

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS SOFTWARE DE PRUEBA
AGISOFT PHOTOSCAN Y PIX4D PARA EL PROCESAMIENTO DE
DATOS OBTENIDOS CON FOTOGRAMETRÍA DE VEHÍCULO AÉREO
NO TRIPULADO (UAV) DE BAJO COSTO APLICADO A PROYECTOS
DE MEDIO AMBIENTE**

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL

GABRIEL ALEXANDER COSTALES ACURIO
gabrielcos92@hotmail.com

DIRECTOR: ING. CARLOS JENRY CÓRDOVA MESA, M.Sc.
jenry.cordova@epn.edu.ec

Quito, Septiembre 2018

DECLARACIÓN

Yo, Gabriel Alexander Costales Acurio, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

GABRIEL ALEXANDER COSTALES ACURIO

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Gabriel Alexander Costales Acurio, bajo mi supervisión.

ING. JENRY CÓRDOVA M.Sc.
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios y a la Virgen Dolorosa por haberme permitido terminar con éxito esta etapa de mi vida.

A mis padres Raúl y Elena por su amor y paciencia, por siempre creer en mí y brindarme su apoyo incondicionalmente. Las palabras no son suficientes para agradecerles todo lo que han hecho por mí.

A mis hermanos Santiago, Andrés, Jonathan y Vanessa por siempre ser un apoyo y un ejemplo para mí.

A Fer por ser mi compañera de vida y brindarme su apoyo durante todos estos años juntos, sin ti mi vida no sería la misma.

A mis amigos Flavio, Fabricio, Dario, Carlos, Esteban, Fernando, Francisco, Sebastián, Dennys, Mauricio, Cristina y Raquel por haber compartido conmigo toda esta etapa universitaria.

Al Ing. Jenry Córdova por darme la oportunidad de realizar este proyecto y por toda la ayuda brindada en el desarrollo del mismo.

A Acurio & Asociados por facilitarme los equipos necesarios para realizar este proyecto.

DEDICATORIA

A mis padres, mi mayor ejemplo de vida, esto es para ustedes.

A mi abuelita Judith y a la memoria de mis abuelitos Fausto, Georgina y Wilfrido.

A mis sobrinos Mateo, William Gabriel, Valentina y Raúl Andrés. Luchen siempre por alcanzar sus sueños mis pequeños.

CONTENIDO

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIA	V
CONTENIDO	VI
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABLAS	XV
LISTA DE ABREVIATURAS	XVI
RESUMEN	XVII
ABSTRACT	XVIII
PRESENTACIÓN	XIX
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.3 ALCANCE	3
1.4 JUSTIFICACIÓN	4
CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	5
2.1 MARCO TEÓRICO	5
2.1.1 FOTOGRAMETRÍA.....	5
2.1.1.1 FOTOGRAMETRÍA TERRESTRE.....	5
2.1.1.2 FOTOGRAMETRÍA AÉREA	6
2.1.1.3 FOTOGRAMETRÍA DIGITAL.....	6
2.1.2 LOS VEHICULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAV)	7

2.1.2.1 TIPOS DE UAV.....	7
2.1.2.2 USOS Y APLICACIONES EN INGENIERÍA.....	10
2.1.2.3 NORMