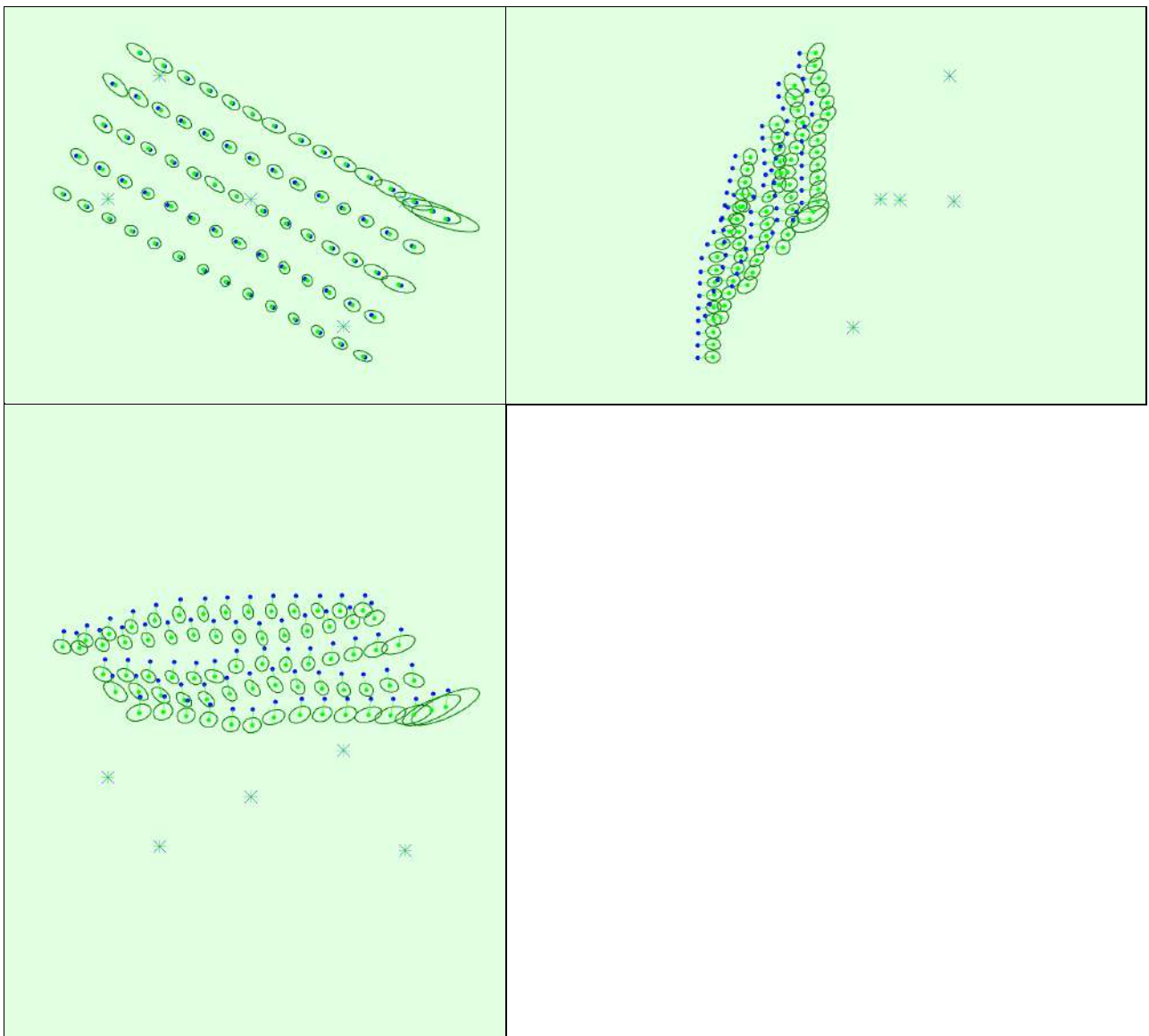


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



Uncertainty ellipses 1000x magnified

Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Absolute camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X[m]	Camera Displacement Y[m]	Camera Displacement Z[m]
Mean	0.013	0.010	0.011	0.003	0.004	0.003	0.004	0.005	0.009
Sigma	0.007	0.002	0.003	0.001	0.002	0.002	0.001	0.002	0.004

Overlap

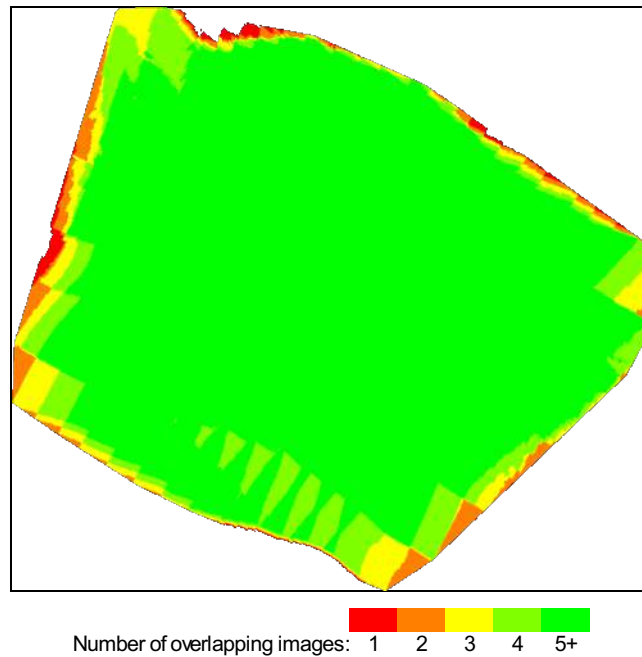


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details

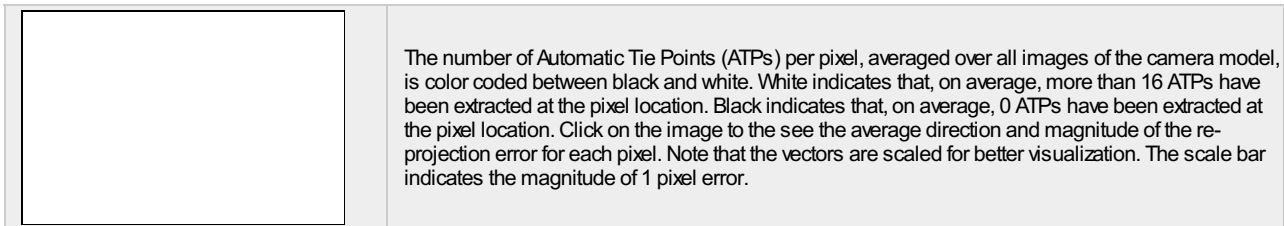
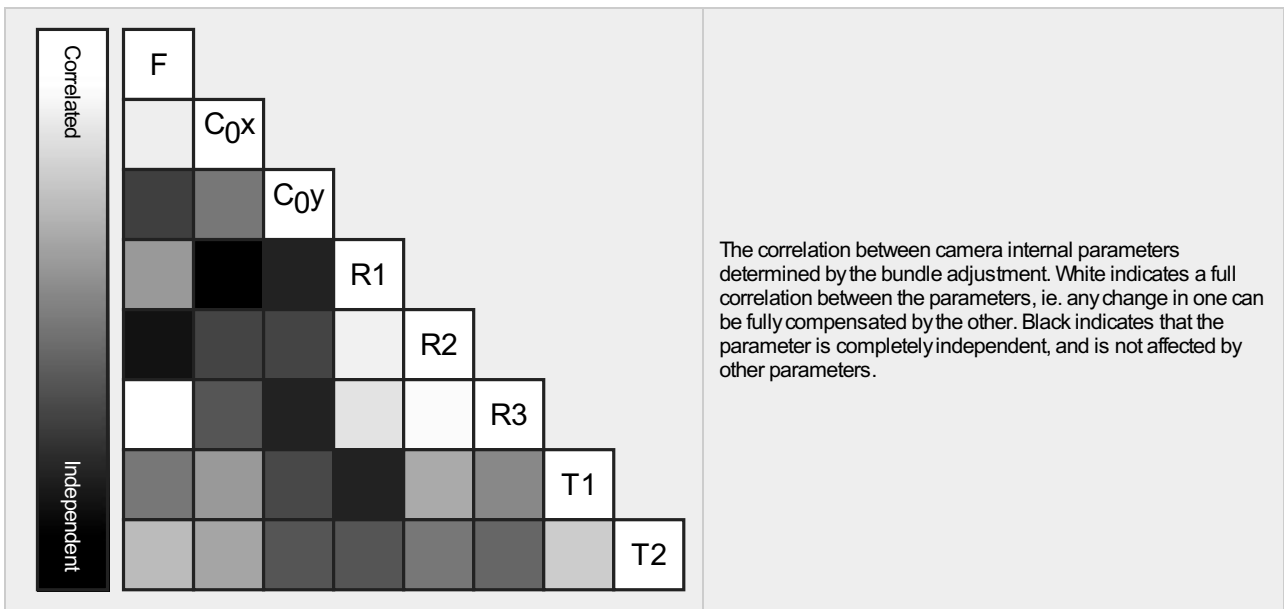
Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	1614229
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	563203
Mean Reprojection Error [pixels]	0.158

Internal Camera Parameters

L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.825 [mm] x 8.550 [mm]

EXIF ID: L1D-20c_10.3_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	4470.830 [pixel] 10.479 [mm]	2770.870 [pixel] 6.494 [mm]	1698.700 [pixel] 3.981 [mm]	0.009	0.040	-0.050	-0.003	0.002
Optimized Values	4357.567 [pixel] 10.213 [mm]	2723.157 [pixel] 6.382 [mm]	1799.331 [pixel] 4.217 [mm]	0.004	0.032	-0.038	-0.002	-0.000
Uncertainties (Sigma)	0.255 [pixel] 0.001 [mm]	0.054 [pixel] 0.000 [mm]	0.103 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	74594	23853
Mn	61093	12172
Max	80662	30238
Mean	73403	22736

3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	336222
In 3 Images	117212
In 4 Images	50268
In 5 Images	24523
In 6 Images	13493
In 7 Images	8086
In 8 Images	5089
In 9 Images	3289
In 10 Images	1859
In 11 Images	1154
In 12 Images	753
In 13 Images	493
In 14 Images	274
In 15 Images	196
In 16 Images	123
In 17 Images	62
In 18 Images	43
In 19 Images	32
In 20 Images	17
In 21 Images	6
In 22 Images	5
In 23 Images	1

In 24 Images	1
In 27 Images	1
In 30 Images	1

2D Keypoint Matches

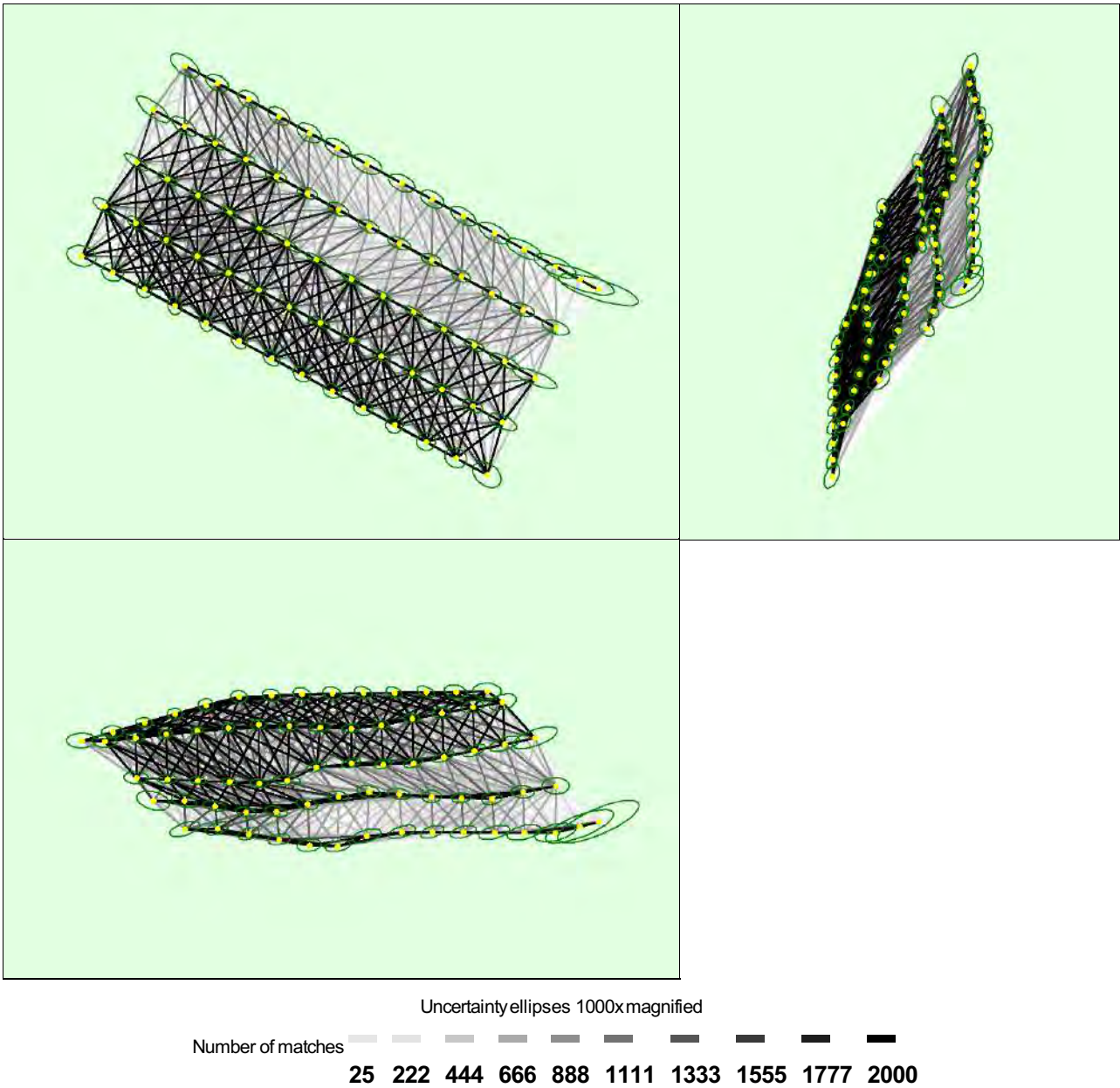


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X[m]	Camera Displacement Y [m]	Camera Displacement Z [m]
Mean	0.013	0.009	0.007	0.004	0.004	0.004	0.006	0.006	0.010
Sigma	0.006	0.003	0.003	0.001	0.002	0.002	0.001	0.002	0.004

Geolocation Details

Ground Control Points



GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
CUS12124 (3D)	0.020/ 0.020	0.000	-0.001	-0.015	0.430	10 / 10
5 (3D)	0.020/ 0.020	-0.004	-0.004	-0.012	0.414	8 / 8
8 (3D)	0.020/ 0.020	0.003	-0.002	0.032	0.495	17 / 17
11 (3D)	0.020/ 0.020	-0.002	0.001	-0.017	0.529	11 / 11
15 (3D)	0.020/ 0.020	0.007	0.007	-0.030	0.581	20 / 20
Mean [m]		0.001016	0.000165	-0.008429		
Sigma [m]		0.003823	0.003720	0.021111		
RMS Error [m]		0.003956	0.003724	0.022731		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

Absolute Geolocation Variance



Mn Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	38.03	0.00	0.00
-3.00	0.00	1.41	60.56	46.48
0.00	3.00	40.85	39.44	53.52
3.00	6.00	19.72	0.00	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		-0.138967	0.215718	22.275055
Sigma [m]		3.288684	1.666201	0.509092
RMS Error [m]		3.291619	1.680107	22.280871

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	-0.138967	0.215718	22.275055

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

Relative Geolocation Variance



Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	98.59	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	1.300

Phi	3.295
Kappa	4.224

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Rolling Shutter Statistics

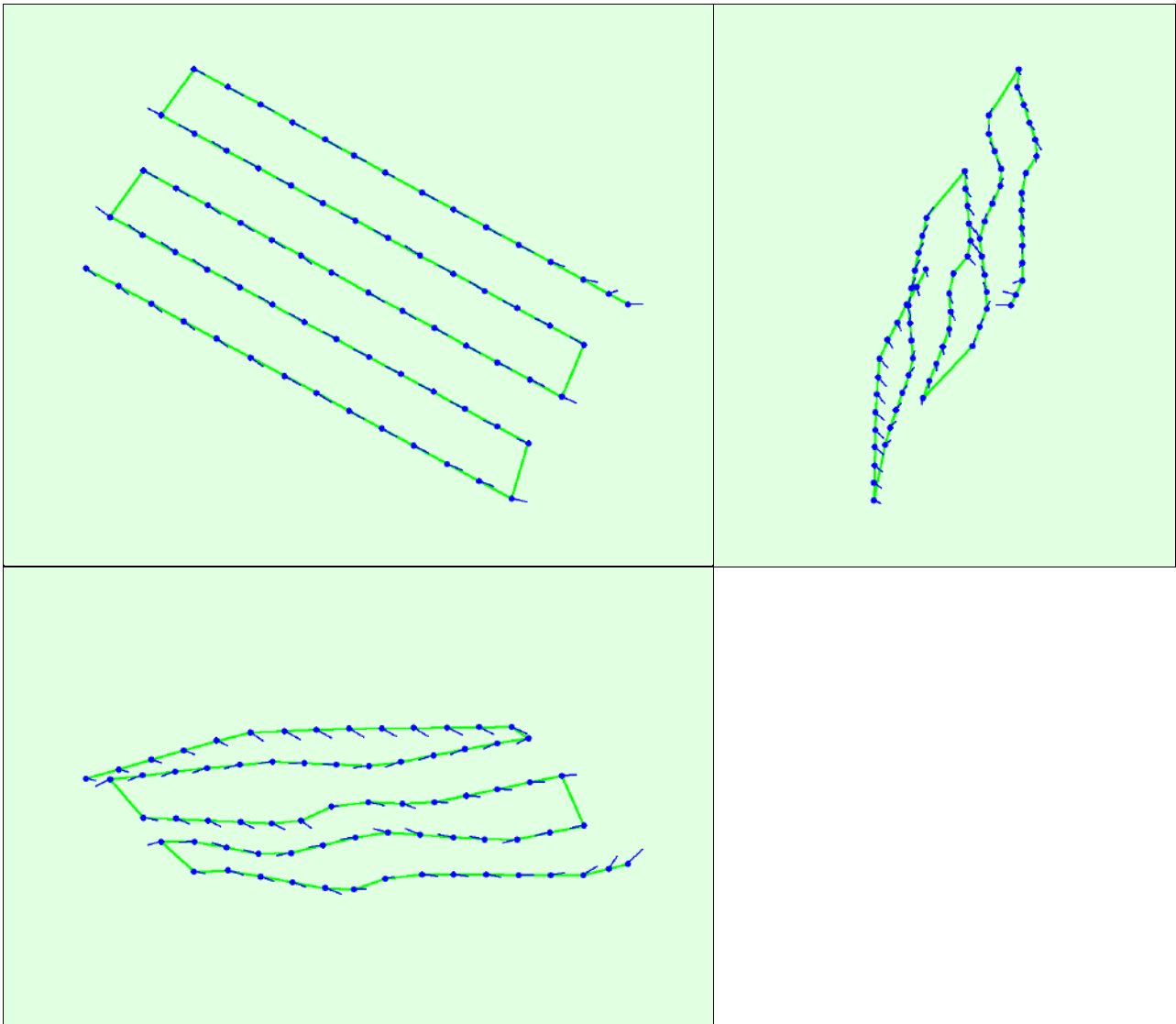


Figure 6: Camera movement estimated by the rolling shutter camera model. The green line follows the computed image positions. The blue dots represent the camera position at the start of the exposure. The blue lines represent the camera motion during the rolling shutter readout, re-scaled by a project dependant scaling factor for better visibility.

Median Camera Speed	12.7051 [m/s]
Median Camera Displacement During Sensor Readout)	0.8939 [m]
Median Rolling Shutter Readout Time	67.3079 [ms]

Initial Processing Details

System Information

Hardware	CPU: AMD Ryzen 9 3900X 12-Core Processor RAM: 32GB GPU: NMDIA GeForce RTX 3080 (Driver: 27.21.14.5751)
Operating System	Windows 10 Home, 64-bit

Coordinate Systems

Image Coordinate System	WGS 84 (EGM96 Geoid)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 19S (EGM96 Geoid)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 19S (EGM96 Geoid)

Processing Options



Detected Template	No Template Available
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

Point Cloud Densification details



Processing Options



Image Scale	multiscale, 1 (Original image size, Slow)
Point Density	High (Slow)
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	no
LOD	Generated: no
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	02h:49m:38s
Time for Point Cloud Classification	07m:06s
Time for 3D Textured Mesh Generation	NA

Results



Number of Processed Clusters	2
Number of Generated Tiles	8
Number of 3D Densified Points	190042191
Average Density (per m ³)	180.69

DSM, Orthomosaic and Index Details



Processing Options



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (6.05 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Time for DSM Generation	45m:08s
Time for Orthomosaic Generation	05m:58s
Time for DTM Generation	00s
Time for Contour Lines Generation	00s

Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s

Quality Report



Generated with Pix4Denterprise version 4.5.6



Important: Click on the different icons for:



Help to analyze the results in the Quality Report



Additional information about the sections



Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary



Project	amsl 60 m
Processed	2021-12-31 17:24:21
Camera Model Name(s)	L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	4.10 cm / 1.61 in
Area Covered	0.363 km ² / 36.2838 ha / 0.14 sq. mi. / 89.7056 acres

Quality Check



Images	median of 71926 keypoints per image	
Dataset	530 out of 530 images calibrated (100%), all images enabled	
Camera Optimization	3.1% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
Matching	median of 26047.3 matches per calibrated image	
Georeferencing	yes, 11 GCPs (11 3D), mean RMS error = 0.011 m	

Preview

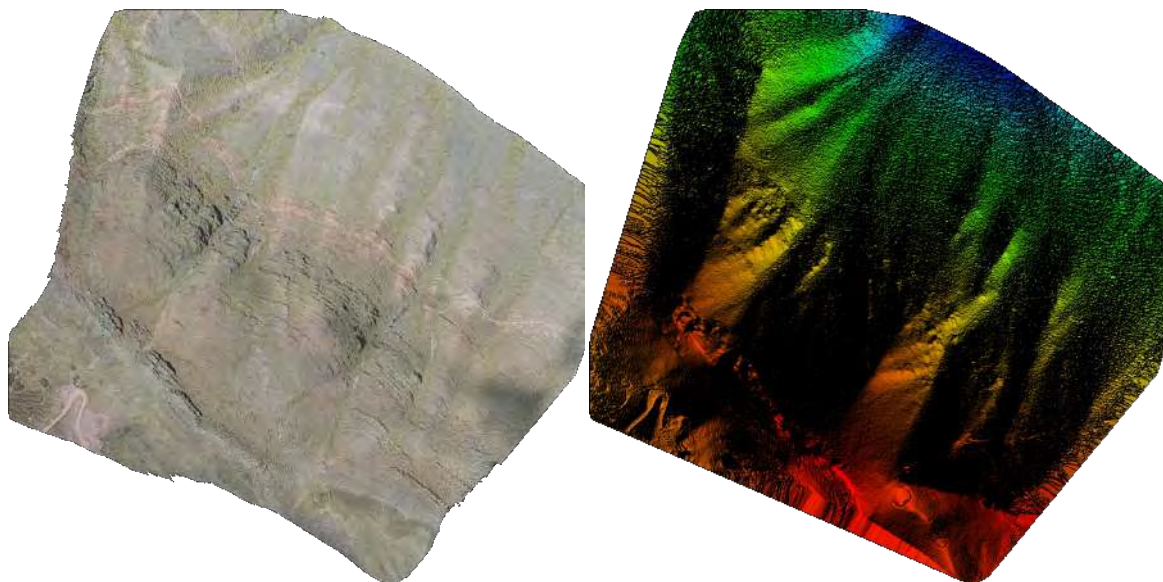


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details



Number of Calibrated Images	530 out of 530
Number of Geolocated Images	530 out of 530

Initial Image Positions

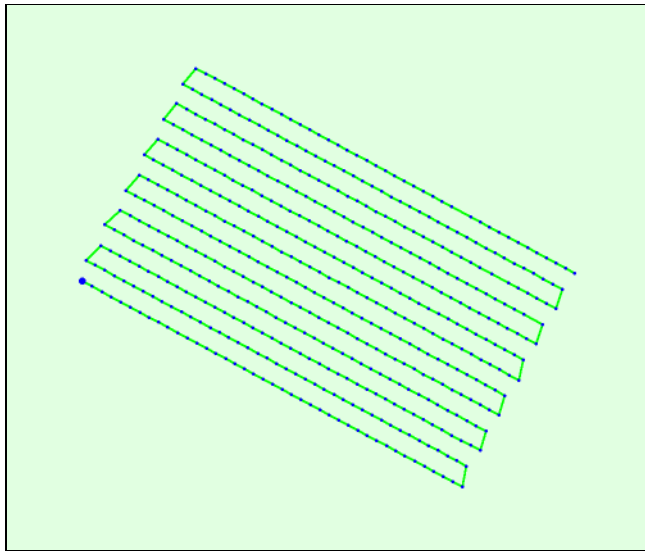
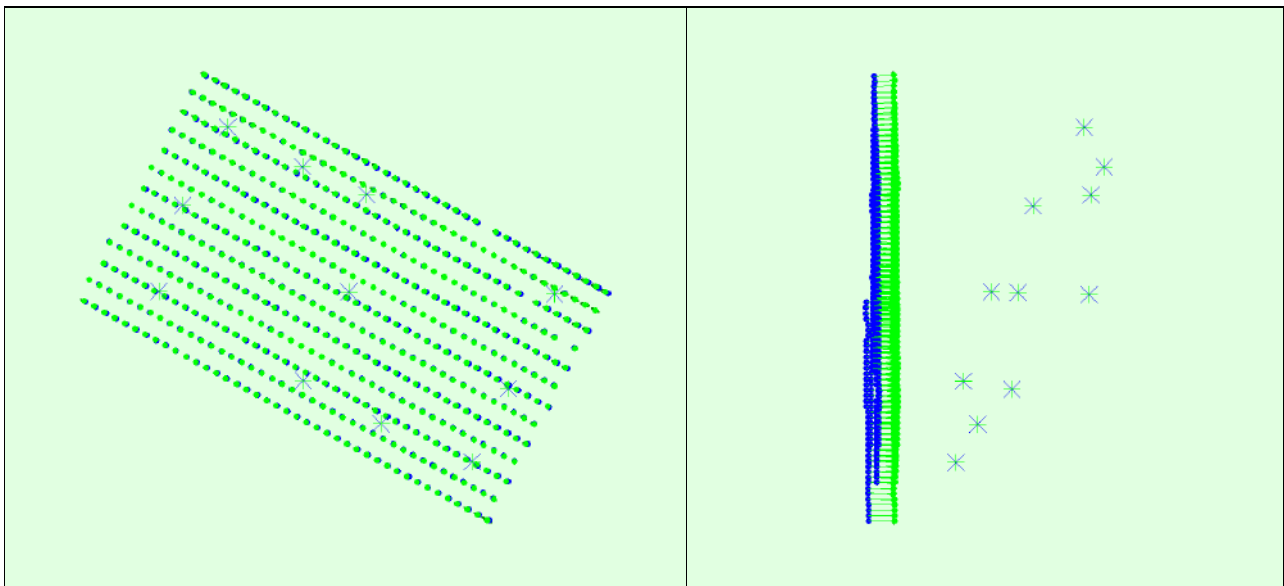
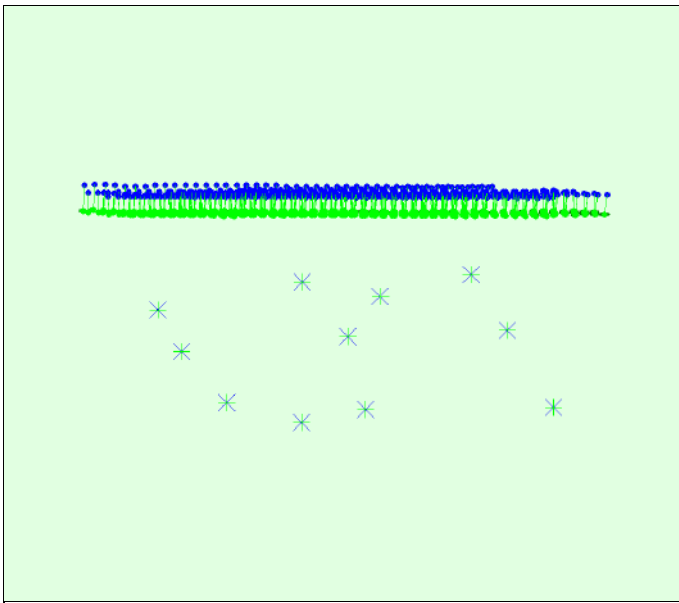


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions





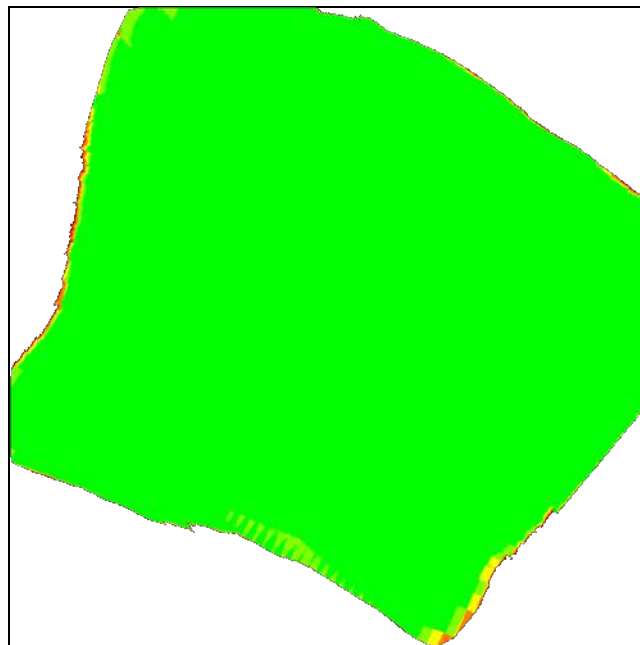
Uncertainty ellipses 100x magnified

Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Absolute camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X[m]	Camera Displacement Y[m]	Camera Displacement Z[m]
Mean	0.020	0.013	0.009	0.005	0.008	0.006	0.005	0.007	0.014
Sigma	0.008	0.005	0.002	0.002	0.003	0.002	0.001	0.003	0.005

Overlap



Number of overlapping images: 1 2 3 4 5+

Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details



Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	13779485
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	4085310
Mean Reprojection Error [pixels]	0.131

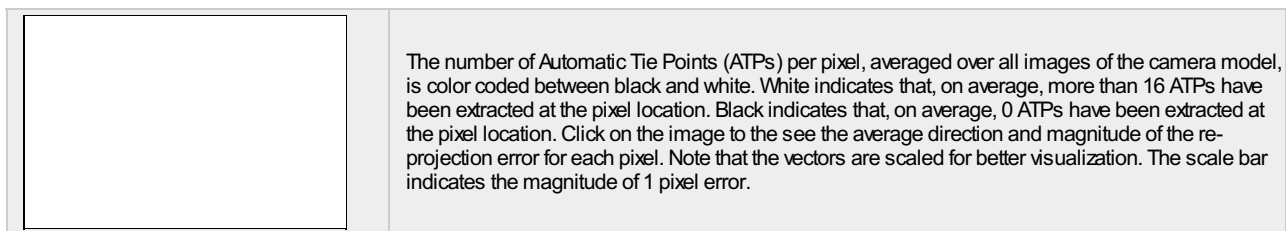
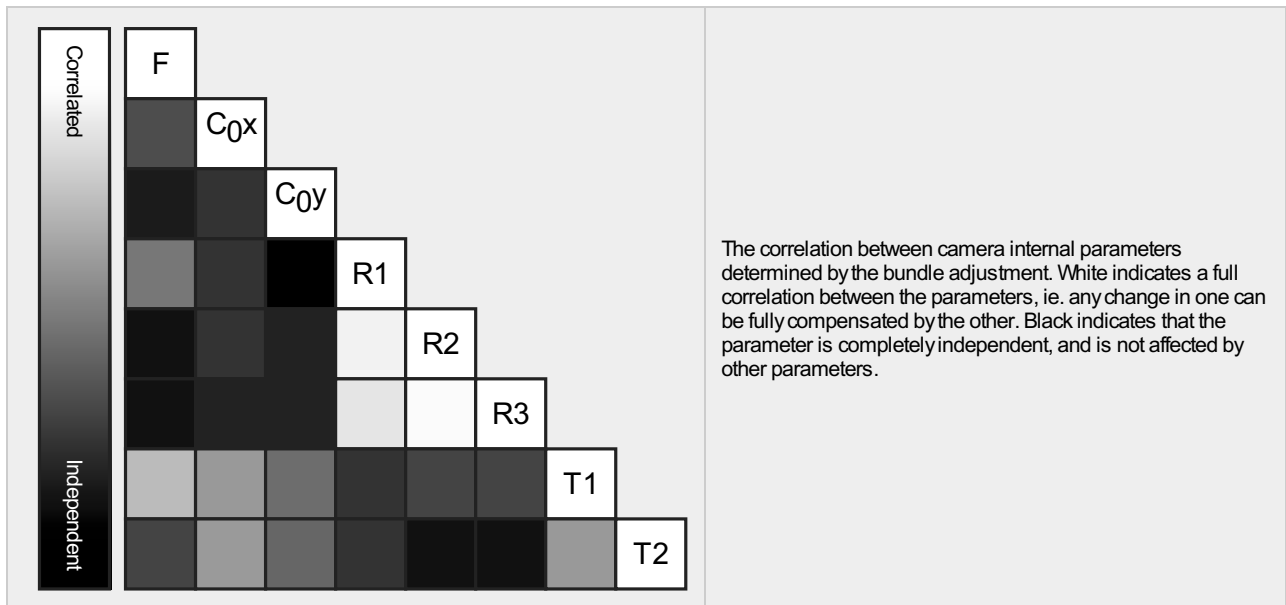
Internal Camera Parameters

L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.825 [mm] x 8.550 [mm]



EXIF ID: L1D-20c_10.3_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	4470.830 [pixel] 10.479 [mm]	2770.870 [pixel] 6.494 [mm]	1698.700 [pixel] 3.981 [mm]	0.009	0.040	-0.050	-0.003	0.002
Optimized Values	4331.942 [pixel] 10.153 [mm]	2738.892 [pixel] 6.419 [mm]	1785.270 [pixel] 4.184 [mm]	0.013	-0.003	0.004	-0.001	-0.000
Uncertainties (Sigma)	0.249 [pixel] 0.001 [mm]	0.056 [pixel] 0.000 [mm]	0.100 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



2D Keypoints Table



	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	71926	26047
Mn	52023	7075
Max	79928	43182
Mean	69779	25999

3D Points from 2D Keypoint Matches



	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	2318638
In 3 Images	794393

In 4 Images	361990
In 5 Images	192785
In 6 Images	114189
In 7 Images	71970
In 8 Images	48492
In 9 Images	34776
In 10 Images	26002
In 11 Images	19842
In 12 Images	15773
In 13 Images	12234
In 14 Images	10419
In 15 Images	8364
In 16 Images	7034
In 17 Images	5782
In 18 Images	4945
In 19 Images	4292
In 20 Images	3661
In 21 Images	3123
In 22 Images	2723
In 23 Images	2462
In 24 Images	2172
In 25 Images	1918
In 26 Images	1689
In 27 Images	1571
In 28 Images	1363
In 29 Images	1200
In 30 Images	1119
In 31 Images	1006
In 32 Images	866
In 33 Images	788
In 34 Images	740
In 35 Images	676
In 36 Images	558
In 37 Images	530
In 38 Images	477
In 39 Images	427
In 40 Images	371
In 41 Images	359
In 42 Images	293
In 43 Images	283
In 44 Images	247
In 45 Images	217
In 46 Images	234
In 47 Images	177
In 48 Images	177
In 49 Images	167
In 50 Images	139
In 51 Images	152
In 52 Images	127
In 53 Images	133
In 54 Images	98
In 55 Images	112
In 56 Images	94
In 57 Images	67
In 58 Images	75
In 59 Images	73
In 60 Images	46
In 61 Images	57
In 62 Images	44

In 63 Images	40
In 64 Images	35
In 65 Images	31
In 66 Images	33
In 67 Images	28
In 68 Images	23
In 69 Images	33
In 70 Images	26
In 71 Images	16
In 72 Images	21
In 73 Images	20
In 74 Images	13
In 75 Images	20
In 76 Images	10
In 77 Images	12
In 78 Images	10
In 79 Images	16
In 80 Images	12
In 81 Images	9
In 82 Images	10
In 83 Images	12
In 84 Images	8
In 85 Images	7
In 86 Images	13
In 87 Images	6
In 88 Images	8
In 89 Images	9
In 90 Images	9
In 91 Images	4
In 92 Images	4
In 93 Images	7
In 94 Images	6
In 95 Images	7
In 96 Images	3
In 97 Images	3
In 98 Images	6
In 99 Images	4
In 100 Images	7
In 101 Images	3
In 103 Images	6
In 106 Images	3
In 107 Images	3
In 109 Images	3
In 110 Images	1
In 111 Images	4
In 112 Images	3
In 113 Images	1
In 114 Images	2
In 115 Images	3
In 116 Images	1
In 117 Images	1
In 118 Images	2
In 119 Images	1
In 120 Images	1

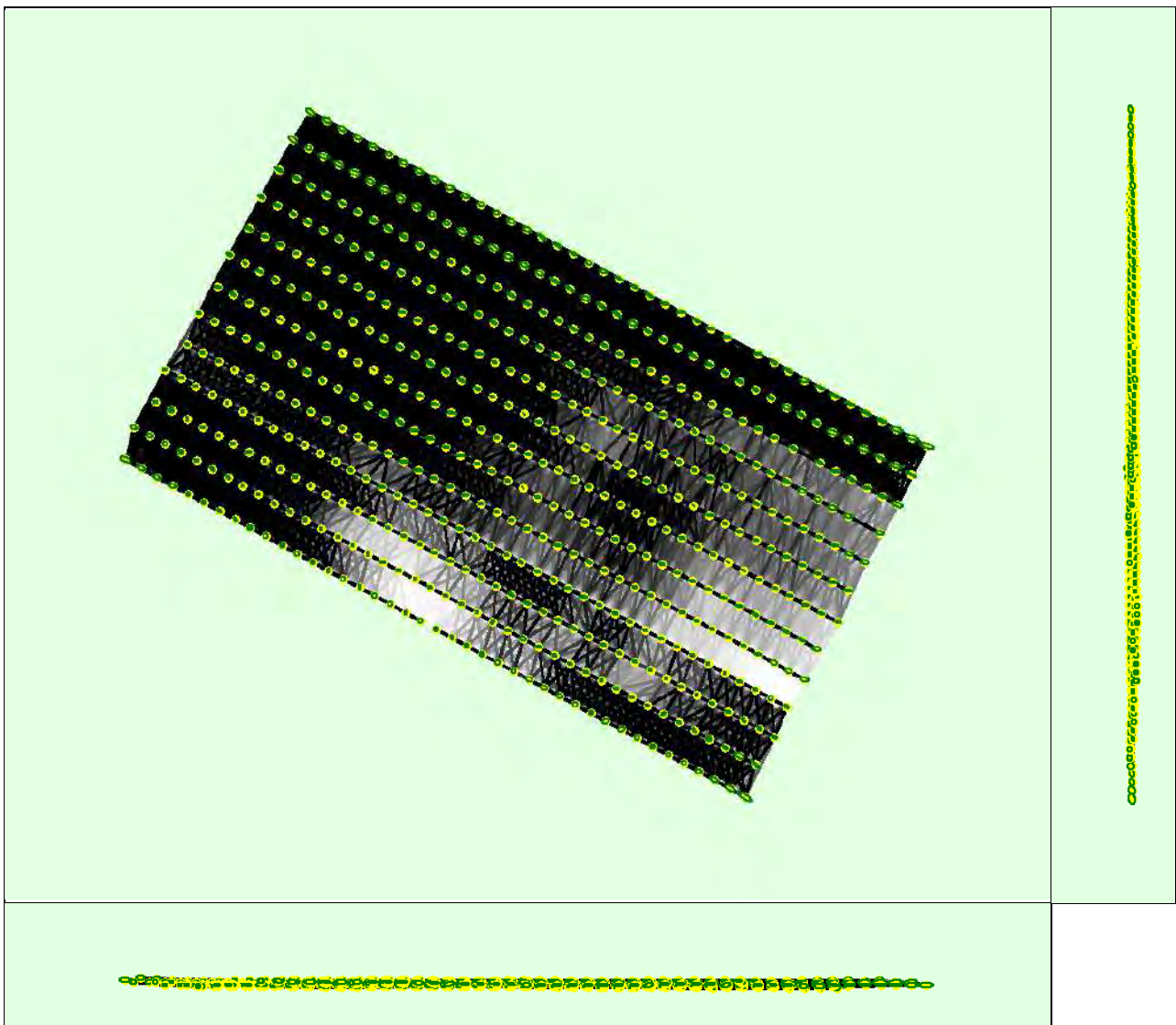


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X[m]	Camera Displacement Y[m]	Camera Displacement Z[m]
Mean	0.021	0.014	0.008	0.006	0.009	0.006	0.006	0.007	0.014
Sigma	0.007	0.004	0.002	0.002	0.003	0.002	0.001	0.003	0.005

Geolocation Details

Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X[m]	Error Y[m]	Error Z[m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
1 (3D)	0.020/0.020	0.009	0.008	-0.004	0.422	35 / 35
5 (3D)	0.020/0.020	0.010	0.004	0.014	0.373	12 / 12
8 (3D)	0.020/0.020	-0.007	-0.005	0.026	0.410	63 / 63

11 (3D)	0.020/0.020	-0.020	-0.004	-0.002	0.427	80 / 80
15 (3D)	0.020/0.020	-0.013	-0.014	0.001	0.322	77 / 77
3 (3D)	0.020/0.020	0.005	-0.010	-0.008	0.969	19 / 19
4 (3D)	0.020/0.020	-0.011	0.004	-0.030	0.485	25 / 25
6 (3D)	0.020/0.020	-0.010	-0.002	-0.004	0.456	77 / 77
10 (3D)	0.020/0.020	0.006	0.001	-0.011	0.184	58 / 58
12 (3D)	0.020/0.020	0.014	-0.002	-0.015	0.551	133 / 133
13 (3D)	0.020/0.020	0.016	0.012	0.019	0.590	101 / 101
Mean [m]		-0.000068	-0.000761	-0.001277		
Sigma [m]		0.011791	0.007153	0.015358		
RMS Error [m]		0.011791	0.007193	0.015411		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

Absolute Geolocation Variance



Mn Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X[%]	Geolocation Error Y[%]	Geolocation Error Z[%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	0.00	0.00	0.00
-3.00	0.00	46.23	49.06	70.38
0.00	3.00	53.77	50.94	18.87
3.00	6.00	0.00	0.00	2.64
6.00	9.00	0.00	0.00	8.11
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		0.789384	-0.163427	21.365157
Sigma [m]		1.130037	0.615316	2.285615
RMS Error [m]		1.378445	0.636649	21.487065

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	0.789384	-0.163427	21.365157

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

Relative Geolocation Variance



Relative Geolocation Error	Images X[%]	Images Y[%]	Images Z[%]
[-1.00, 1.00]	100.00	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	1.882

Phi	0.459
Kappa	3.457

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Rolling Shutter Statistics

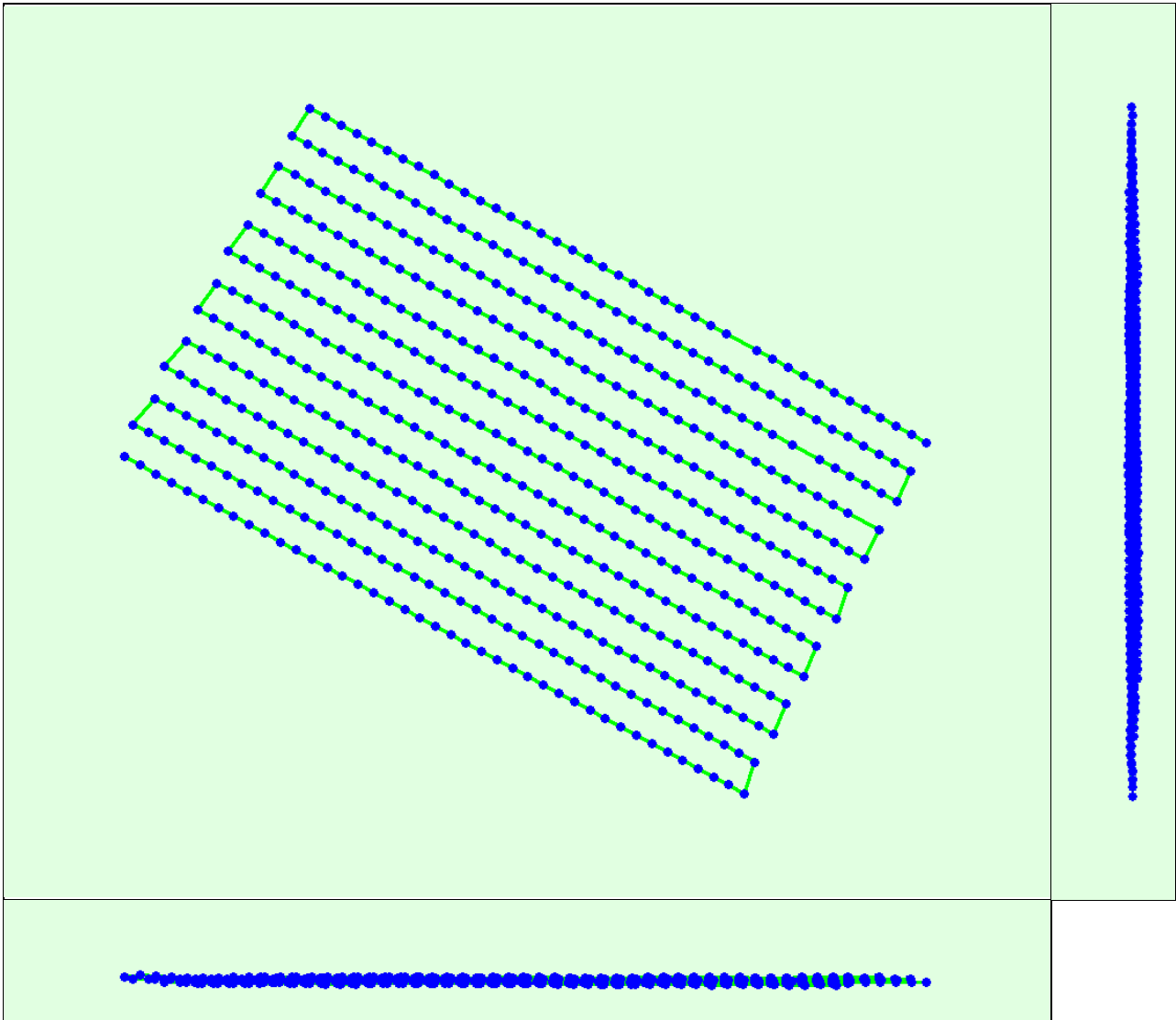


Figure 6: Camera movement estimated by the rolling shutter camera model. The green line follows the computed image positions. The blue dots represent the camera position at the start of the exposure. The blue lines represent the camera motion during the rolling shutter readout, re-scaled by a project dependant scaling factor for better visibility.

Median Camera Speed	6.0707 [m/s]
Median Camera Displacement During Sensor Readout)	0.3303 [m]
Median Rolling Shutter Readout Time	63.5496 [ms]

Initial Processing Details

System Information

Hardware	CPU: AMD Ryzen 9 5900X 12-Core Processor RAM: 32GB GPU: NVIDIA GeForce RTX 3080 (Driver: 27.21.14.5671)
Operating System	Windows 10 Pro, 64-bit

Coordinate Systems

Image Coordinate System	WGS 84 (EGM96 Geoid)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 19S (EGM96 Geoid)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 19S (EGM96 Geoid)

Processing Options



Detected Template	No Template Available
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, no

Point Cloud Densification details



Processing Options



Image Scale	multiscale, 1 (Original image size, Slow)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	no
LOD	Generated: no
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes

Results



Number of Generated Tiles	11
Number of 3D Densified Points	206167322
Average Density (per m ³)	428.3

DSM, Orthomosaic and Index Details



Processing Options



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (4.1 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no

Quality Report



Generated with Pix4Denterprise version 4.5.6



Important: Click on the different icons for:



Help to analyze the results in the Quality Report



Additional information about the sections



Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary



Project	AMSL 80
Processed	2021-12-16 20:14:48
Camera Model Name(s)	L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	4.35 cm / 1.71 in
Area Covered	0.368 km ² / 36.8376 ha / 0.14 sq. mi. / 91.0747 acres

Quality Check



Images	median of 72692 keypoints per image	
Dataset	234 out of 234 images calibrated (100%), all images enabled	
Camera Optimization	2.96% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
Matching	median of 38540.9 matches per calibrated image	
Georeferencing	yes, 5 GCPs (5 3D), mean RMS error = 0.003 m	

Preview

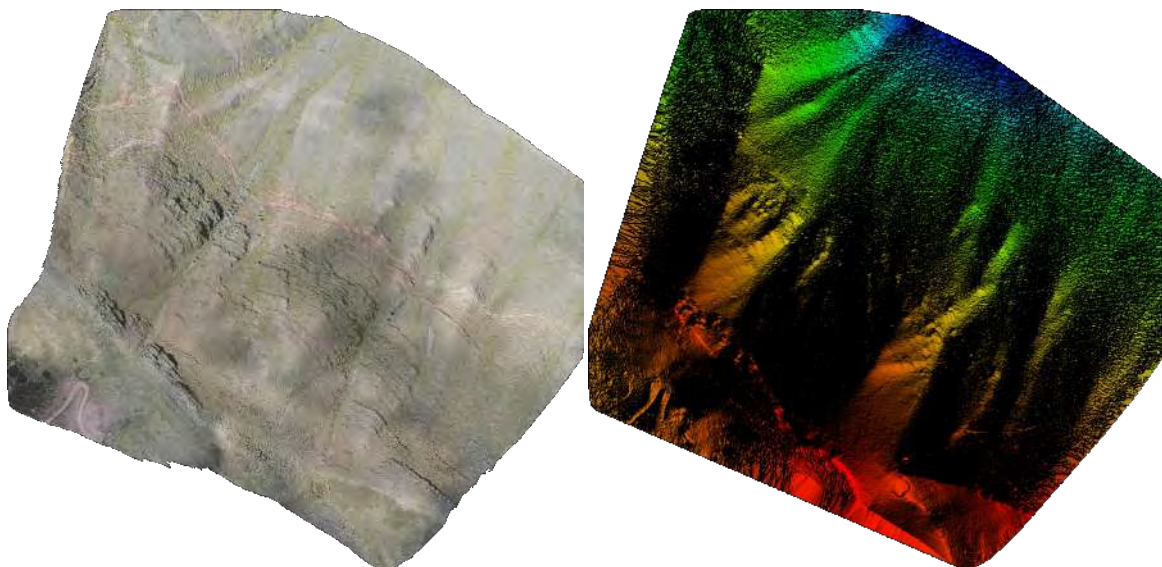


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details



Number of Calibrated Images	234 out of 234
Number of Geolocated Images	234 out of 234

Initial Image Positions

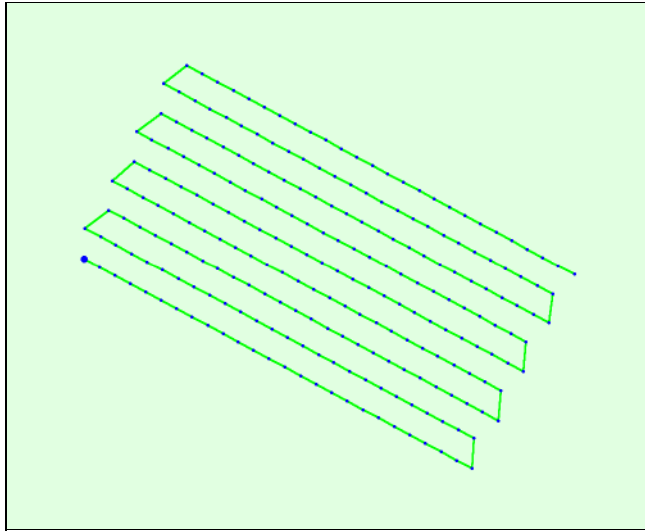


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions

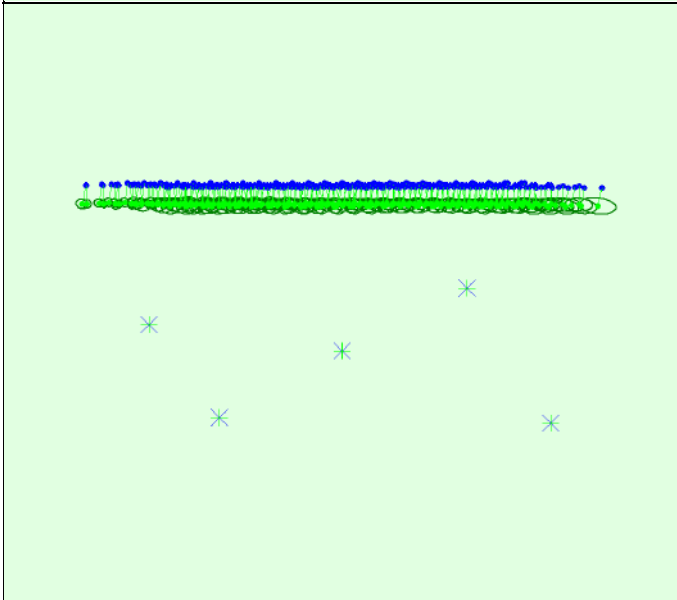
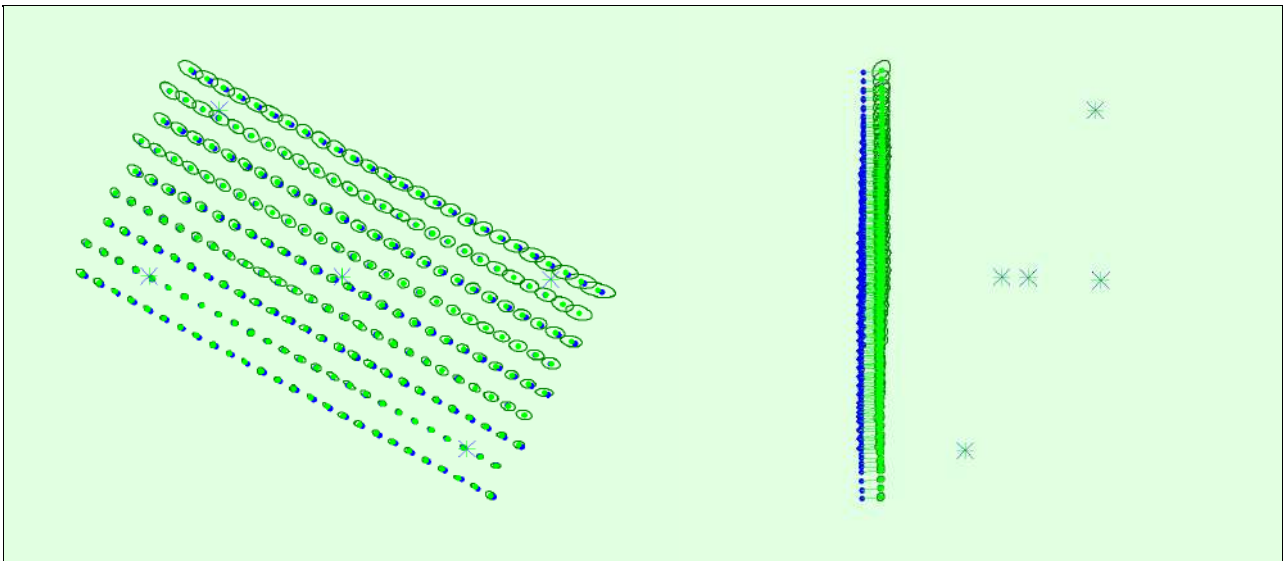


Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Absolute camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X[m]	Camera Displacement Y[m]	Camera Displacement Z[m]
Mean	0.014	0.011	0.012	0.004	0.005	0.003	0.004	0.005	0.010
Sigma	0.005	0.003	0.003	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.003

Overlap

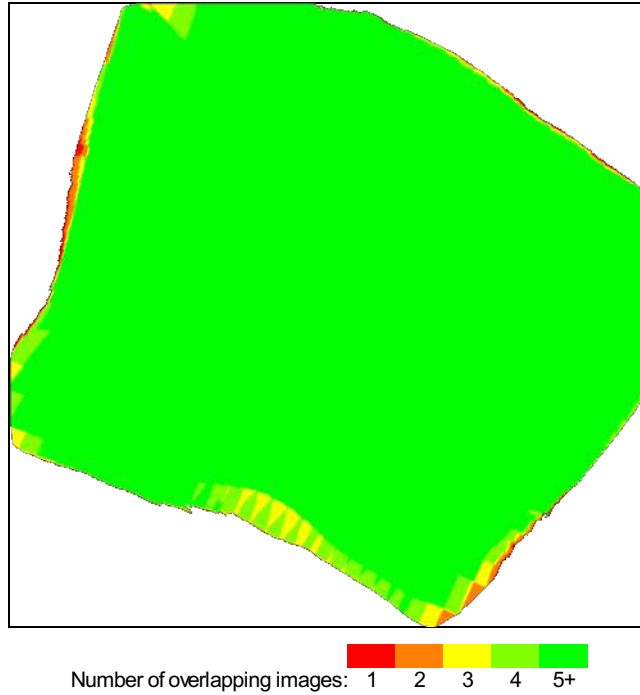


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details

Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	8950244
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	2386794
Mean Reprojection Error [pixels]	0.154

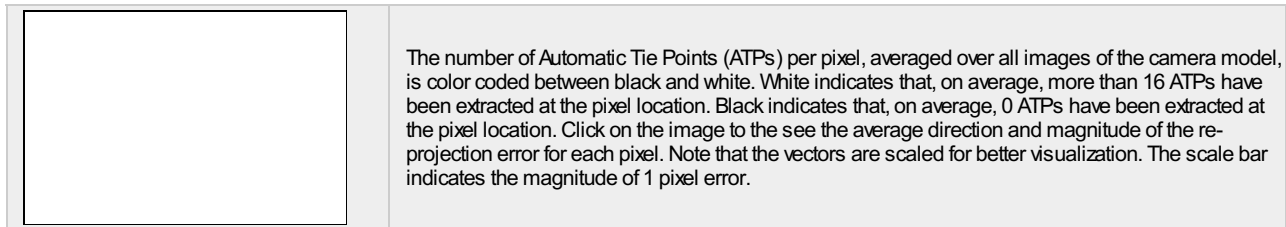
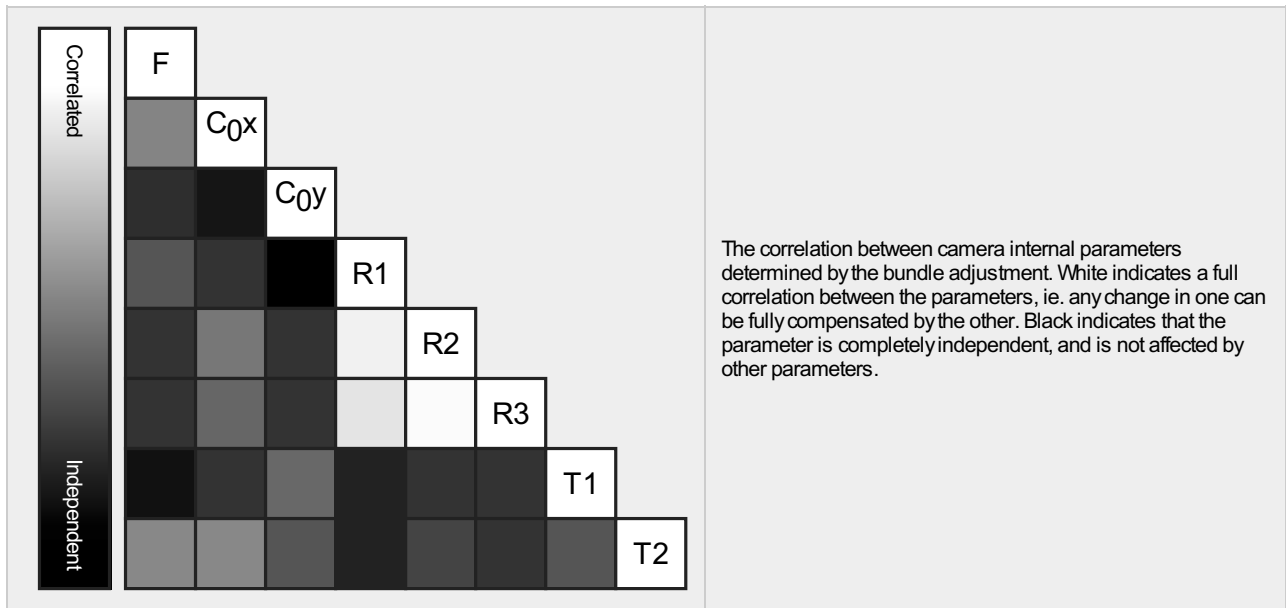
Internal Camera Parameters

L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.825 [mm] x 8.550 [mm]

EXIF ID: L1D-20c_10.3_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	4470.830 [pixel] 10.479 [mm]	2770.870 [pixel] 6.494 [mm]	1698.700 [pixel] 3.981 [mm]	0.009	0.040	-0.050	-0.003	0.002
Optimized Values	4338.250 [pixel] 10.168 [mm]	2738.771 [pixel] 6.419 [mm]	1785.015 [pixel] 4.184 [mm]	0.014	-0.001	0.003	-0.001	-0.000

Uncertainties (Sigma)	0.382 [pixel] 0.001 [mm]	0.049 [pixel] 0.000 [mm]	0.081 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
-----------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------	-------	-------	-------	-------



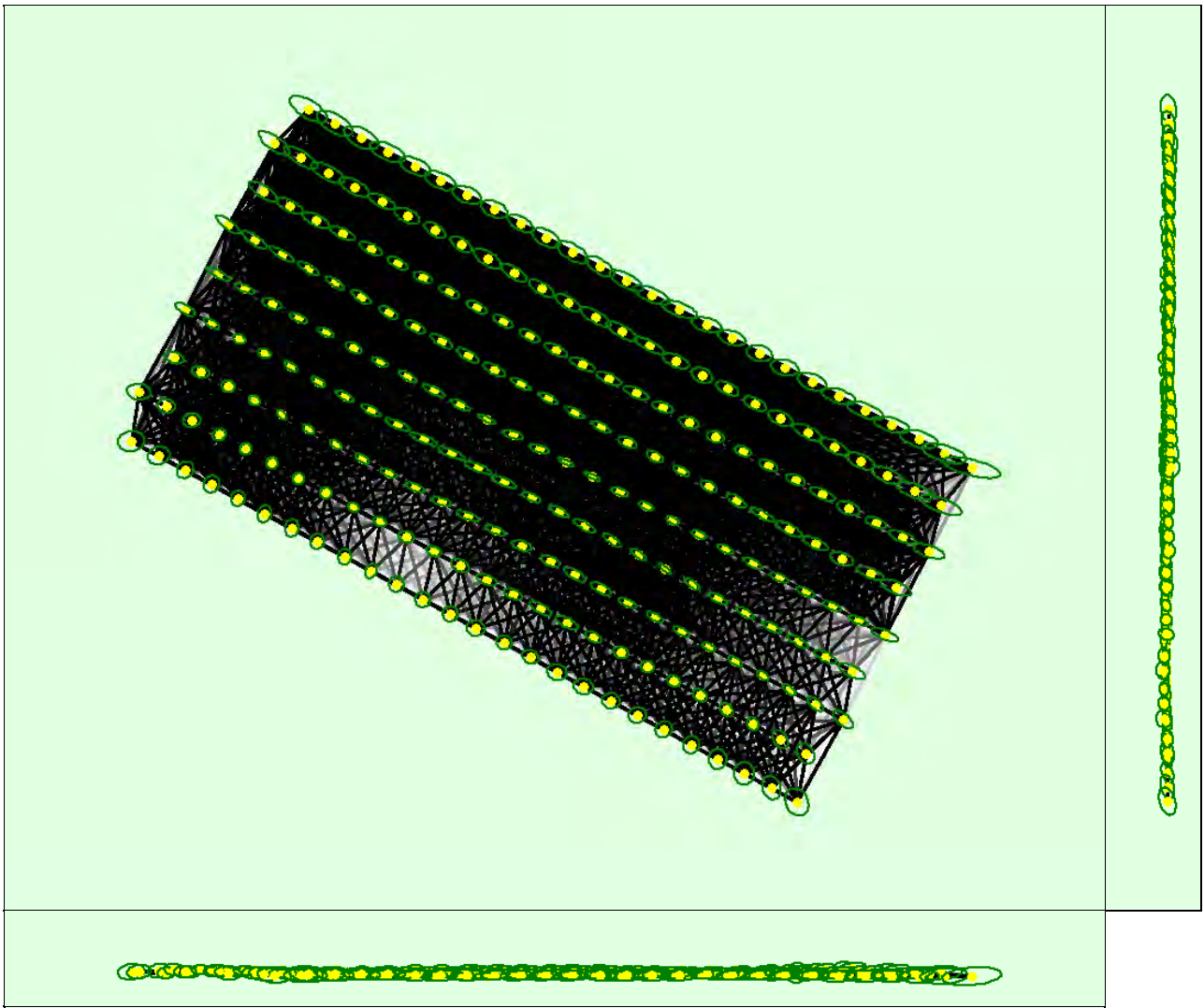
2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	72692	38541
Mn	49303	18372
Max	79989	53788
Mean	69507	38249

3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	1160903
In 3 Images	483139
In 4 Images	248938
In 5 Images	142140
In 6 Images	90771
In 7 Images	61246
In 8 Images	43829
In 9 Images	31811
In 10 Images	23901
In 11 Images	18177
In 12 Images	14636
In 13 Images	11149
In 14 Images	9143
In 15 Images	7588
In 16 Images	6036
In 17 Images	5052
In 18 Images	4207
In 19 Images	3575
In 20 Images	2945
In 21 Images	2569

In 22 Images	2139
In 23 Images	1838
In 24 Images	1586
In 25 Images	1311
In 26 Images	1163
In 27 Images	979
In 28 Images	860
In 29 Images	676
In 30 Images	633
In 31 Images	535
In 32 Images	477
In 33 Images	386
In 34 Images	370
In 35 Images	298
In 36 Images	260
In 37 Images	209
In 38 Images	170
In 39 Images	195
In 40 Images	121
In 41 Images	116
In 42 Images	103
In 43 Images	112
In 44 Images	72
In 45 Images	63
In 46 Images	33
In 47 Images	54
In 48 Images	35
In 49 Images	33
In 50 Images	34
In 51 Images	15
In 52 Images	20
In 53 Images	18
In 54 Images	27
In 55 Images	21
In 56 Images	16
In 57 Images	12
In 58 Images	13
In 59 Images	13
In 60 Images	6
In 61 Images	4
In 62 Images	2
In 63 Images	3
In 64 Images	3
In 65 Images	1
In 66 Images	1
In 67 Images	1
In 68 Images	1
In 69 Images	1



Uncertainty ellipses 500x magnified



Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X[m]	Camera Displacement Y[m]	Camera Displacement Z[m]
Mean	0.014	0.010	0.006	0.004	0.006	0.004	0.005	0.006	0.010
Sigma	0.004	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.003

Geolocation Details

Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X[m]	Error Y[m]	Error Z[m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
1 (3D)	0.020/ 0.020	0.001	-0.000	-0.003	0.595	24 / 24
5 (3D)	0.020/ 0.020	0.002	0.001	-0.005	0.407	11 / 11
8 (3D)	0.020/ 0.020	-0.001	-0.000	0.012	0.509	37 / 37
11 (3D)	0.020/ 0.020	-0.001	0.003	-0.009	0.619	44 / 44

15 (3D)	0.020/0.020	-0.001	-0.001	-0.000	0.527	47 / 47
Mean [m]		0.000023	0.000342	-0.001191		
Sigma [m]		0.001135	0.001621	0.006973		
RMS Error [m]		0.001135	0.001657	0.007074		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

Absolute Geolocation Variance

Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X[%]	Geolocation Error Y[%]	Geolocation Error Z[%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	0.00	0.00	0.00
-3.00	0.00	44.44	55.56	51.71
0.00	3.00	55.56	44.44	48.29
3.00	6.00	0.00	0.00	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		1.451118	-1.040462	20.080215
Sigma [m]		1.891902	0.976174	0.381447
RMS Error [m]		2.384332	1.426701	20.083837

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	1.451118	-1.040462	20.080215

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

Relative Geolocation Variance

Relative Geolocation Error	Images X[%]	Images Y[%]	Images Z[%]
[-1.00, 1.00]	100.00	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	1.832
Phi	0.364
Kappa	1.690

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Rolling Shutter Statistics

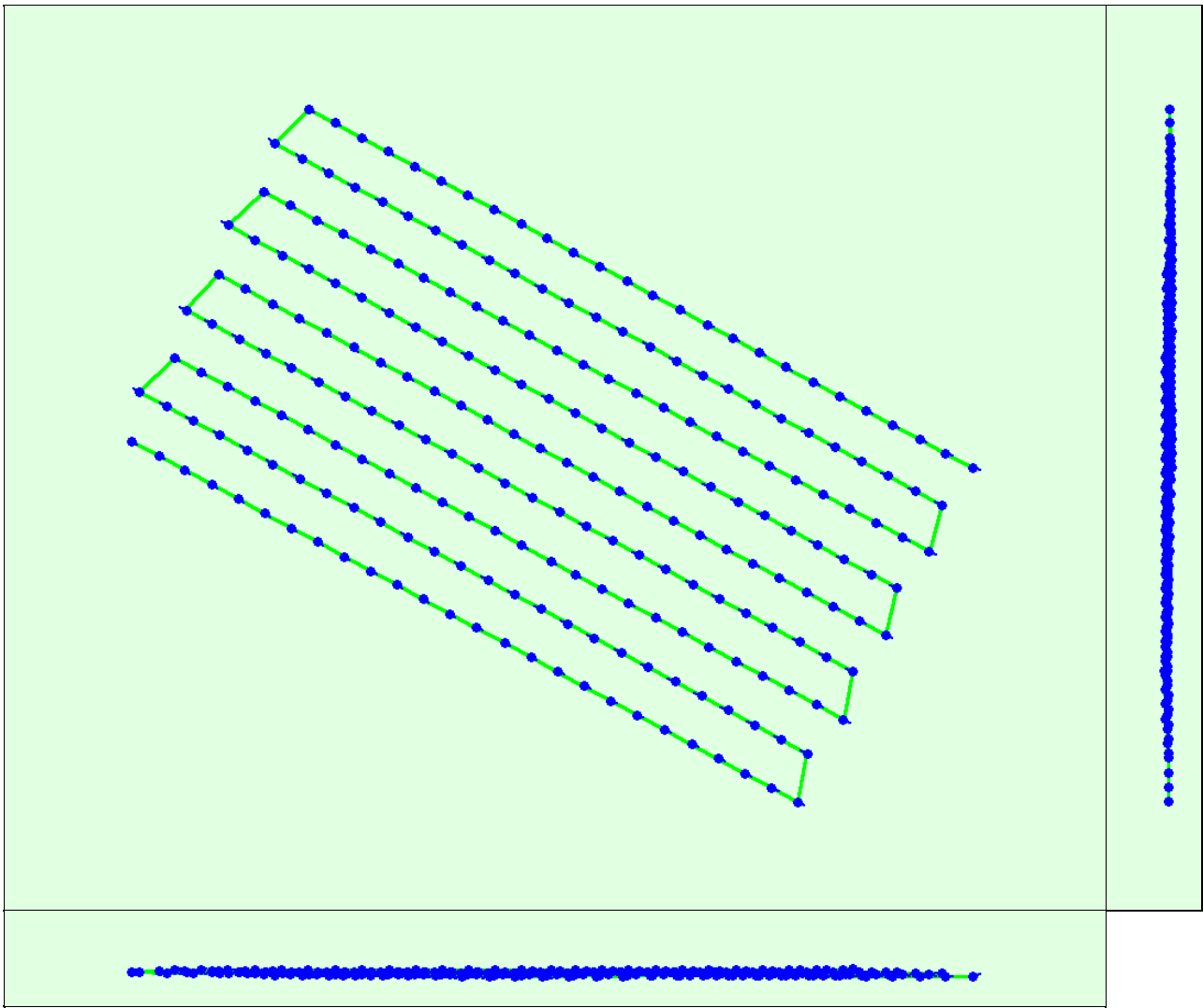


Figure 6: Camera movement estimated by the rolling shutter camera model. The green line follows the computed image positions. The blue dots represent the camera position at the start of the exposure. The blue lines represent the camera motion during the rolling shutter readout, re-scaled by a project dependant scaling factor for better visibility.

Median Camera Speed	9.7302 [m/s]
Median Camera Displacement During Sensor Readout)	0.477 [m]
Median Rolling Shutter Readout Time	51.9851 [ms]

Initial Processing Details



System Information



Hardware	CPU: AMD Ryzen 5 5600X6-Core Processor RAM: 32GB GPU: NMDIA GeForce RTX 3080 (Driver: 27.21.14.5671)
Operating System	Windows 10 Pro, 64-bit

Coordinate Systems



Image Coordinate System	WGS 84 (EGM96 Geoid)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 19S (EGM96 Geoid)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 19S (EGM96 Geoid)

Processing Options



Detected Template	No Template Available
-------------------	-----------------------

Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

Point Cloud Densification details



Processing Options



Image Scale	multiscale, 1 (Original image size, Slow)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	no
LOD	Generated: no
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	06h:57m:32s
Time for Point Cloud Classification	07m:15s
Time for 3D Textured Mesh Generation	NA

Results



Number of Processed Clusters	2
Number of Generated Tiles	6
Number of 3D Densified Points	101714696
Average Density (per m ³)	137.49

DSM, Orthomosaic and Index Details



Processing Options



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (4.35 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Time for DSM Generation	01h:00m:29s
Time for Orthomosaic Generation	36m:34s
Time for DTM Generation	00s
Time for Contour Lines Generation	00s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s

Quality Report



Generated with Pix4Denterprise version 4.5.6



Important: Click on the different icons for:



Help to analyze the results in the Quality Report



Additional information about the sections



Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary



Project	amsl 100
Processed	2021-12-16 21:46:02
Camera Model Name(s)	L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	4.77 cm / 1.88 in
Area Covered	0.380 km ² / 37.9679 ha / 0.15 sq. mi. / 93.8694 acres

Quality Check



Images	median of 74422 keypoints per image	
Dataset	147 out of 147 images calibrated (100%), all images enabled	
Camera Optimization	2.89% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
Matching	median of 37262.3 matches per calibrated image	
Georeferencing	yes, 5 GCPs (5 3D), mean RMS error = 0.006 m	

Preview

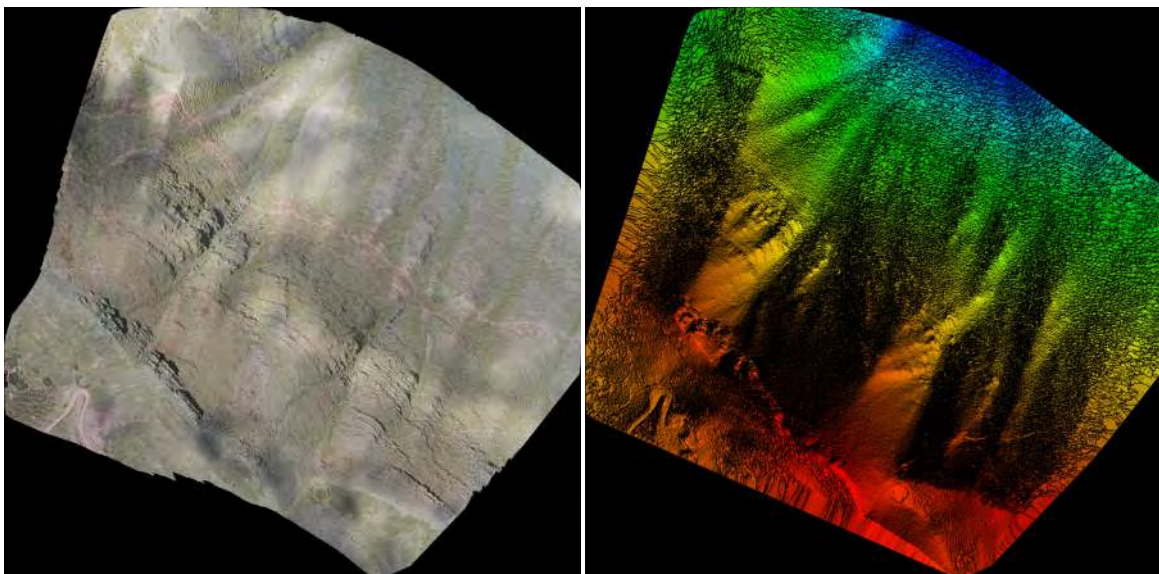


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details



Number of Calibrated Images	147 out of 147
Number of Geolocated Images	147 out of 147

Initial Image Positions

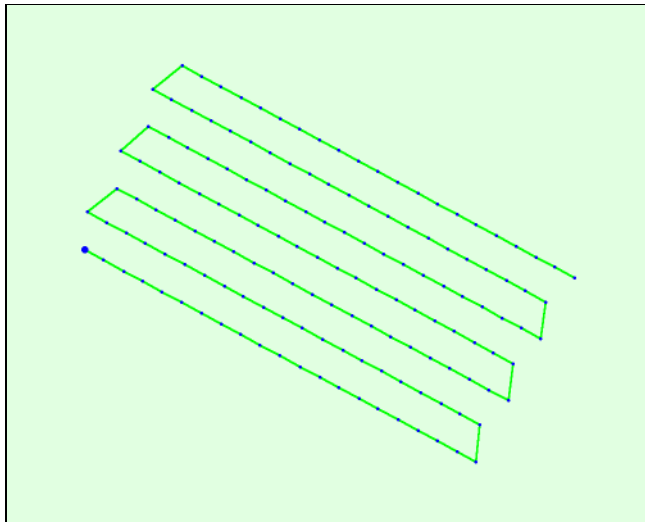


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions

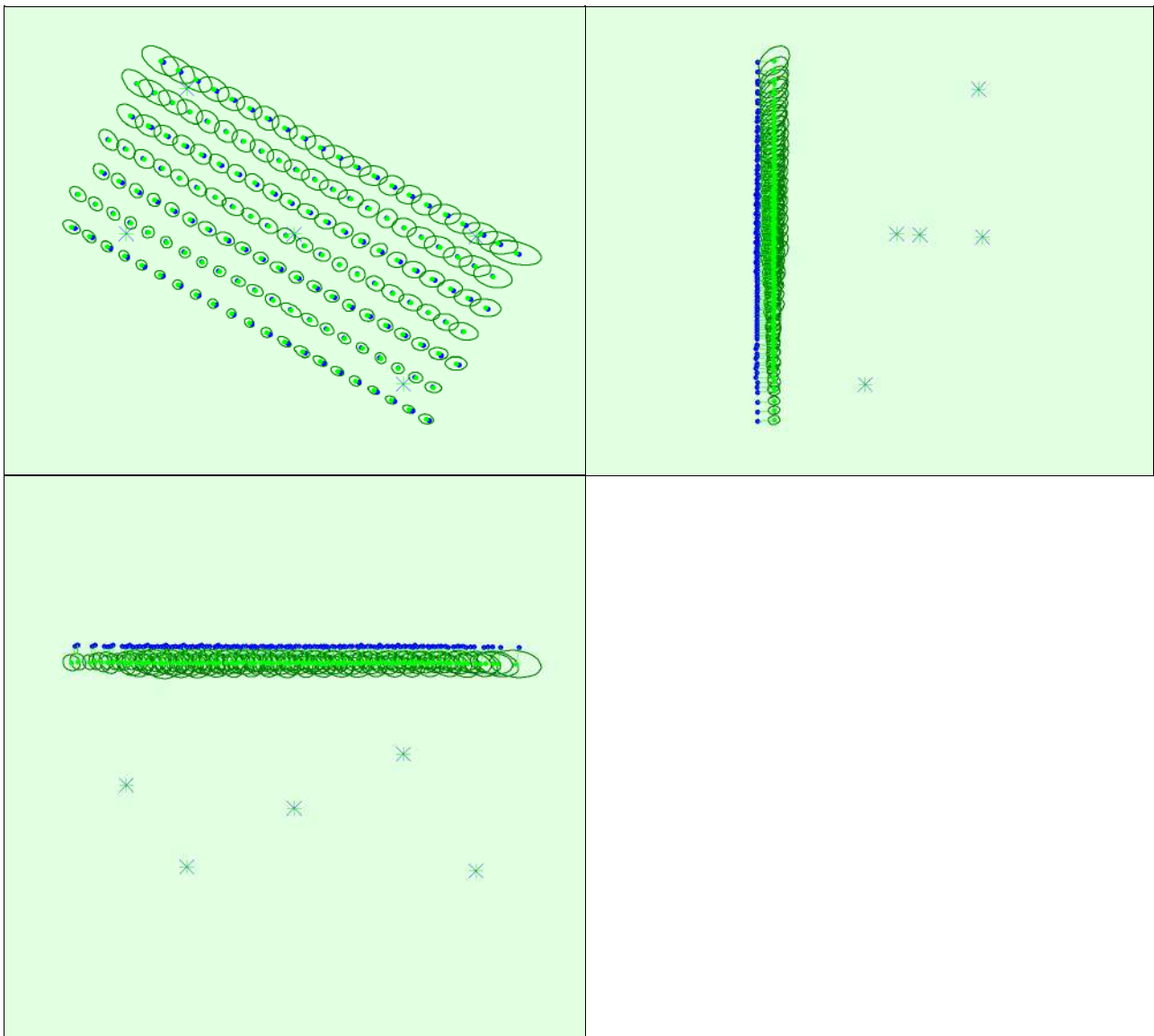


Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Absolute camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X[m]	Camera Displacement Y[m]	Camera Displacement Z[m]
Mean	0.013	0.010	0.012	0.003	0.004	0.003	0.003	0.004	0.008
Sigma	0.005	0.003	0.003	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003

Overlap

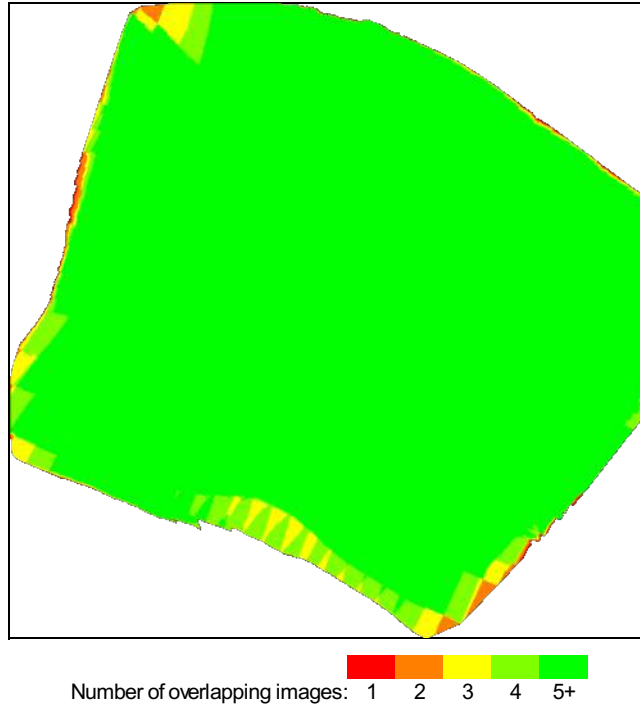


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details

Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	5374597
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	1420329
Mean Reprojection Error [pixels]	0.155

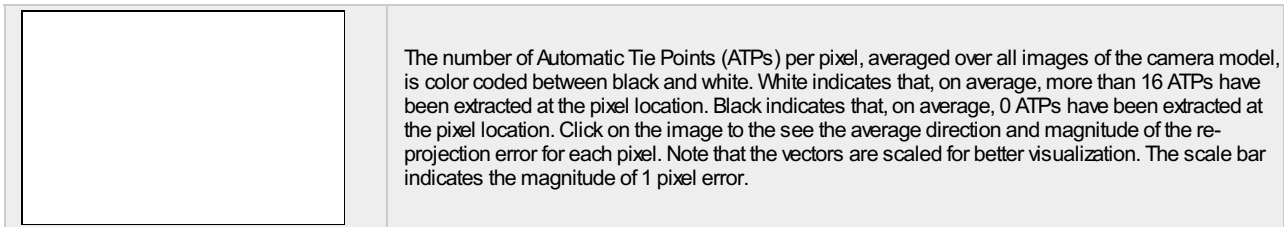
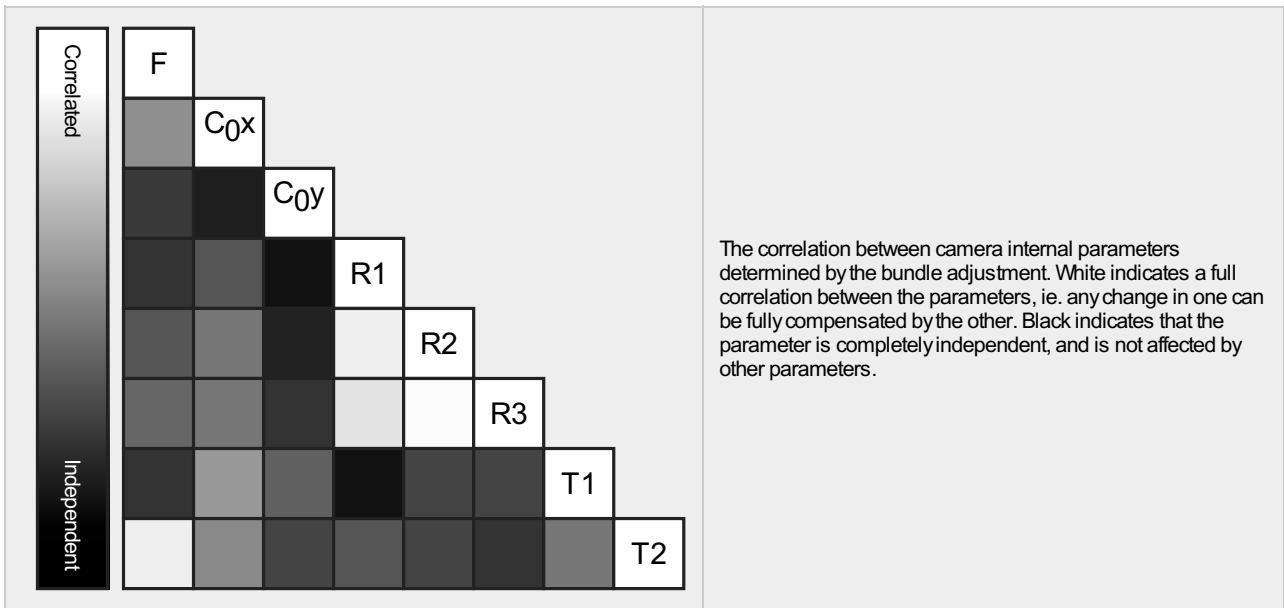
Internal Camera Parameters

L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.825 [mm] x 8.550 [mm]

EXIF ID: L1D-20c_10.3_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	4470.830 [pixel] 10.479 [mm]	2770.870 [pixel] 6.494 [mm]	1698.700 [pixel] 3.981 [mm]	0.009	0.040	-0.050	-0.003	0.002
Optimized Values	4341.355 [pixel] 10.175 [mm]	2738.764 [pixel] 6.419 [mm]	1785.628 [pixel] 4.185 [mm]	0.014	-0.001	0.002	-0.001	-0.000

Uncertainties (Sigma)	0.352 [pixel] 0.001 [mm]	0.048 [pixel] 0.000 [mm]	0.076 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
-----------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------	-------	-------	-------	-------



? 2D Keypoints Table



	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	74422	37262
Mn	52958	15691
Max	79811	50247
Mean	71096	36562

? 3D Points from 2D Keypoint Matches



	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	652065
In 3 Images	301005
In 4 Images	157234
In 5 Images	90674
In 6 Images	58218
In 7 Images	39134
In 8 Images	27894
In 9 Images	20275
In 10 Images	15186
In 11 Images	11417
In 12 Images	9191
In 13 Images	6969
In 14 Images	5661
In 15 Images	4521
In 16 Images	3609
In 17 Images	3009
In 18 Images	2505
In 19 Images	2014
In 20 Images	1659
In 21 Images	1398

In 22 Images	1145
In 23 Images	1075
In 24 Images	826
In 25 Images	667
In 26 Images	570
In 27 Images	441
In 28 Images	406
In 29 Images	339
In 30 Images	236
In 31 Images	186
In 32 Images	156
In 33 Images	114
In 34 Images	108
In 35 Images	87
In 36 Images	67
In 37 Images	43
In 38 Images	33
In 39 Images	35
In 40 Images	31
In 41 Images	29
In 42 Images	19
In 43 Images	11
In 44 Images	13
In 45 Images	18
In 46 Images	12
In 47 Images	7
In 48 Images	8
In 49 Images	5
In 50 Images	1
In 51 Images	1
In 52 Images	1
In 53 Images	1

 2D Keypoint Matches



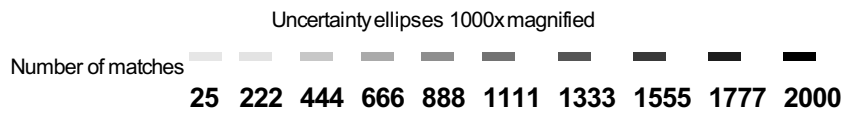
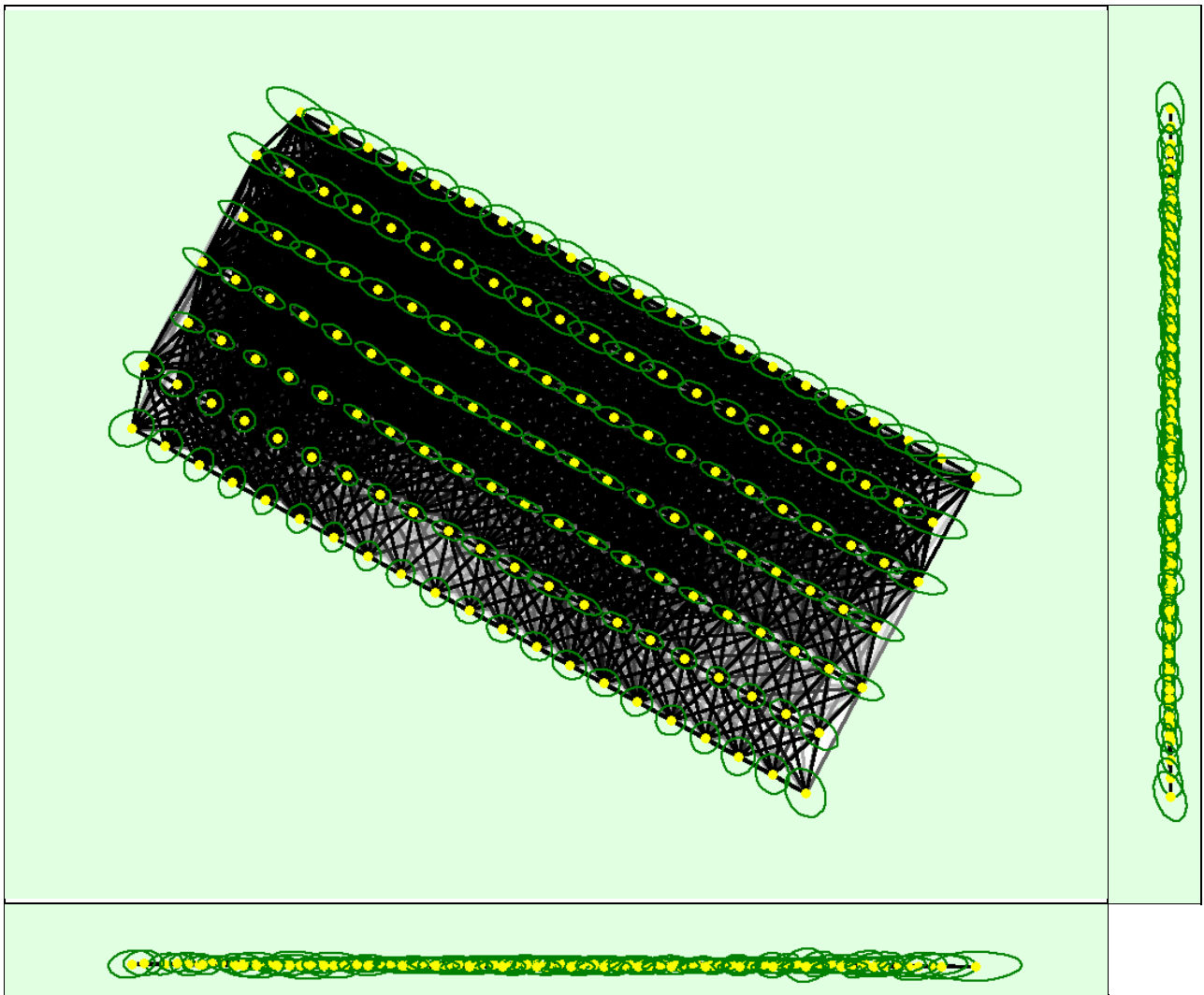


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X[m]	Camera Displacement Y[m]	Camera Displacement Z[m]
Mean	0.012	0.009	0.005	0.003	0.005	0.003	0.005	0.005	0.009
Sigma	0.004	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003

Geolocation Details

Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
1 (3D)	0.020/ 0.020	0.002	-0.002	-0.003	0.577	20 / 20
5 (3D)	0.020/ 0.020	0.002	0.000	-0.003	0.474	12 / 12
8 (3D)	0.020/ 0.020	-0.003	-0.000	0.011	0.566	30 / 30
11 (3D)	0.020/ 0.020	0.000	0.009	-0.022	0.663	31 / 31
15 (3D)	0.020/ 0.020	-0.003	-0.004	0.007	0.640	34 / 34

Mean [m]		-0.000449	0.000596	-0.002043		
Sigma [m]		0.002506	0.004455	0.011549		
RMS Error [m]		0.002546	0.004495	0.011729		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

Absolute Geolocation Variance

Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X[%]	Geolocation Error Y[%]	Geolocation Error Z[%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	7.48	0.00	0.00
-3.00	0.00	35.37	57.14	49.66
0.00	3.00	57.14	42.86	50.34
3.00	6.00	0.00	0.00	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		1.555317	-0.769256	20.500826
Sigma [m]		2.279576	1.174673	0.359006
RMS Error [m]		2.759616	1.404140	20.503969

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	1.555317	-0.769256	20.500826

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

Relative Geolocation Variance

Relative Geolocation Error	Images X[%]	Images Y[%]	Images Z[%]
[-1.00, 1.00]	100.00	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	2.047
Phi	0.513
Kappa	2.134

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Rolling Shutter Statistics

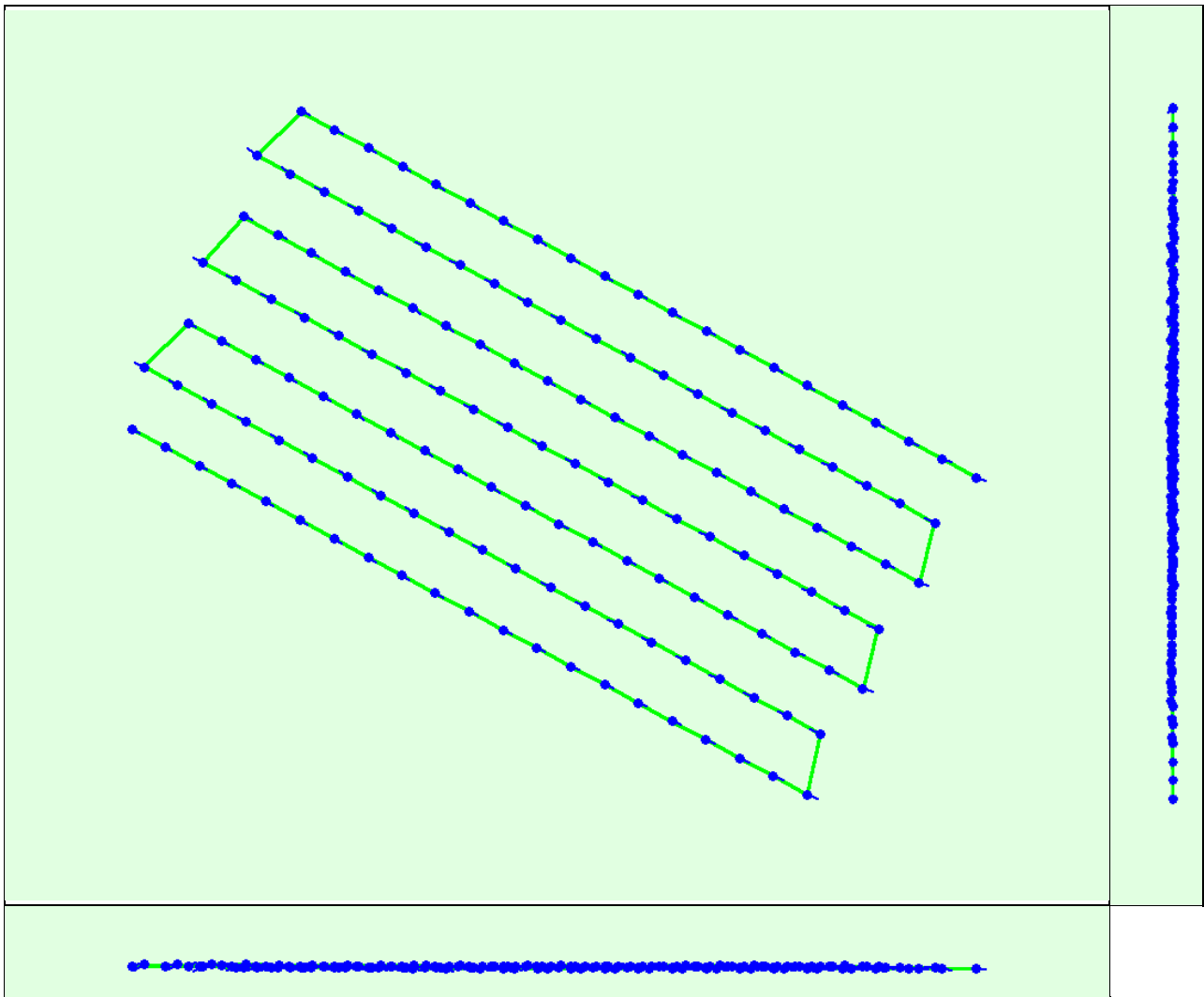


Figure 6: Camera movement estimated by the rolling shutter camera model. The green line follows the computed image positions. The blue dots represent the camera position at the start of the exposure. The blue lines represent the camera motion during the rolling shutter readout, re-scaled by a project dependant scaling factor for better visibility.

Median Camera Speed	12.1138 [m/s]
Median Camera Displacement During Sensor Readout)	0.5384 [m]
Median Rolling Shutter Readout Time	46.6385 [ms]

Initial Processing Details



System Information



Hardware	CPU: AMD Ryzen 9 5900X 12-Core Processor RAM: 32GB GPU: NVIDIA GeForce RTX 3080 (Driver: 27.21.14.5671)
Operating System	Windows 10 Pro, 64-bit

Coordinate Systems



Image Coordinate System	WGS 84 (EGM96 Geoid)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 19S (EGM96 Geoid)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 19S (EGM96 Geoid)

Processing Options



Detected Template	3D Maps
-------------------	---------

Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

Point Cloud Densification details



Processing Options



Image Scale	multiscale, 1 (Original image size, Slow)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	no
LOD	Generated: no
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	01h:20m:05s
Time for Point Cloud Classification	03m:01s
Time for 3D Textured Mesh Generation	NA

Results



Number of Generated Tiles	4
Number of 3D Densified Points	64035835
Average Density (per m ³)	68.39

DSM, Orthomosaic and Index Details



Processing Options



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (4.77 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Time for DSM Generation	32m:46s
Time for Orthomosaic Generation	15m:15s
Time for DTM Generation	00s
Time for Contour Lines Generation	00s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s

Quality Report



Generated with Pix4Denterprise version 4.5.6



Important: Click on the different icons for:



Help to analyze the results in the Quality Report



Additional information about the sections



Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary



Project	amsi 120
Processed	2021-12-16 22:24:45
Camera Model Name(s)	L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	5.39 cm / 2.12 in
Area Covered	0.451 km ² / 45.1488 ha / 0.17 sq. mi. / 111.6229 acres

Quality Check



Images	median of 73368 keypoints per image	
Dataset	125 out of 125 images calibrated (100%), all images enabled	
Camera Optimization	2.91% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
Matching	median of 36585.8 matches per calibrated image	
Georeferencing	yes, 5 GCPs (5 3D), mean RMS error = 0.008 m	

Preview

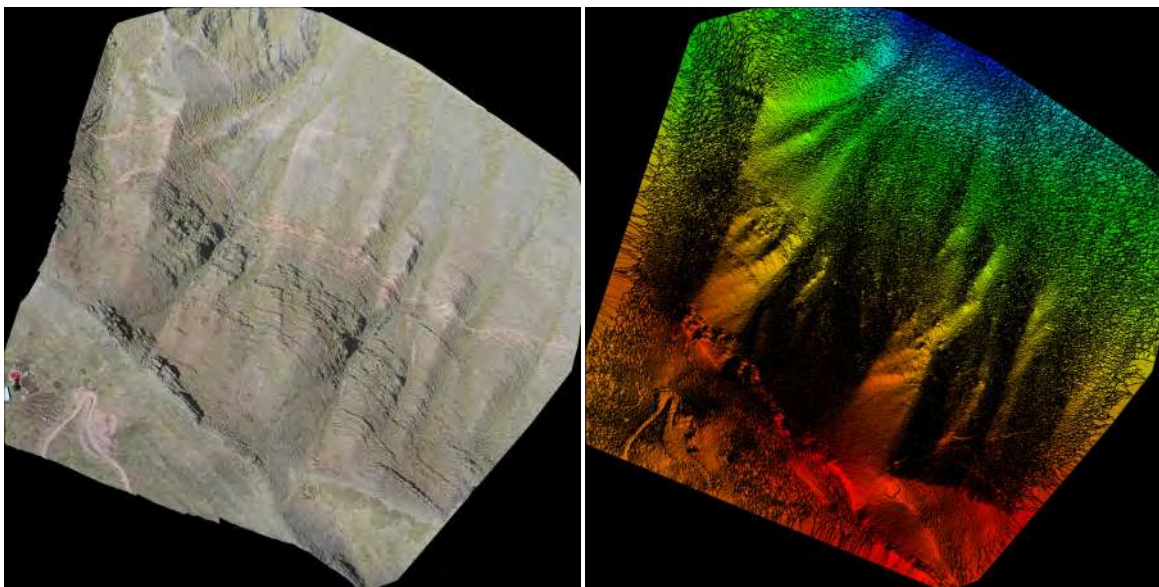


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details



Number of Calibrated Images	125 out of 125
Number of Geolocated Images	125 out of 125

Initial Image Positions

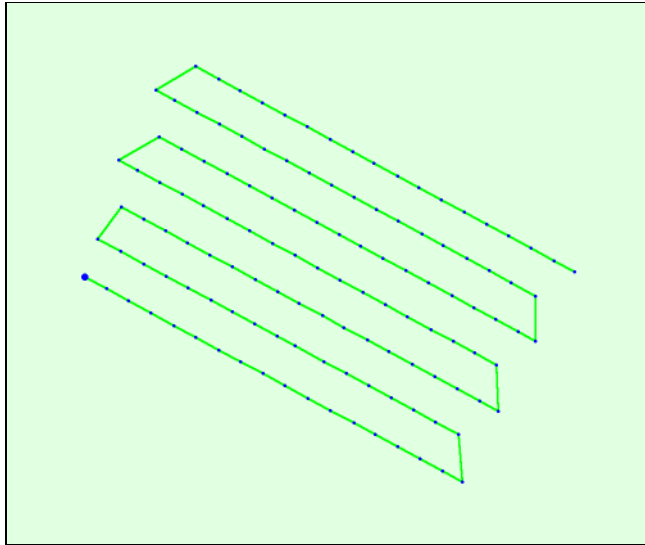
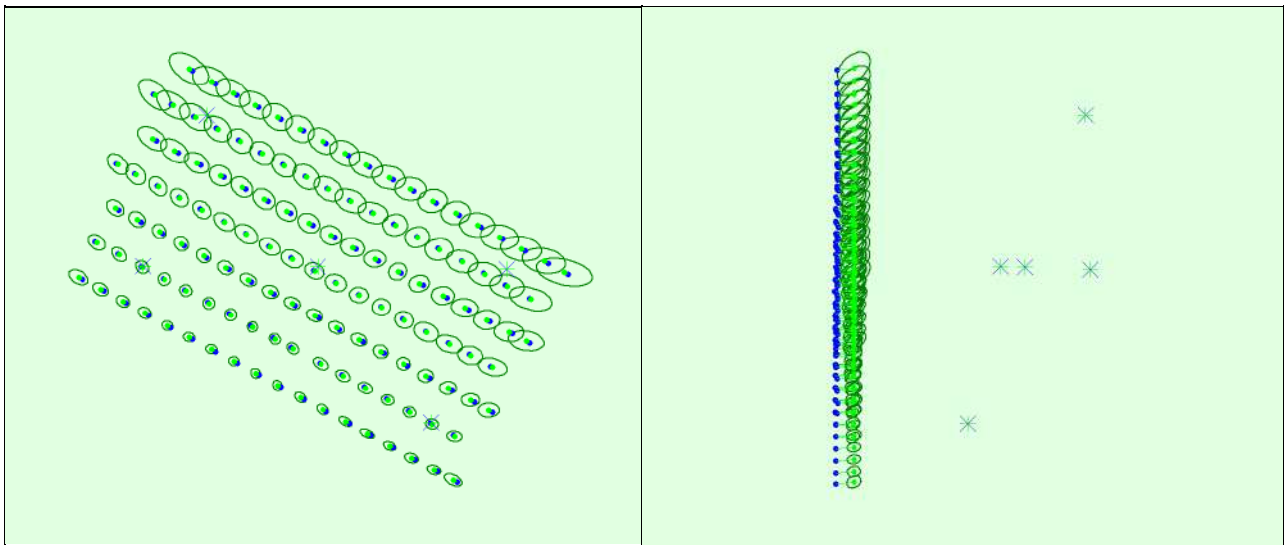
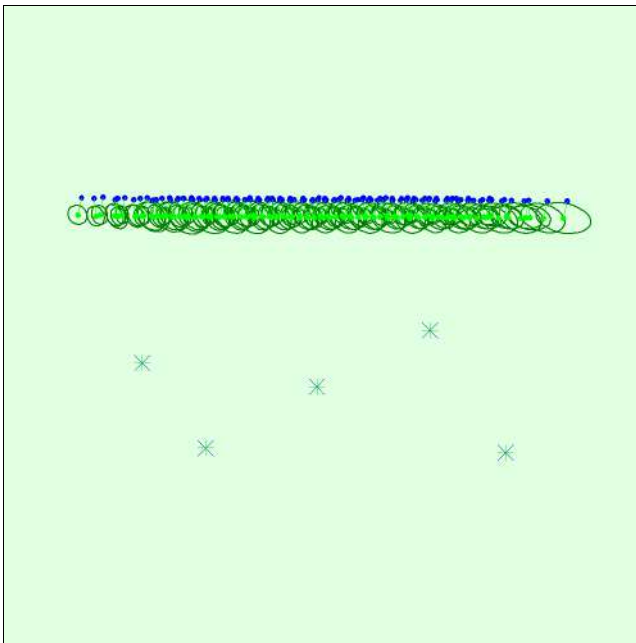


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions





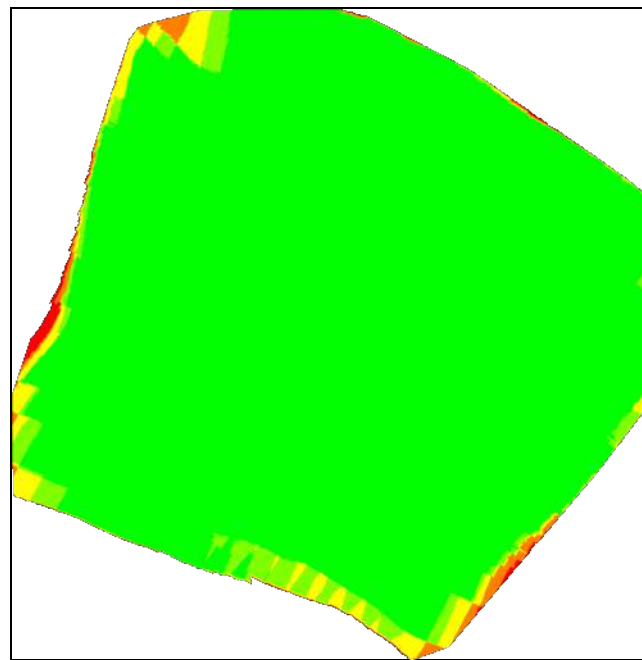
Uncertainty ellipses 1000x magnified

Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Absolute camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X[m]	Camera Displacement Y[m]	Camera Displacement Z[m]
Mean	0.013	0.011	0.013	0.003	0.003	0.002	0.003	0.004	0.008
Sigma	0.005	0.003	0.003	0.000	0.001	0.001	0.001	0.002	0.003

Overlap



Number of overlapping images: 1 2 3 4 5+

Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details



Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	4456778
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	1152956
Mean Reprojection Error [pixels]	0.157

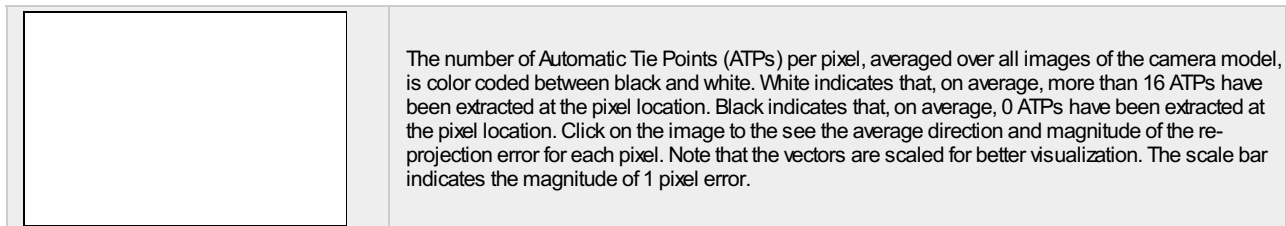
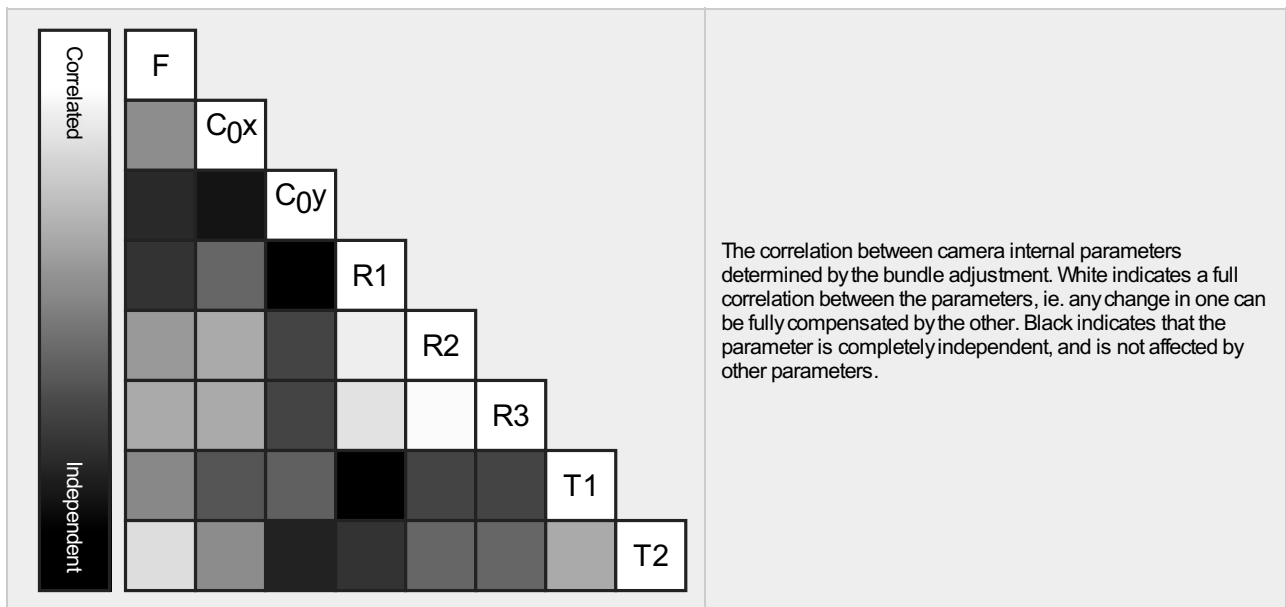
Internal Camera Parameters

L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.825 [mm] x 8.550 [mm]



EXIF ID: L1D-20c_10.3_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	4470.830 [pixel] 10.479 [mm]	2770.870 [pixel] 6.494 [mm]	1698.700 [pixel] 3.981 [mm]	0.009	0.040	-0.050	-0.003	0.002
Optimized Values	4340.604 [pixel] 10.173 [mm]	2738.905 [pixel] 6.419 [mm]	1785.641 [pixel] 4.185 [mm]	0.014	-0.002	0.004	-0.001	-0.000
Uncertainties (Sigma)	0.344 [pixel] 0.001 [mm]	0.047 [pixel] 0.000 [mm]	0.076 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



2D Keypoints Table



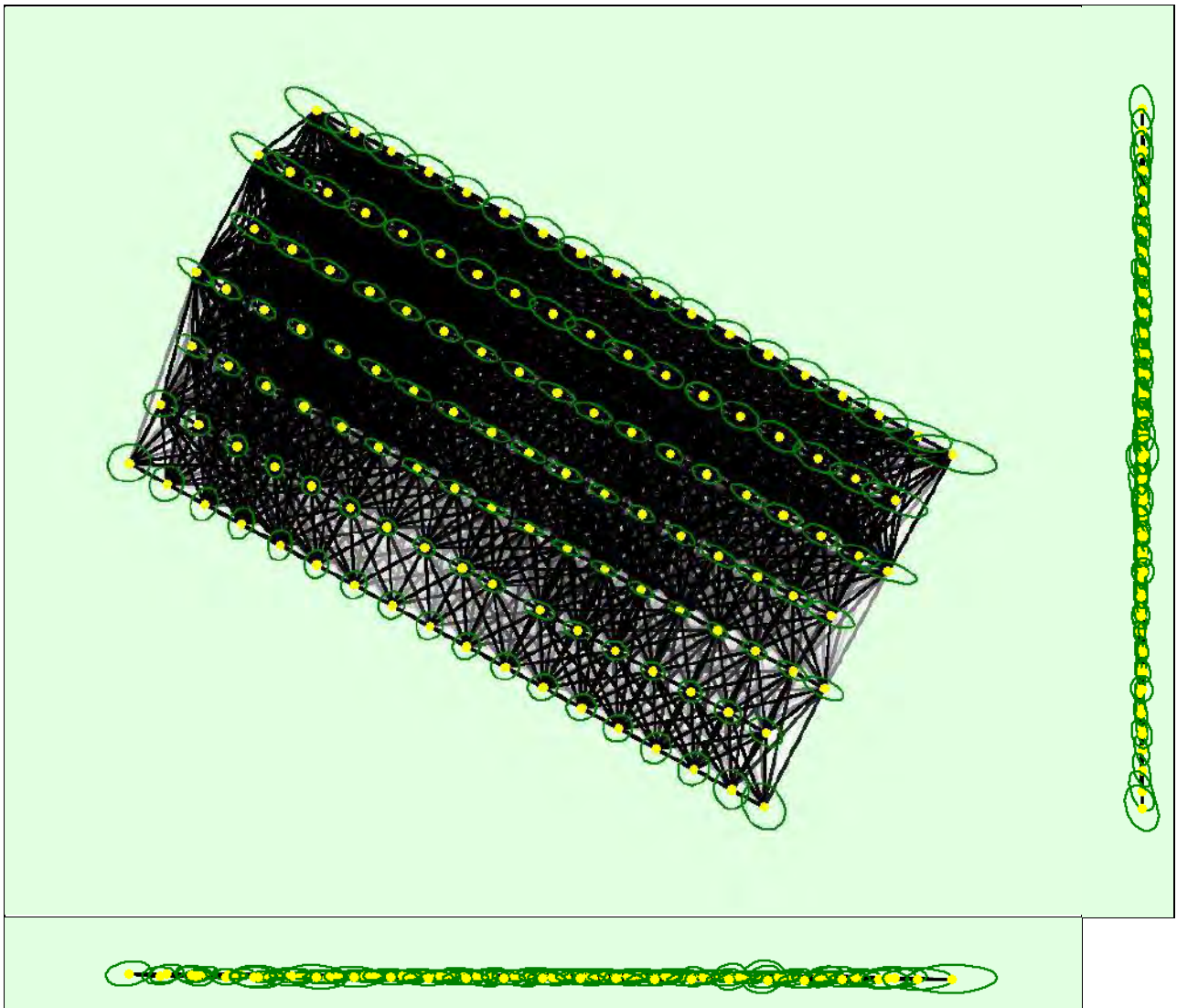
	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	73368	36586
Mn	52403	16497
Max	79850	49443
Mean	70445	35654

3D Points from 2D Keypoint Matches



	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	517425

In 3 Images	240402
In 4 Images	126466
In 5 Images	75079
In 6 Images	49681
In 7 Images	34869
In 8 Images	25061
In 9 Images	18220
In 10 Images	13626
In 11 Images	10722
In 12 Images	8617
In 13 Images	6598
In 14 Images	5254
In 15 Images	4186
In 16 Images	3281
In 17 Images	2681
In 18 Images	2218
In 19 Images	1736
In 20 Images	1393
In 21 Images	1133
In 22 Images	895
In 23 Images	710
In 24 Images	570
In 25 Images	450
In 26 Images	352
In 27 Images	267
In 28 Images	253
In 29 Images	197
In 30 Images	154
In 31 Images	94
In 32 Images	94
In 33 Images	57
In 34 Images	51
In 35 Images	37
In 36 Images	32
In 37 Images	25
In 38 Images	16
In 39 Images	17
In 40 Images	9
In 41 Images	5
In 42 Images	10
In 43 Images	8
In 45 Images	3
In 47 Images	2



Uncertainty ellipses 1000x magnified

Number of matches

25 222 444 666 888 1111 1333 1555 1777 2000

Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X[m]	Camera Displacement Y[m]	Camera Displacement Z[m]
Mean	0.013	0.009	0.005	0.003	0.004	0.003	0.005	0.005	0.009
Sigma	0.004	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003

Geolocation Details

Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X[m]	Error Y[m]	Error Z[m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
CUS12124 (3D)	0.020/0.020	0.004	-0.002	-0.008	0.475	20 / 20
5 (3D)	0.020/0.020	0.001	-0.001	-0.006	0.444	12 / 12
8 (3D)	0.020/0.020	-0.003	0.001	0.023	0.470	27 / 27

11 (3D)	0.020/0.020	-0.003	0.009	-0.038	0.442	24 / 24
15 (3D)	0.020/0.020	-0.002	-0.003	0.002	0.385	30 / 30
Mean [m]		-0.000654	0.000796	-0.005593		
Sigma [m]		0.002840	0.004406	0.019557		
RMS Error [m]		0.002914	0.004478	0.020341		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

Absolute Geolocation Variance

Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	32.00	0.00	0.00
-3.00	0.00	10.40	57.60	53.60
0.00	3.00	55.20	42.40	46.40
3.00	6.00	2.40	0.00	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		1.596253	-0.737474	20.457163
Sigma [m]		2.823557	1.532553	0.398437
RMS Error [m]		3.243532	1.700761	20.461043

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	1.596253	-0.737474	20.457163

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

Relative Geolocation Variance

Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	100.00	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	1.994
Phi	0.359
Kappa	3.329

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Rolling Shutter Statistics

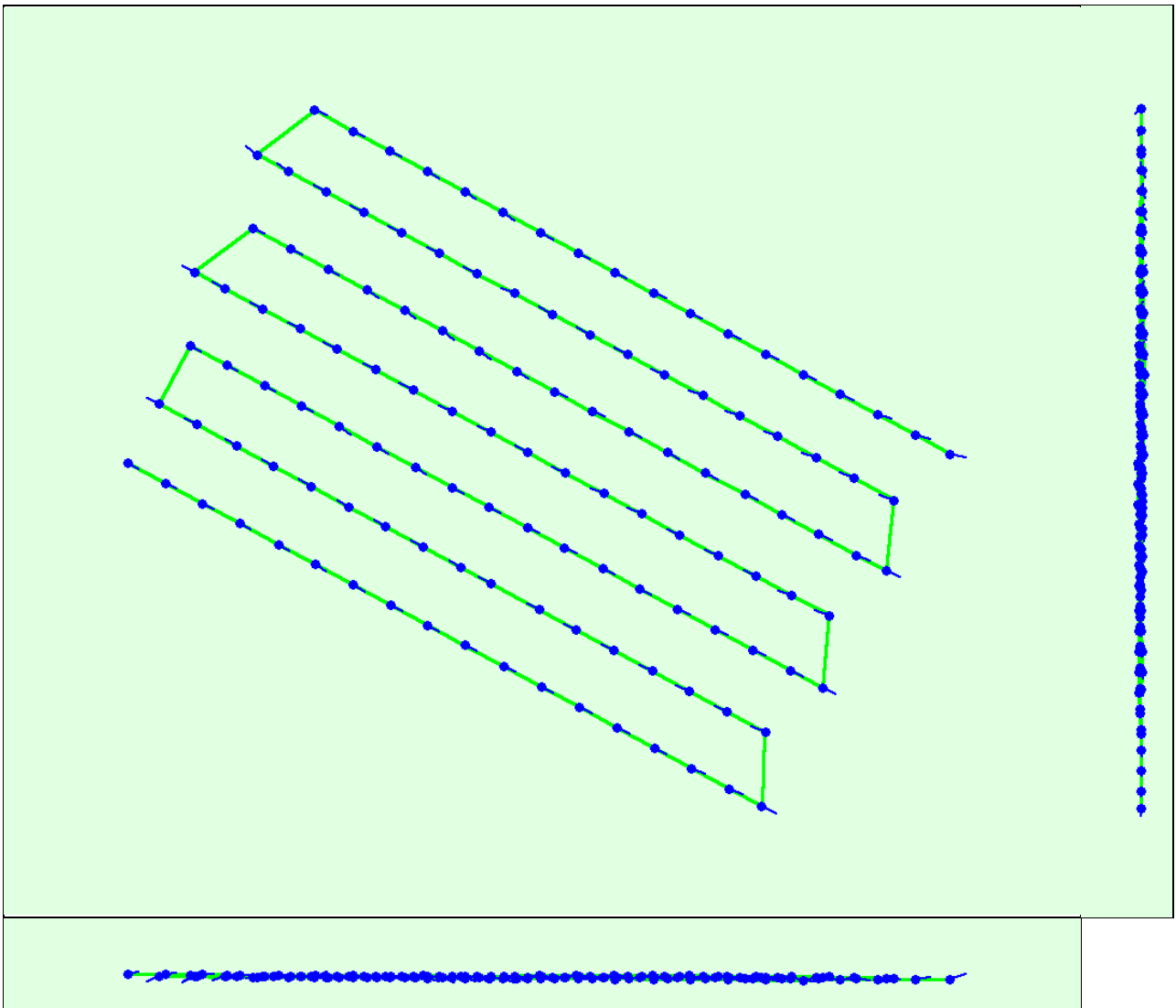


Figure 6: Camera movement estimated by the rolling shutter camera model. The green line follows the computed image positions. The blue dots represent the camera position at the start of the exposure. The blue lines represent the camera motion during the rolling shutter readout, re-scaled by a project dependant scaling factor for better visibility.

Median Camera Speed	14.4951 [m/s]
Median Camera Displacement During Sensor Readout)	0.6582 [m]
Median Rolling Shutter Readout Time	48.416 [ms]

Initial Processing Details



System Information



Hardware	CPU: AMD Ryzen 9 3900X 12-Core Processor RAM: 32GB GPU: NMDIA GeForce RTX 3080 (Driver: 27.21.14.5751)
Operating System	Windows 10 Home, 64-bit

Coordinate Systems



Image Coordinate System	WGS 84 (EGM96 Geoid)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 19S (EGM96 Geoid)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 19S (EGM96 Geoid)

Processing Options



Detected Template	3D Maps
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

Point Cloud Densification details



Processing Options



Image Scale	multiscale, 1 (Original image size, Slow)
Point Density	High (Slow)
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	no
LOD	Generated: no
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	03h:21m:17s
Time for Point Cloud Classification	06m:53s
Time for 3D Textured Mesh Generation	NA

Results



Number of Processed Clusters	2
Number of Generated Tiles	11
Number of 3D Densified Points	211352953
Average Density (per m ³)	305.08

DSM, Orthomosaic and Index Details



Processing Options



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (5.39 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Time for DSM Generation	58m:56s
Time for Orthomosaic Generation	15m:40s
Time for DTM Generation	00s
Time for Contour Lines Generation	00s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s

Quality Report



Generated with Pix4Denterprise version 4.5.6



Important: Click on the different icons for:



Help to analyze the results in the Quality Report



Additional information about the sections



Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary



Project	amsl 140
Processed	2021-12-17 15:35:45
Camera Model Name(s)	L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	5.97 cm / 2.35 in
Area Covered	0.423 km ² / 42.3131 ha / 0.16 sq. mi. / 104.6121 acres

Quality Check



Images	median of 72753 keypoints per image	
Dataset	74 out of 74 images calibrated (100%), all images enabled	
Camera Optimization	3.08% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
Matching	median of 34575.6 matches per calibrated image	
Georeferencing	yes, 5 GCPs (5 3D), mean RMS error = 0.007 m	

Preview

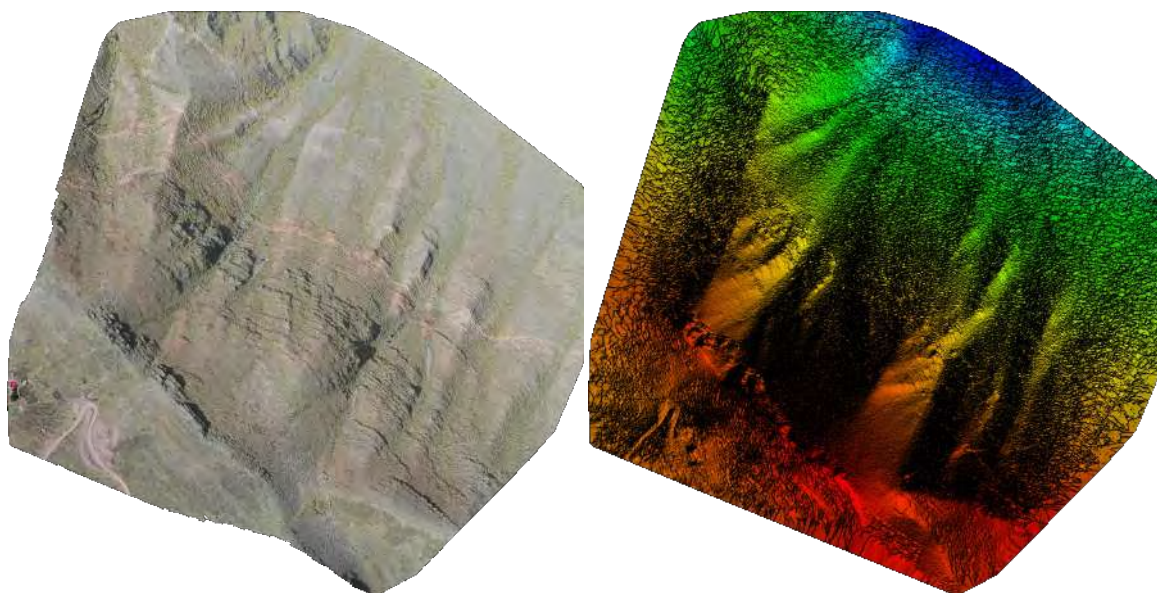


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details



Number of Calibrated Images	74 out of 74
Number of Geolocated Images	74 out of 74

Initial Image Positions

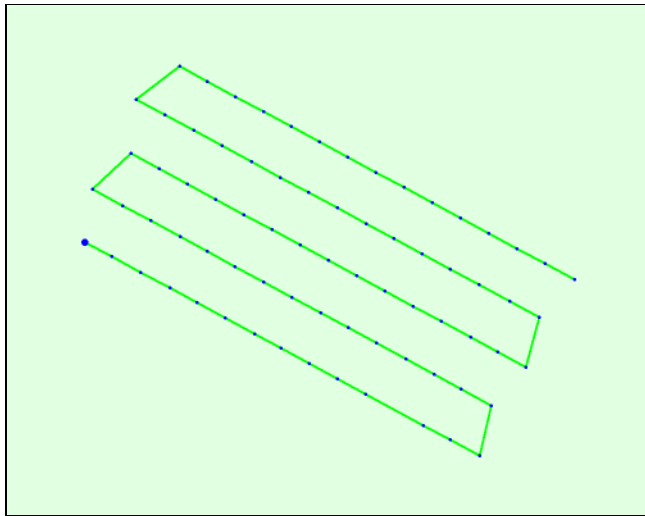


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions

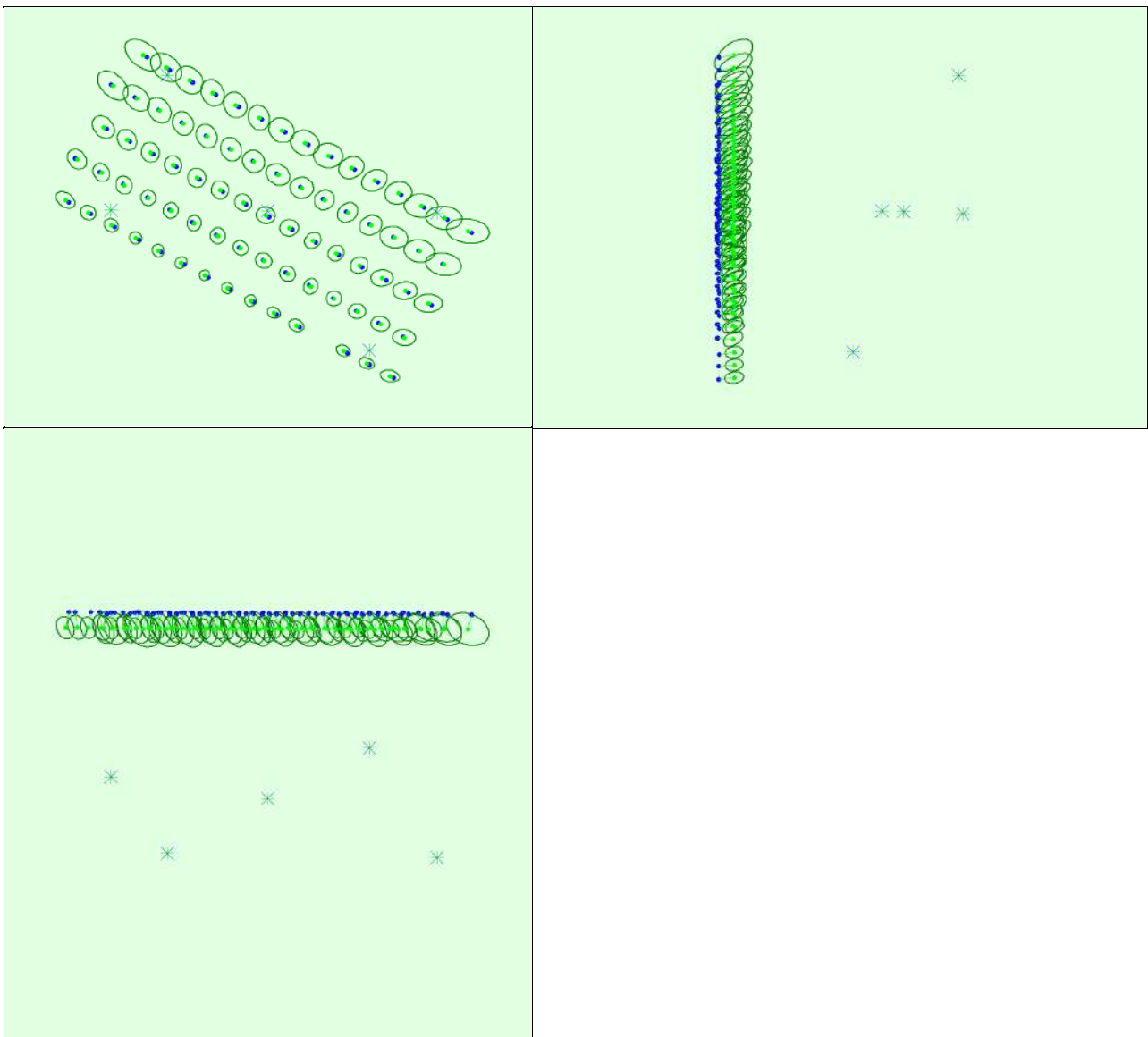


Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Absolute camera position and orientation uncertainties

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X [m]	Camera Displacement Y [m]	Camera Displacement Z [m]
Mean	0.014	0.013	0.018	0.003	0.003	0.002	0.004	0.004	0.009
Sigma	0.004	0.003	0.004	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002

Overlap

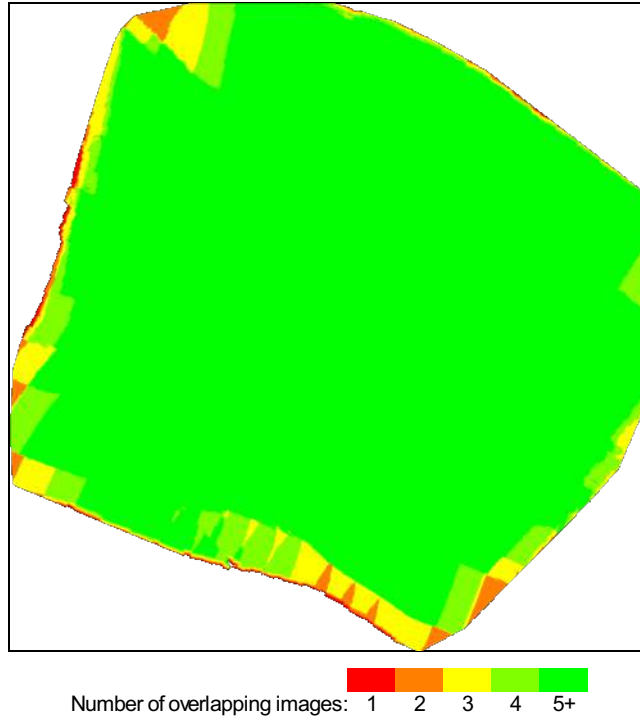


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details

Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	2358228
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	628078
Mean Reprojection Error [pixels]	0.158

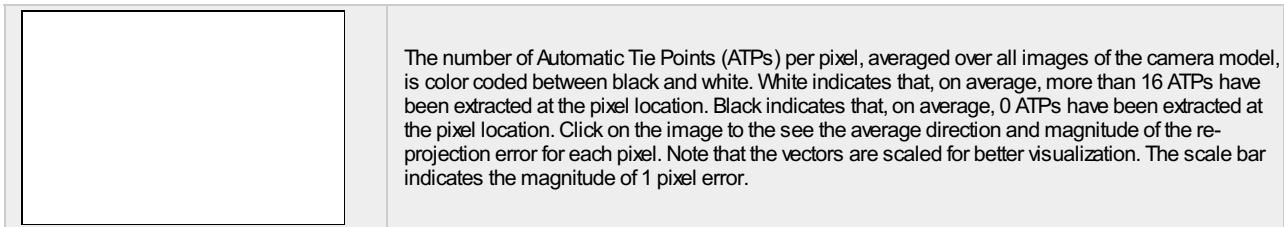
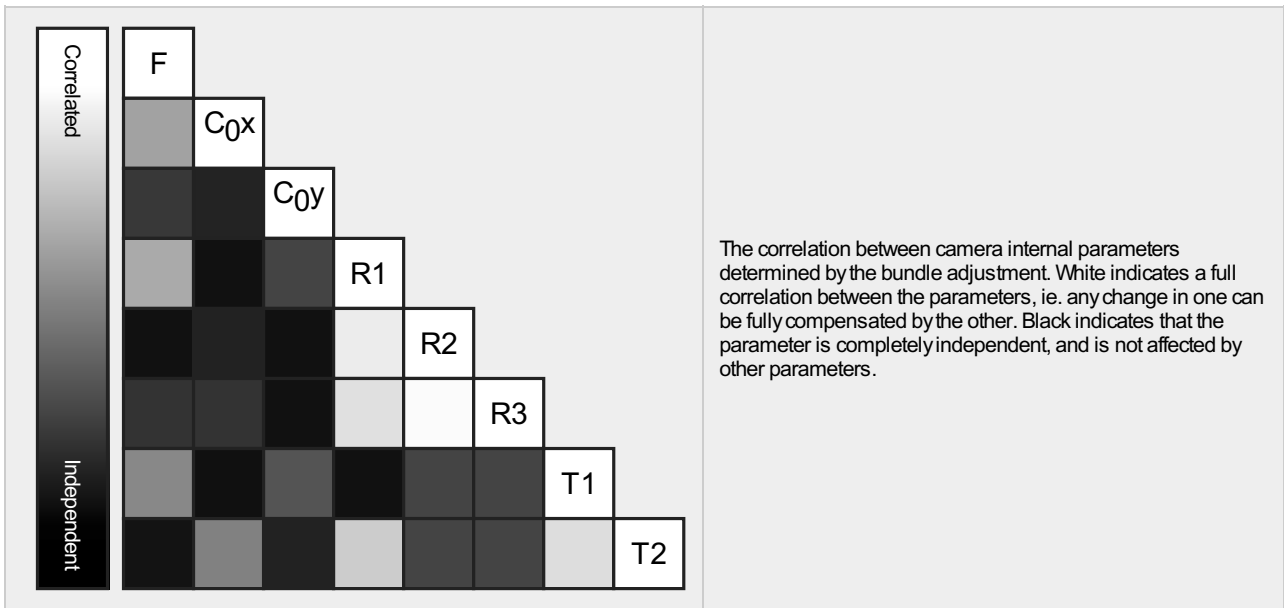
Internal Camera Parameters

L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.825 [mm] x 8.550 [mm]

EXIF ID: L1D-20c_10.3_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	4470.830 [pixel] 10.479 [mm]	2770.870 [pixel] 6.494 [mm]	1698.700 [pixel] 3.981 [mm]	0.009	0.040	-0.050	-0.003	0.002
Optimized Values	4333.037 [pixel] 10.156 [mm]	2738.461 [pixel] 6.418 [mm]	1785.357 [pixel] 4.184 [mm]	0.011	-0.003	0.004	-0.001	-0.000

Uncertainties (Sigma)	0.425 [pixel] 0.001 [mm]	0.057 [pixel] 0.000 [mm]	0.084 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
-----------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------	-------	-------	-------	-------



? 2D Keypoints Table



	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	72753	34576
Mn	55924	13376
Max	79934	45940
Mean	71530	31868

? 3D Points from 2D Keypoint Matches



	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	281150
In 3 Images	131329
In 4 Images	70868
In 5 Images	43053
In 6 Images	28324
In 7 Images	19296
In 8 Images	13445
In 9 Images	9624
In 10 Images	7554
In 11 Images	5514
In 12 Images	4251
In 13 Images	3275
In 14 Images	2526
In 15 Images	2010
In 16 Images	1519
In 17 Images	1234
In 18 Images	844
In 19 Images	637
In 20 Images	474
In 21 Images	312

In 22 Images	248
In 23 Images	204
In 24 Images	145
In 25 Images	71
In 26 Images	59
In 27 Images	43
In 28 Images	27
In 29 Images	23
In 30 Images	10
In 31 Images	5
In 32 Images	2
In 33 Images	1
In 35 Images	1

2D Keypoint Matches

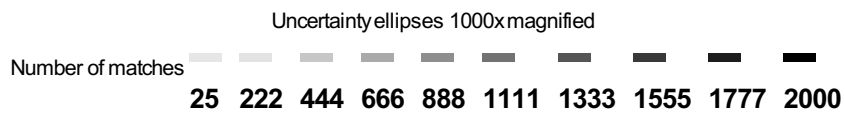
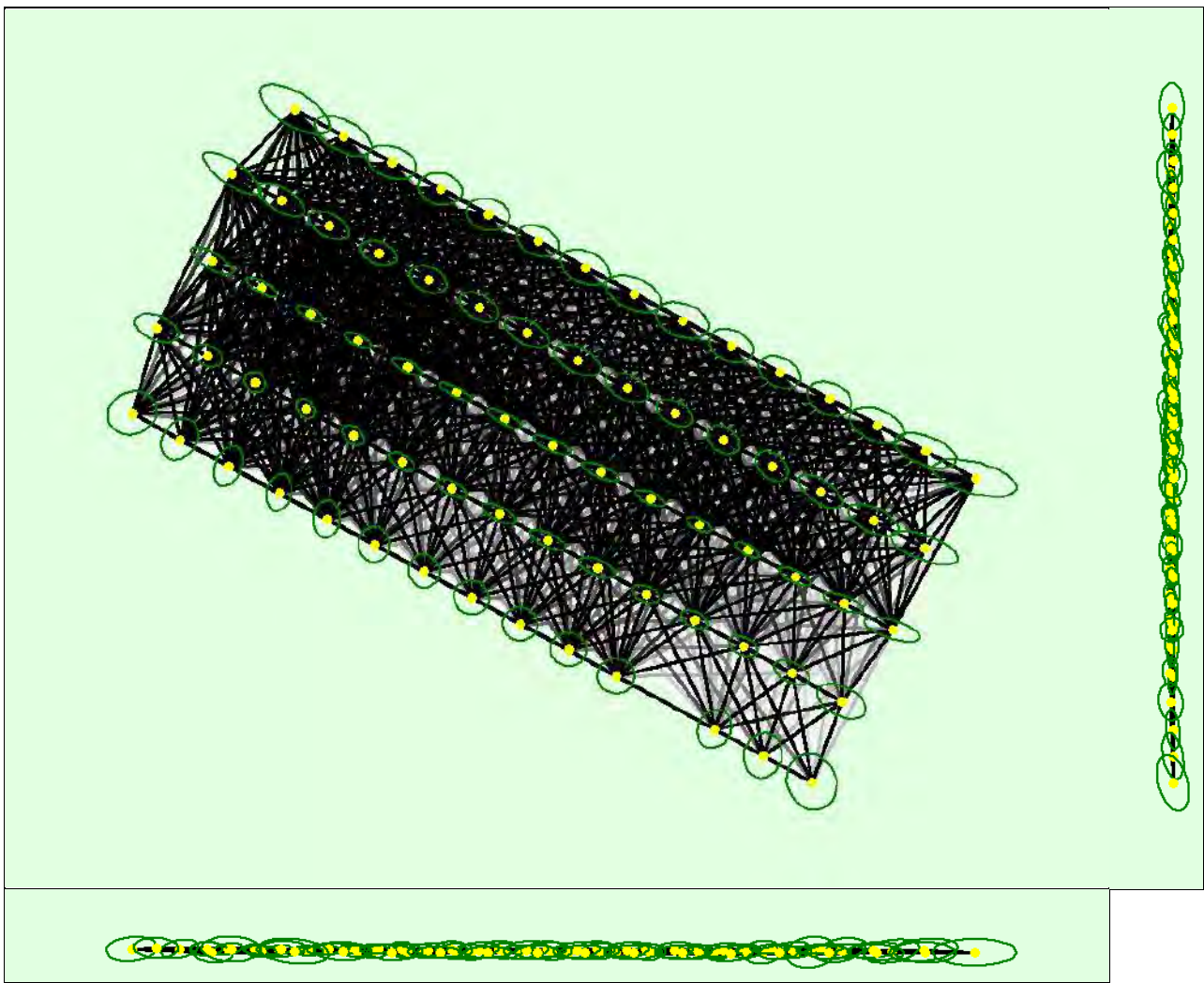


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X[m]	Camera Displacement Y[m]	Camera Displacement Z[m]
Mean	0.013	0.009	0.005	0.004	0.005	0.003	0.007	0.007	0.010

Sigma	0.004	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Geolocation Details



Ground Control Points



GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
1 (3D)	0.020/0.020	0.002	-0.003	-0.012	0.558	15 / 15
5 (3D)	0.020/0.020	-0.000	-0.002	-0.015	0.438	7 / 7
8 (3D)	0.020/0.020	-0.002	0.001	0.018	0.594	26 / 26
11 (3D)	0.020/0.020	-0.003	0.010	-0.032	0.539	20 / 20
15 (3D)	0.020/0.020	-0.001	-0.004	0.002	0.284	20 / 20
Mean [m]		-0.000929	0.000517	-0.007807		
Sigma [m]		0.001539	0.005279	0.016751		
RMS Error [m]		0.001798	0.005305	0.018481		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

Absolute Geolocation Variance



Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	37.84	0.00	0.00
-3.00	0.00	2.70	59.46	52.70
0.00	3.00	47.30	40.54	47.30
3.00	6.00	12.16	0.00	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		1.494245	-0.780081	20.212476
Sigma [m]		2.976830	1.605822	0.446694
RMS Error [m]		3.330808	1.785270	20.217412

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	1.494245	-0.780081	20.212476

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

Relative Geolocation Variance



Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	100.00	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00

Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	2.052
Phi	0.260
Kappa	4.249

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Rolling Shutter Statistics i

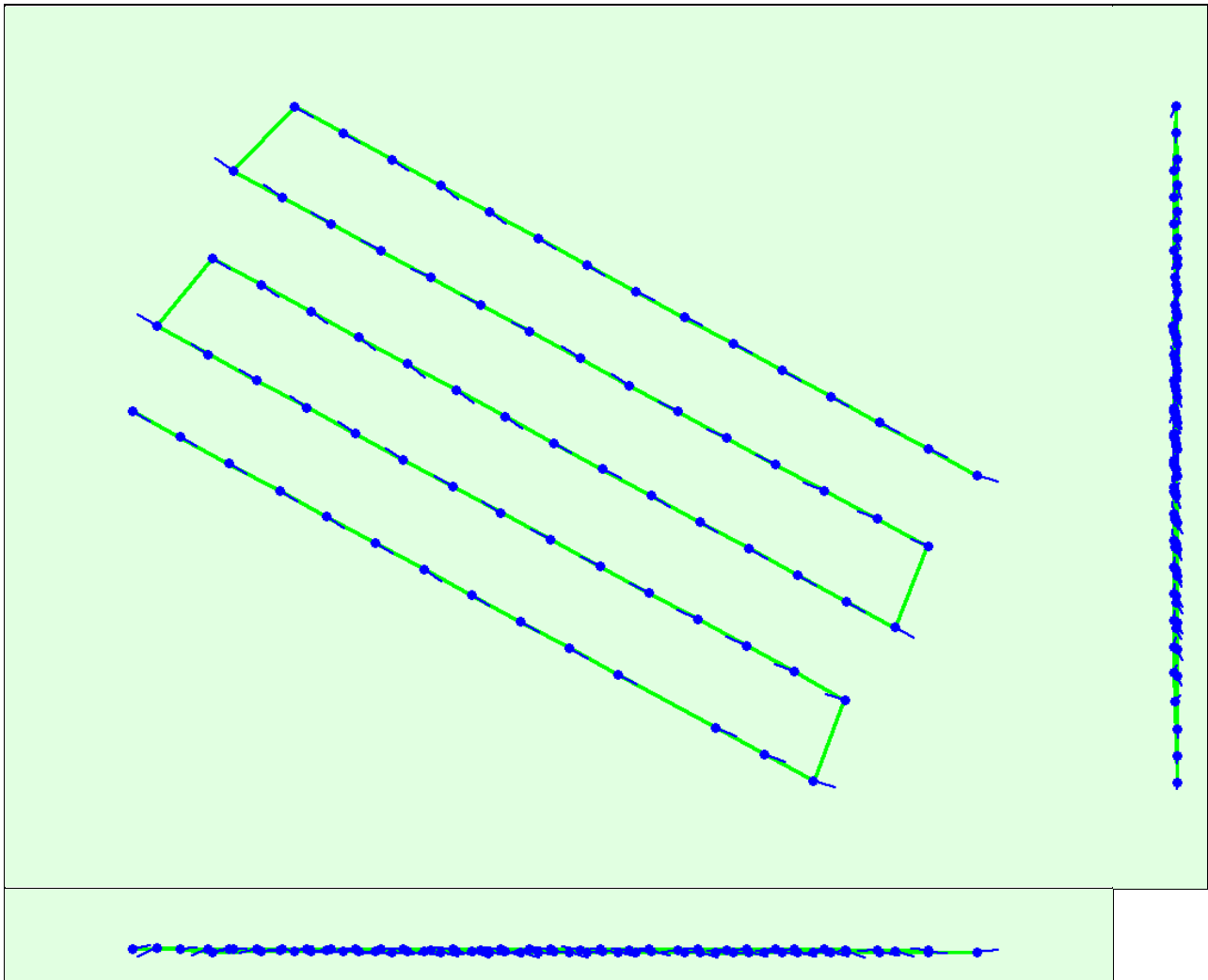


Figure 6: Camera movement estimated by the rolling shutter camera model. The green line follows the computed image positions. The blue dots represent the camera position at the start of the exposure. The blue lines represent the camera motion during the rolling shutter readout, re-scaled by a project dependant scaling factor for better visibility.

Median Camera Speed	16.8507 [m/s]
Median Camera Displacement During Sensor Readout)	0.7703 [m]
Median Rolling Shutter Readout Time	47.0335 [ms]

Initial Processing Details i

System Information i

Hardware	CPU: AMD Ryzen 9 5900X 12-Core Processor RAM: 32GB GPU: NVIDIA GeForce RTX 3080 (Driver: 27.21.14.5671)
Operating System	Windows 10 Pro, 64-bit

Coordinate Systems



Image Coordinate System	WGS 84 (EGM96 Geoid)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 19S (EGM96 Geoid)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 19S (EGM96 Geoid)

Processing Options



Detected Template	3D Maps
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

Point Cloud Densification details



Processing Options



Image Scale	multiscale, 1 (Original image size, Slow)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	no
LOD	Generated: no
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	33m:25s
Time for Point Cloud Classification	02m:08s
Time for 3D Textured Mesh Generation	NA

Results



Number of Generated Tiles	4
Number of 3D Densified Points	37118858
Average Density (per m ³)	31.01

DSM, Orthomosaic and Index Details



Processing Options



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (5.97 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes

Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Time for DSM Generation	14m:56s
Time for Orthomosaic Generation	07m:43s
Time for DTM Generation	00s
Time for Contour Lines Generation	00s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s

Quality Report



Generated with Pix4Denterprise version 4.5.6



Important: Click on the different icons for:



Help to analyze the results in the Quality Report



Additional information about the sections



Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary



Project	amsi 160
Processed	2021-12-17 14:30:37
Camera Model Name(s)	L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	6.40 cm / 2.52 in
Area Covered	0.430 km ² / 43.0205 ha / 0.17 sq. mi. / 106.3610 acres

Quality Check



Images	median of 73156 keypoints per image	
Dataset	80 out of 80 images calibrated (100%), all images enabled	
Camera Optimization	2.13% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
Matching	median of 34168.2 matches per calibrated image	
Georeferencing	yes, 5 GCPs (5 3D), mean RMS error = 0.009 m	

Preview

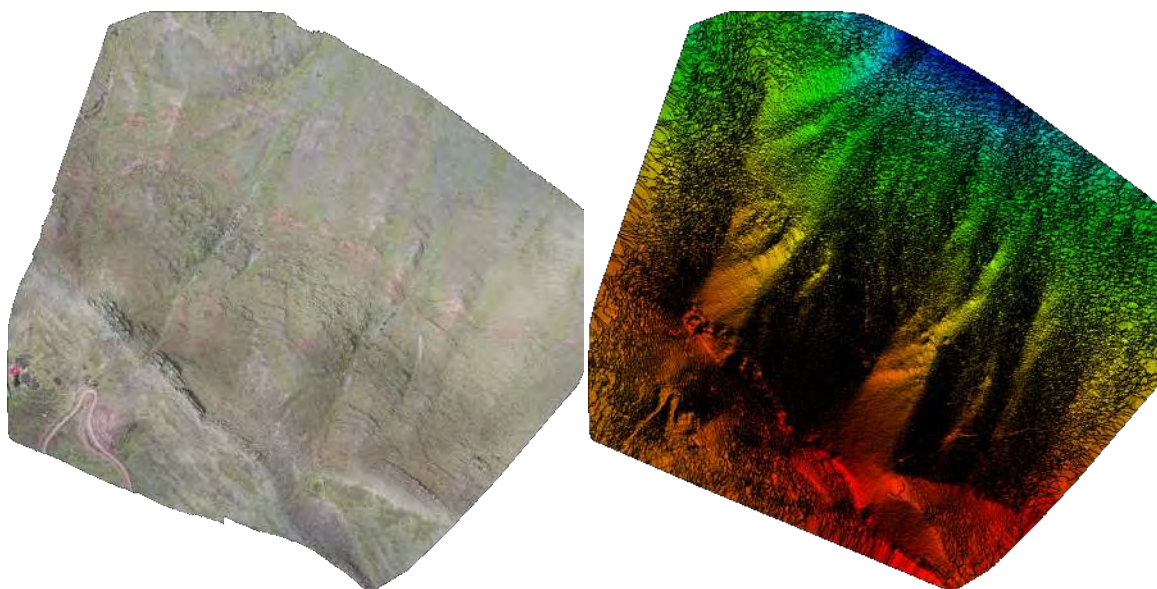


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details



Number of Calibrated Images	80 out of 80
Number of Geolocated Images	80 out of 80

Initial Image Positions

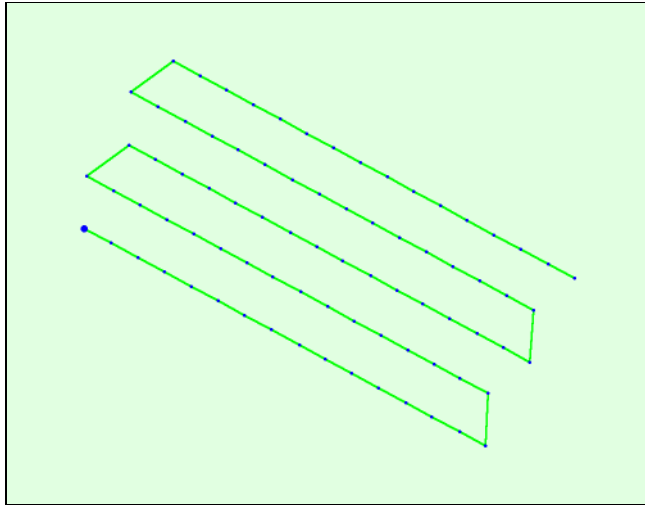
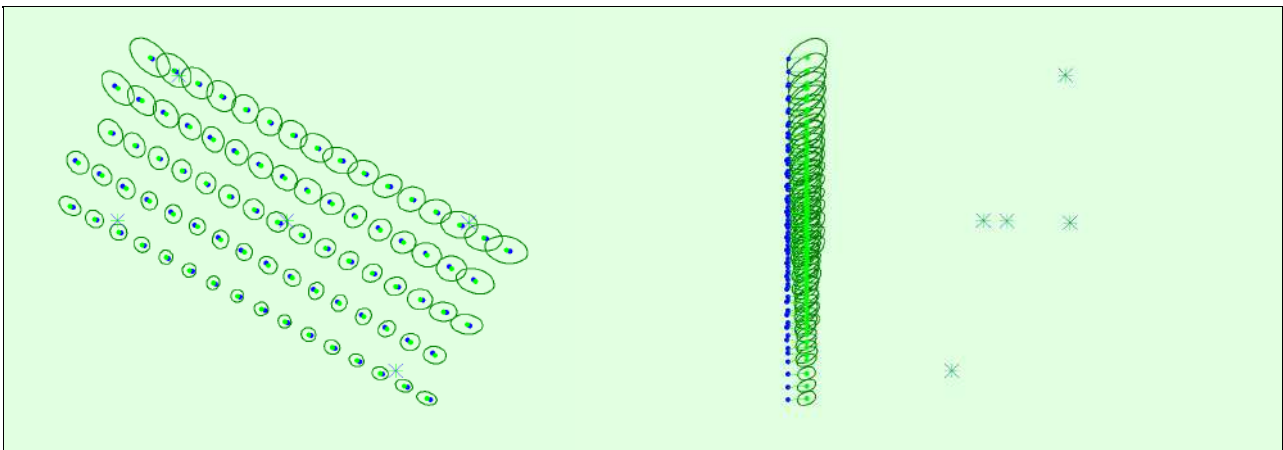


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



Uncertainty ellipses 1000x magnified

Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Absolute camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X[m]	Camera Displacement Y[m]	Camera Displacement Z[m]
Mean	0.014	0.013	0.018	0.003	0.003	0.002	0.004	0.005	0.009
Sigma	0.004	0.003	0.003	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.002

Overlap

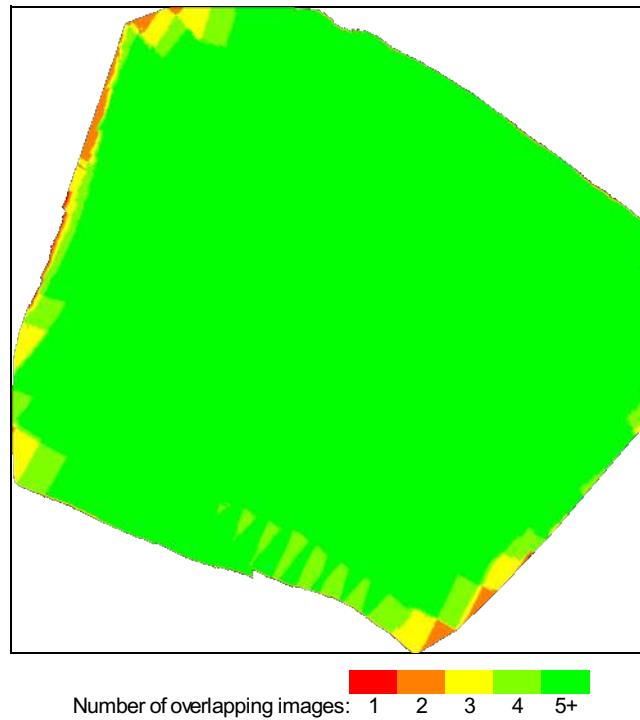


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details

Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	2718492
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	742051
Mean Reprojection Error [pixels]	0.158

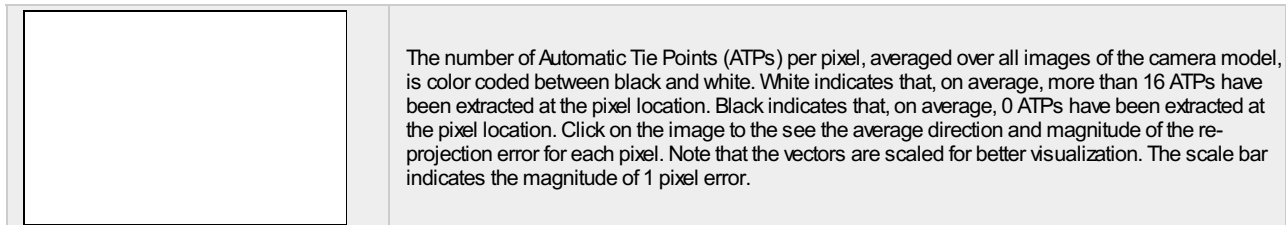
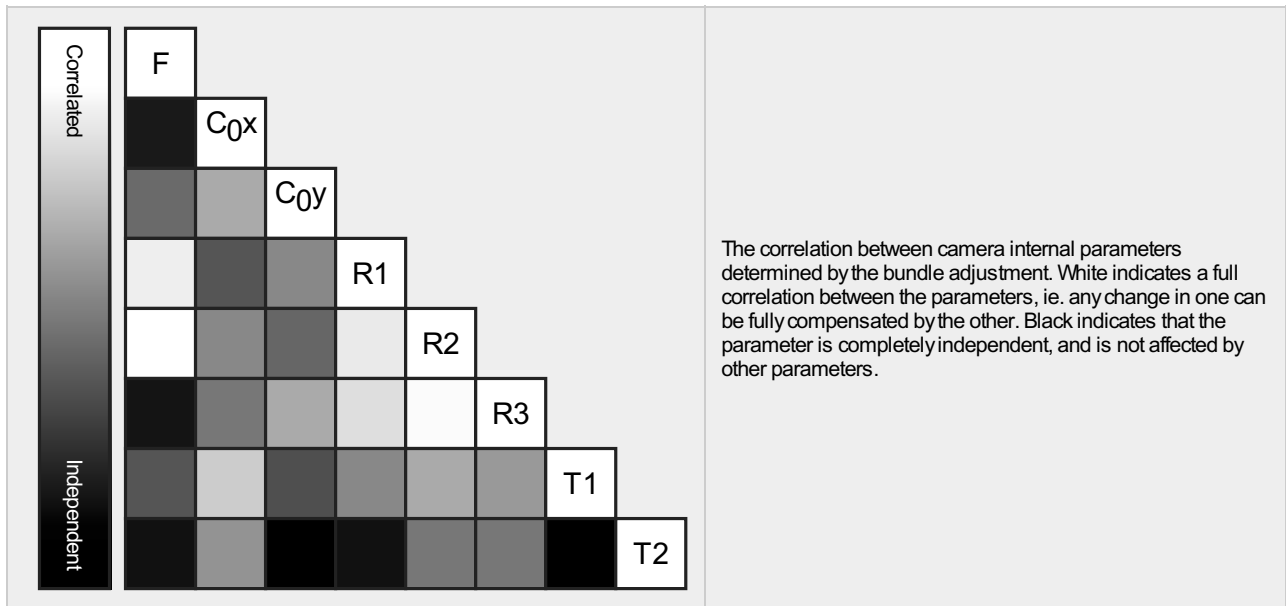
Internal Camera Parameters

L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.825 [mm] x 8.550 [mm]

EXIF ID: L1D-20c_10.3_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	4470.830 [pixel] 10.479 [mm]	2770.870 [pixel] 6.494 [mm]	1698.700 [pixel] 3.981 [mm]	0.009	0.040	-0.050	-0.003	0.002
Optimized Values	4375.261 [pixel] 10.255 [mm]	2724.072 [pixel] 6.385 [mm]	1796.316 [pixel] 4.210 [mm]	0.005	0.036	-0.042	-0.002	-0.000

Uncertainties (Sigma)	0.399 [pixel] 0.001 [mm]	0.041 [pixel] 0.000 [mm]	0.085 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
-----------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------	-------	-------	-------	-------



? 2D Keypoints Table



	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	73156	34168
Mn	58606	15162
Max	79922	44760
Mean	71579	33981

? 3D Points from 2D Keypoint Matches



	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	346660
In 3 Images	156650
In 4 Images	82366
In 5 Images	47764
In 6 Images	30025
In 7 Images	20063
In 8 Images	14392
In 9 Images	10365
In 10 Images	7546
In 11 Images	5741
In 12 Images	4560
In 13 Images	3416
In 14 Images	2746
In 15 Images	2127
In 16 Images	1528
In 17 Images	1265
In 18 Images	1055
In 19 Images	811
In 20 Images	644
In 21 Images	502

In 22 Images	384
In 23 Images	300
In 24 Images	262
In 25 Images	202
In 26 Images	162
In 27 Images	134
In 28 Images	96
In 29 Images	86
In 30 Images	71
In 31 Images	32
In 32 Images	26
In 33 Images	18
In 34 Images	21
In 35 Images	17
In 36 Images	9
In 37 Images	5

2D Keypoint Matches

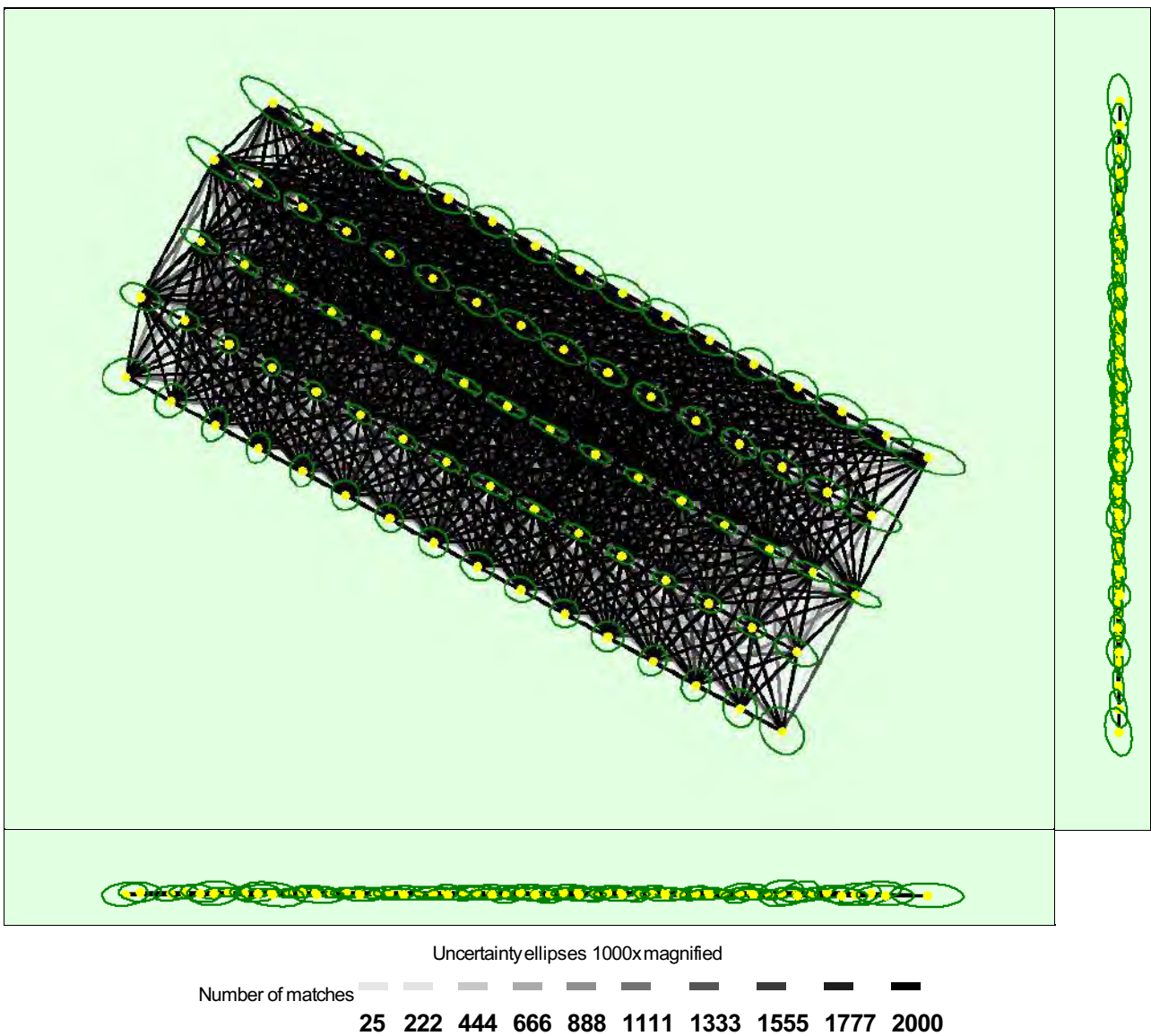


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X[m]	Camera Displacement Y[m]	Camera Displacement Z[m]
Mean	0.012	0.009	0.004	0.004	0.004	0.003	0.007	0.007	0.010
Sigma	0.004	0.003	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.002

Geolocation Details



Ground Control Points



GCP Name	Accuracy XY/Z[m]	Error X[m]	Error Y[m]	Error Z[m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
CUS12124 (3D)	0.020/ 0.020	0.000	-0.005	-0.015	0.358	15 / 15
5 (3D)	0.020/ 0.020	-0.005	-0.003	-0.019	0.403	12 / 12
8 (3D)	0.020/ 0.020	0.001	0.004	0.026	0.496	29 / 29
11 (3D)	0.020/ 0.020	-0.003	0.003	-0.018	0.533	23 / 23
15 (3D)	0.020/ 0.020	0.011	0.001	-0.028	0.470	26 / 26
Mean [m]		0.000847	-0.000089	-0.010775		
Sigma [m]		0.005475	0.003572	0.018917		
RMS Error [m]		0.005540	0.003573	0.021771		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

Absolute Geolocation Variance



Mn Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X[%]	Geolocation Error Y[%]	Geolocation Error Z[%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	37.50	0.00	0.00
-3.00	0.00	2.50	60.00	42.50
0.00	3.00	51.25	40.00	57.50
3.00	6.00	8.75	0.00	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		0.589583	0.343524	23.043339
Sigma [m]		3.112594	1.639272	0.306940
RMS Error [m]		3.167941	1.674879	23.045383

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	0.589583	0.343524	23.043339

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

Relative Geolocation Variance



Relative Geolocation Error	Images X[%]	Images Y[%]	Images Z[%]
----------------------------	-------------	-------------	-------------

[-1.00, 1.00]	100.00	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	0.866
Phi	2.175
Kappa	5.290

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

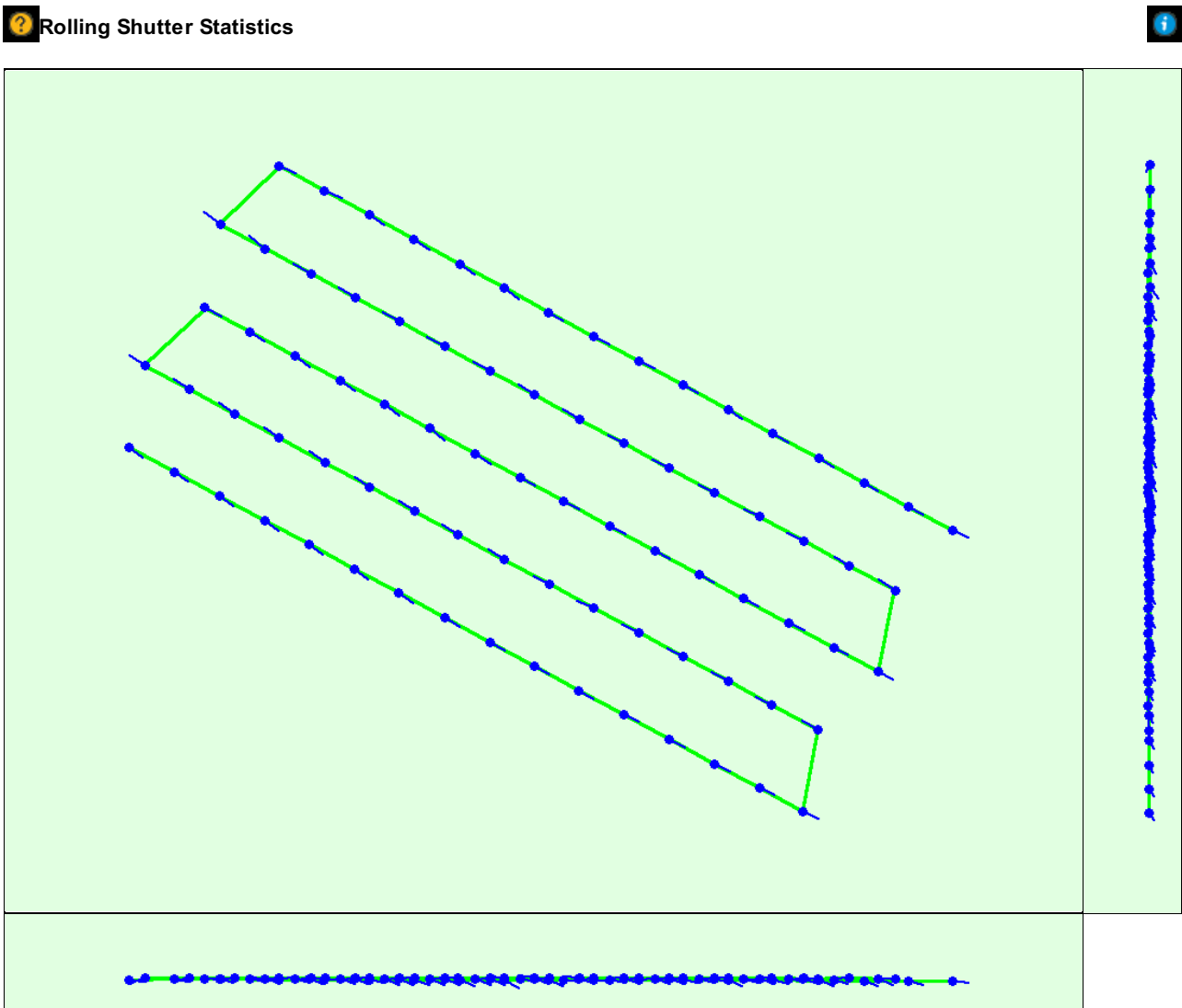


Figure 6: Camera movement estimated by the rolling shutter camera model. The green line follows the computed image positions. The blue dots represent the camera position at the start of the exposure. The blue lines represent the camera motion during the rolling shutter readout, re-scaled by a project dependant scaling factor for better visibility.

Median Camera Speed	16.1715 [m/s]
Median Camera Displacement During Sensor Readout)	0.7222 [m]
Median Rolling Shutter Readout Time	47.066 [ms]

Initial Processing Details



System Information



Hardware	CPU: AMD Ryzen 9 3900X 12-Core Processor RAM: 32GB GPU: NVIDIA GeForce RTX 3080 (Driver: 27.21.14.5751)
Operating System	Windows 10 Home, 64-bit

Coordinate Systems



Image Coordinate System	WGS 84 (EGM96 Geoid)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 19S (EGM96 Geoid)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 19S (EGM96 Geoid)

Processing Options



Detected Template	3D Maps
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

Point Cloud Densification details



Processing Options



Image Scale	multiscale, 1 (Original image size, Slow)
Point Density	High (Slow)
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	no
LOD	Generated: no
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	02h:43m:47s
Time for Point Cloud Classification	NA
Time for 3D Textured Mesh Generation	NA

Results



Number of Processed Clusters	2
Number of Generated Tiles	8
Number of 3D Densified Points	143590079
Average Density (per m ³)	109.73

DSM, Orthomosaic and Index Details



Processing Options



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (6.4 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp

Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Time for DSM Generation	47m:27s
Time for Orthomosaic Generation	07m:18s
Time for DTM Generation	00s
Time for Contour Lines Generation	00s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s

Quality Report



Generated with Pix4Denterprise version 4.5.6



Important: Click on the different icons for:



Help to analyze the results in the Quality Report



Additional information about the sections



Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary



Project	amlis 180
Processed	2021-12-17 15:15:02
Camera Model Name(s)	L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	6.99 cm / 2.75 in
Area Covered	0.487 km ² / 48.6967 ha / 0.19 sq. mi. / 120.3943 acres

Quality Check



Images	median of 70087 keypoints per image	
Dataset	70 out of 70 images calibrated (100%), all images enabled	
Camera Optimization	2.19% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
Matching	median of 31533.2 matches per calibrated image	
Georeferencing	yes, 5 GCPs (5 3D), mean RMS error = 0.009 m	

Preview

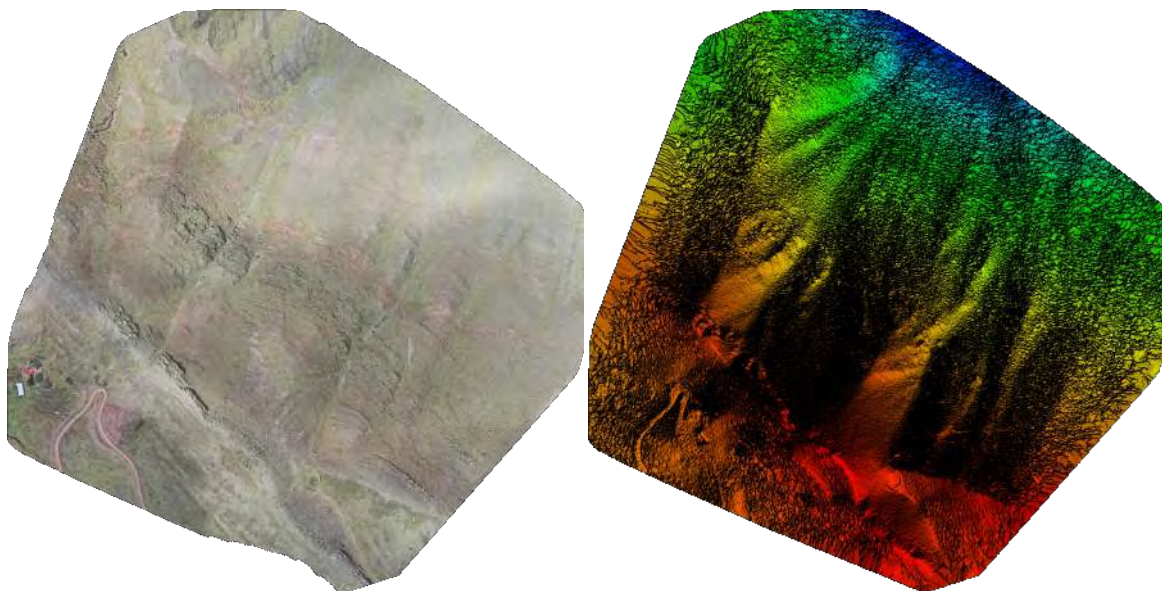


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details



Number of Calibrated Images	70 out of 70
Number of Geolocated Images	70 out of 70

Initial Image Positions

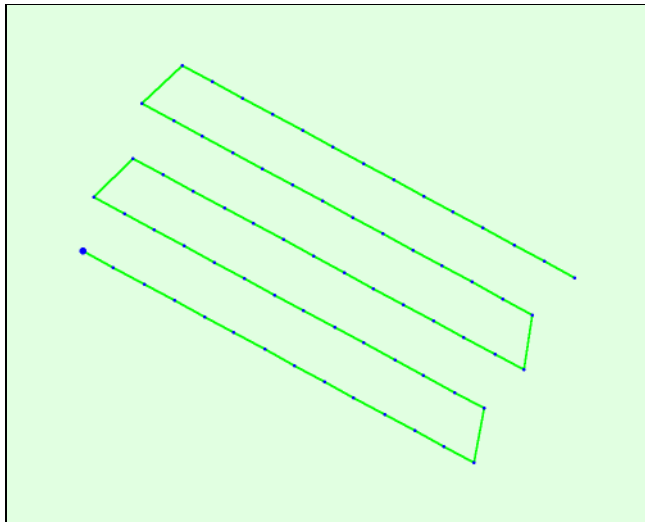


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions

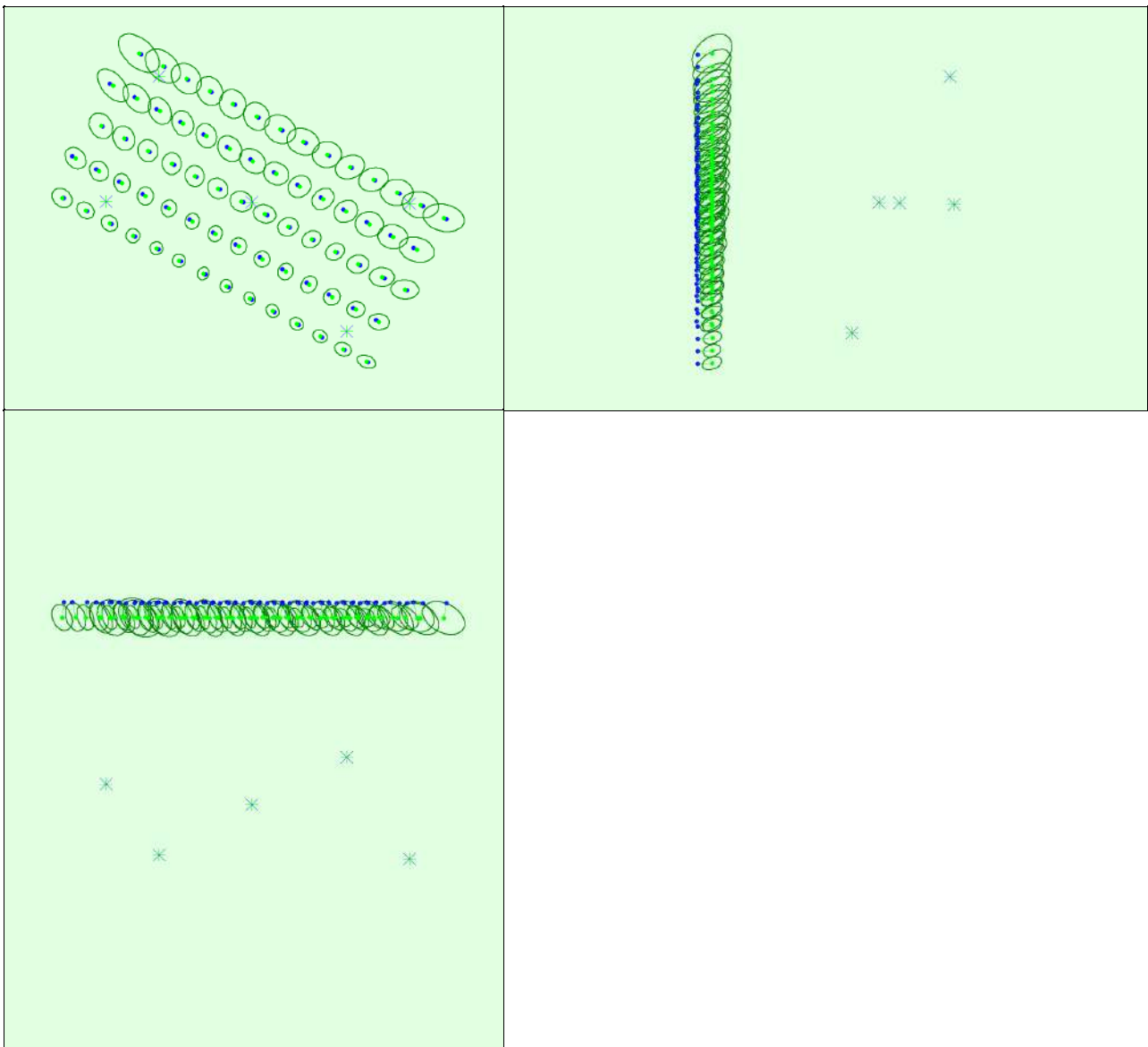


Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Absolute camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X[m]	Camera Displacement Y[m]	Camera Displacement Z[m]
Mean	0.016	0.015	0.020	0.003	0.003	0.002	0.004	0.005	0.010
Sigma	0.005	0.004	0.004	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.003

Overlap

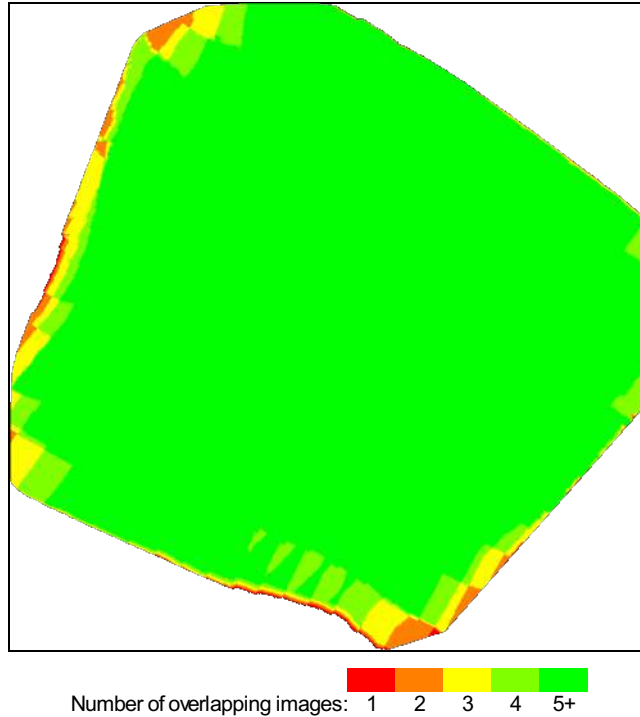


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details

Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	2227564
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	633643
Mean Reprojection Error [pixels]	0.159

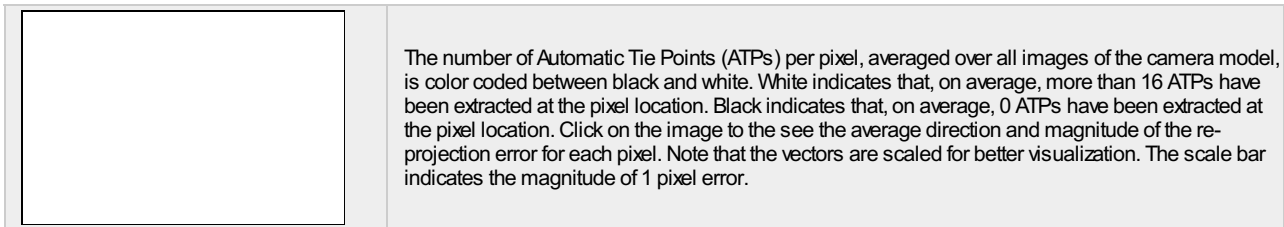
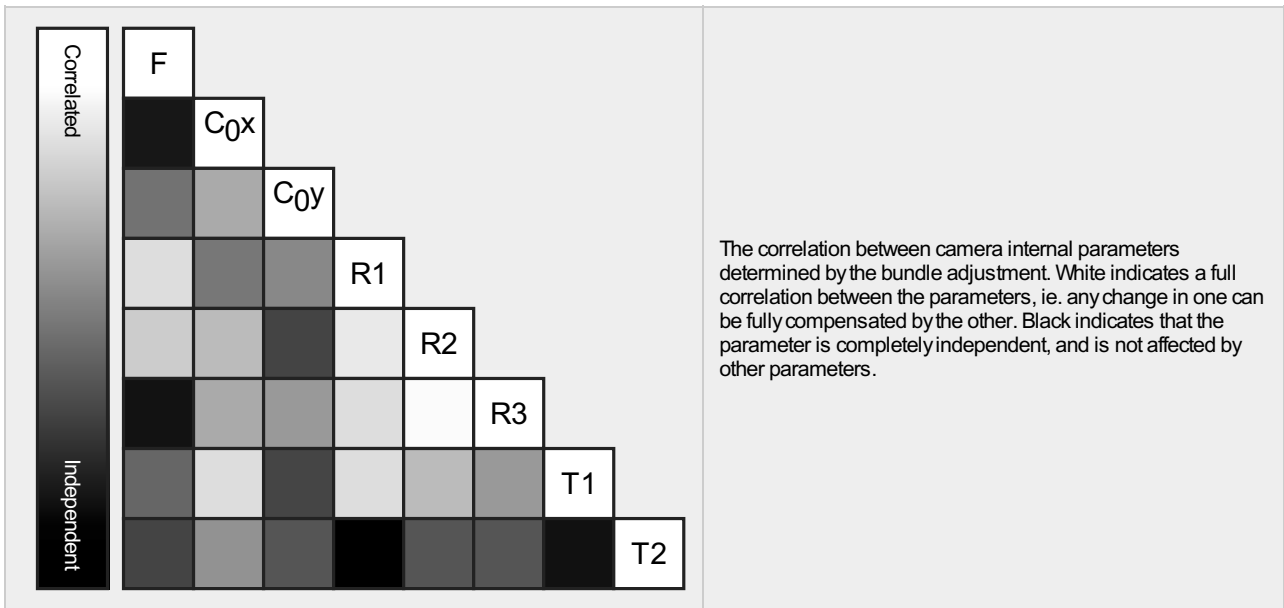
Internal Camera Parameters

L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.825 [mm] x 8.550 [mm]

EXIF ID: L1D-20c_10.3_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	4470.830 [pixel] 10.479 [mm]	2770.870 [pixel] 6.494 [mm]	1698.700 [pixel] 3.981 [mm]	0.009	0.040	-0.050	-0.003	0.002
Optimized Values	4372.482 [pixel] 10.248 [mm]	2724.460 [pixel] 6.385 [mm]	1796.408 [pixel] 4.210 [mm]	0.004	0.036	-0.042	-0.002	-0.000

Uncertainties (Sigma)	0.422 [pixel] 0.001 [mm]	0.045 [pixel] 0.000 [mm]	0.096 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
-----------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------	-------	-------	-------	-------



2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	70087	31533
Mn	57031	16360
Max	77172	42346
Mean	69105	31822

3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	308381
In 3 Images	133638
In 4 Images	68236
In 5 Images	39232
In 6 Images	24648
In 7 Images	16255
In 8 Images	11201
In 9 Images	7933
In 10 Images	5804
In 11 Images	4406
In 12 Images	3331
In 13 Images	2541
In 14 Images	1839
In 15 Images	1508
In 16 Images	1011
In 17 Images	840
In 18 Images	697
In 19 Images	494
In 20 Images	416
In 21 Images	285

In 22 Images	216
In 23 Images	163
In 24 Images	141
In 25 Images	115
In 26 Images	81
In 27 Images	77
In 28 Images	54
In 29 Images	30
In 30 Images	21
In 31 Images	17
In 32 Images	17
In 33 Images	6
In 34 Images	5
In 35 Images	4

2D Keypoint Matches

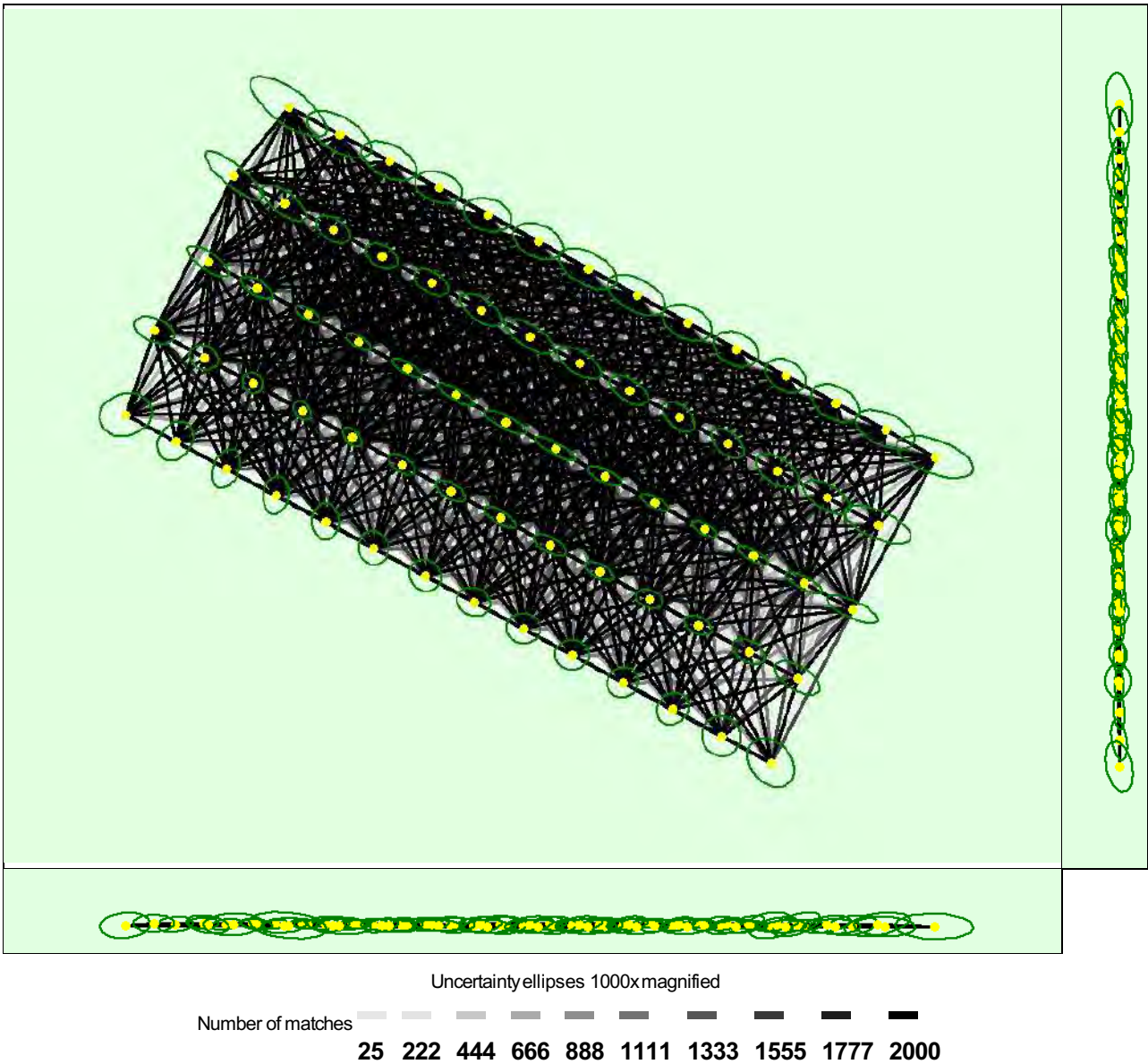


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]	Camera Displacement X[m]	Camera Displacement Y[m]	Camera Displacement Z[m]
--	------	------	------	----------------	--------------	----------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Mean	0.013	0.010	0.005	0.004	0.004	0.003	0.008	0.007	0.011
Sigma	0.004	0.003	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.003

Geolocation Details



Ground Control Points



GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
1 (3D)	0.020/ 0.020	0.001	-0.004	-0.012	0.561	16 / 16
5 (3D)	0.020/ 0.020	-0.006	-0.005	-0.020	0.630	12 / 12
8 (3D)	0.020/ 0.020	0.004	0.007	0.022	0.744	30 / 30
11 (3D)	0.020/ 0.020	-0.009	0.000	-0.014	0.589	21 / 21
15 (3D)	0.020/ 0.020	0.010	-0.000	-0.024	0.524	23 / 23
Mean [m]		0.000012	-0.000540	-0.009759		
Sigma [m]		0.006862	0.004043	0.016400		
RMS Error [m]		0.006862	0.004079	0.019084		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

Absolute Geolocation Variance



Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	40.00	0.00	0.00
-3.00	0.00	0.00	60.00	60.00
0.00	3.00	40.00	40.00	40.00
3.00	6.00	20.00	0.00	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		-0.038466	0.431708	20.837094
Sigma [m]		3.363757	1.838244	0.288399
RMS Error [m]		3.363977	1.888256	20.839090

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	-0.038466	0.431708	20.837094

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

Relative Geolocation Variance



Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	98.57	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00

[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	1.105
Phi	2.573
Kappa	6.353

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Rolling Shutter Statistics

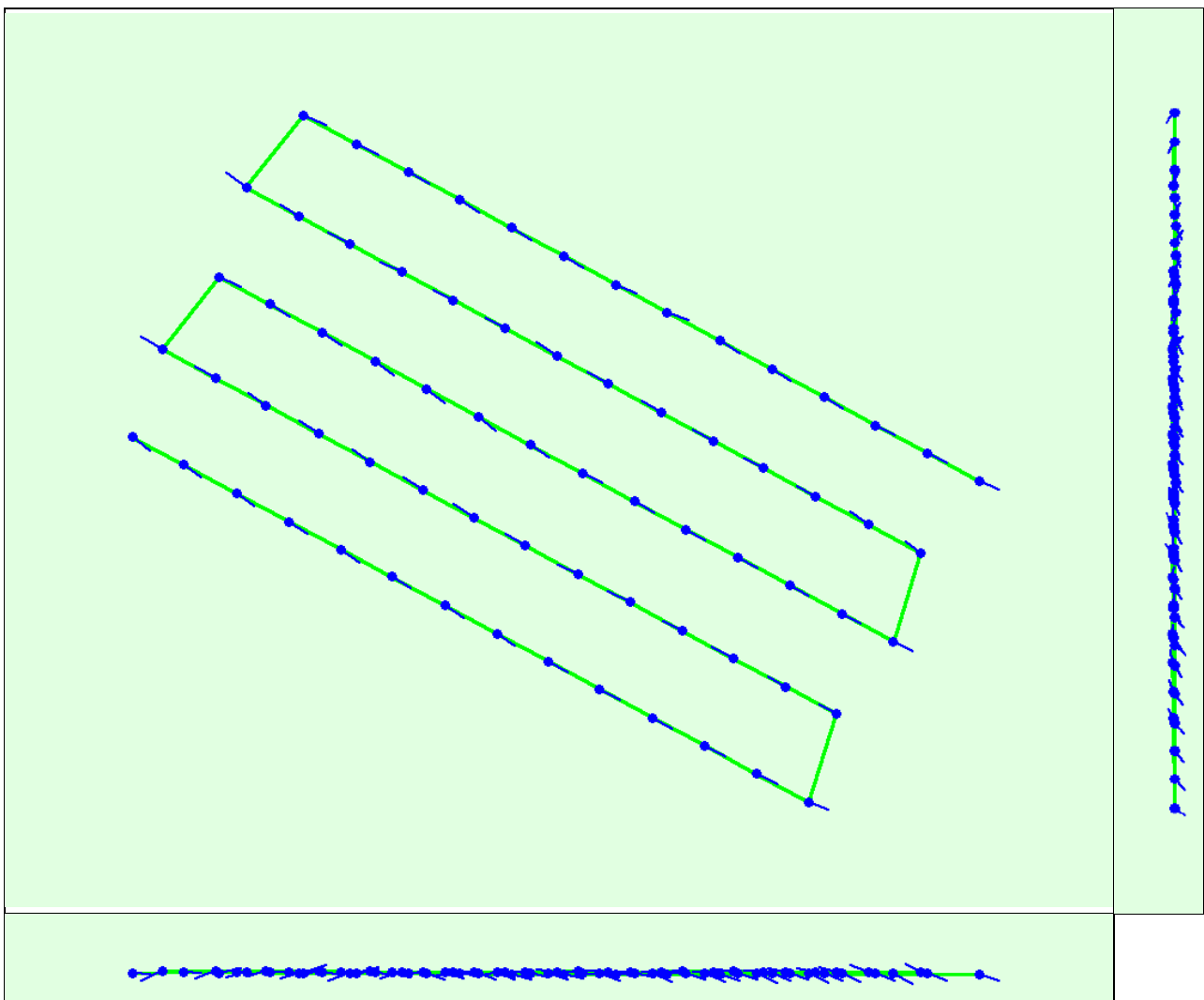


Figure 6: Camera movement estimated by the rolling shutter camera model. The green line follows the computed image positions. The blue dots represent the camera position at the start of the exposure. The blue lines represent the camera motion during the rolling shutter readout, re-scaled by a project dependant scaling factor for better visibility.

Median Camera Speed	12.8406 [m/s]
Median Camera Displacement During Sensor Readout)	0.793 [m]
Median Rolling Shutter Readout Time	55.9164 [ms]

Initial Processing Details

System Information

Hardware	CPU: AMD Ryzen 5 5600X6-Core Processor RAM: 32GB GPU: NVIDIA GeForce RTX 3080 (Driver: 27.21.14.5671)
Operating System	Windows 10 Pro, 64-bit

Coordinate Systems



Image Coordinate System	WGS 84 (EGM96 Geoid)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 19S (EGM96 Geoid)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTMzone 19S (EGM96 Geoid)

Processing Options



Detected Template	3D Maps
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

Point Cloud Densification details



Processing Options



Image Scale	multiscale, 1 (Original image size, Slow)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	no
LOD	Generated: no
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	01h:07m:34s
Time for Point Cloud Classification	04m:00s
Time for 3D Textured Mesh Generation	NA

Results



Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	33368361
Average Density (per m ³)	33.17

DSM, Orthomosaic and Index Details



Processing Options



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (6.99 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes

Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Time for DSM Generation	33m:22s
Time for Orthomosaic Generation	09m:19s
Time for DTM Generation	00s
Time for Contour Lines Generation	00s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s

Anexo 5

Reporte de procesamiento de línea base GNSS

En este reporte se puede observar todas las líneas base y la precisión obtenida en cada una de ellas.



Datos del archivo del proyecto		Sistema de coordenadas	
Nombre:		Nombre:	World wide/UTM
Tamaño:		Datum:	WGS 1984
Modificado/a:		Zona:	19 South
Zona horaria:		Geoide:	EGM 2008
Número de referencia:		Datum vertical:	
Descripción:		Obra calibrada:	
Comentario 1:			
Comentario 2:			
Comentario 3:			

Informe de procesamiento de líneas base

Procesando resumen

Observación	De	A	Tipo de solución	Prec. H. (Metro)	Prec. V. (Metro)	Aci. geod.	Dist. elip (Metro)	ΔAltura (Metro)
CS01 --- CUS12124 (B1)	CS01	CUS12124	Fija	0.0087	0.025	126°25'54"	40600.4450	972.4673

Resumen de aceptación

Procesado	Pasado	Indicador 	Fallida 
1	1	0	0

Datos del archivo del proyecto		Sistema de coordenadas	
Nombre:		Nombre:	World wide/UTM
Tamaño:		Datum:	WGS 1984
Modificado/a:		Zona:	19 South
Zona horaria:		Geoide:	EGM 2008
Número de referencia:		Datum vertical:	
Descripción:		Obra calibrada:	
Comentario 1:			
Comentario 2:			
Comentario 3:			

Informe de procesamiento de líneas base

Procesando resumen

Observación	De	A	Tipo de solución	Prec. H. (Metro)	Prec. V. (Metro)	Aci. geod.	Dist. elip (Metro)	ΔAltura (Metro)
CUS12124 --- 2 (B1)	CUS12124	2	Fija	0.0023	0.0048	127°35'32"	72.0057	17.9172
CUS12124 --- 3 (B2)	CUS12124	3	Fija	0.0032	0.0057	122°19'32"	183.4441	30.2149
CUS12124 --- 4 (B3)	CUS12124	4	Fija	0.0040	0.0061	121°16'11"	278.7881	14.9152
CUS12124 --- 5 (B4)	CUS12124	5	Fija	0.0020	0.0030	119°07'34"	384.5039	38.3200

Resumen de aceptación

Procesado	Pasado	Indicador 	Fallida 
4	4	0	0



Datos del archivo del proyecto		Sistema de coordenadas	
Nombre:	C:\Users\AEC SPACE\Desktop\INFORME DE GEODESIA TESIS\Linea Base CUS12124 DIA 15\d. Procesamiento\procesamiento.vce	Nombre:	World wide/UTM
Tamaño:	69 KB	Datum:	WGS 1984
Modificado/a:	25/02/2022 10:49:42 (UTC:-5)	Zona:	19 South
Zona horaria:	Hora est. Pacifico, Sudamérica	Geoide:	EGM 2008
Número de referencia:		Datum vertical:	
Descripción:		Obra calibrada:	
Comentario 1:			
Comentario 2:			
Comentario 3:			

Informe de procesamiento de líneas base

Procesando resumen

Observación	De	A	Tipo de solución	Prec. H. (Metro)	Prec. V. (Metro)	Aci. geod.	Dist. elip (Metro)	ΔAltura (Metro)
CUS12124 --- 10 (B1)	CUS12124	10	Fija	0.0028	0.0055	106°10'12"	390.8621	-21.6717
CUS12124 --- 11 (B2)	CUS12124	11	Fija	0.0047	0.0066	23°21'16"	191.9127	-99.5822
CUS12124 --- 12 (B3)	CUS12124	12	Fija	0.0043	0.0050	49°33'02"	205.2970	-121.2598
CUS12124 --- 13 (B4)	CUS12124	13	Fija	0.0040	0.0046	65°32'08"	247.2127	-107.5575
CUS12124 --- 14 (B5)	CUS12124	14	Fija	0.0033	0.0060	86°03'36"	338.0705	-112.3814
CUS12124 --- 15 (B6)	CUS12124	15	Fija	0.0034	0.0061	91°03'23"	426.5954	-105.0969
CUS12124 --- 6 (B7)	CUS12124	6	Fija	0.0049	0.0067	16°11'18"	96.6067	-44.8710
CUS12124 --- 7 (B8)	CUS12124	7	Fija	0.0046	0.0068	67°35'01"	107.5258	-50.7778
CUS12124 --- 8 (B9)	CUS12124	8	Fija	0.0029	0.0043	90°48'03"	204.9587	-28.1995
CUS12124 --- 9 (B10)	CUS12124	9	Fija	0.0032	0.0055	101°48'33"	320.8446	-35.6303

Resumen de aceptación

Procesado	Pasado	Indicador 	Fallida 
10	10	0	0

Anexo 6

Certificado de operatividad del equipo GNSS

CERTIFICADO DE OPERATIVIDAD

Otorgado A:

APAZA CHINO WILDOR

N° G-002-001621

DATOS DEL EQUIPO		GEOPERU
EQUIPO	MARCA	MODELO
GPS DIFERENCIAL	CHCNAV	150

GEOPERU S.A.C.; Certifica:

Que el SET GPS CHC 150 BASE Y ROVER:

- ✓ RECEPTORES SERIES N° 3223729-3223709
 - ✓ COLECTORA MODELO HCE320 CON SERIE N° 381000254
- Se encuentran 100% operativos.

❖ **GPS (Base)**

Revisión de conectores, verificación Funcionamiento y puertos de comunicación, revisión, recepción de satélites, revisión niveles de recepción satélites, verificación de firmware receptor, comprobación inicialización base.

❖ **GPS (Rover)**

Revisión de conectores, verificación Funcionamiento y puertos de comunicación, revisión, recepción de satélites, revisión niveles de recepción satélites, verificación de firmware receptor, comprobación inicialización rover, verificación funcionamiento RTK.

❖ **Colector de datos**

Revisión general, Parámetros de transferencia software y hardware y conexiones.

Nota: GEOPERU, no se responsabiliza por desajustes y/o des calibraciones en los equipos causados por un inadecuado transporte del mismo

Fecha de Emisión: 2021	Próxima Calibración: 11 de Abril del 2022.	Validez del Certificado: 06 Meses
---------------------------	---	--------------------------------------




Carlos Aguilar S.
Gerente General
GEOPERU S.A.C.



AV. SOL N° 610 - CUSCO (Costado de Prefectura - Migraciones)

Correos: cusco@geoperusac.com

Tel.: (084) 265503 / 961031292 ; 970090986

www.geoperusac.com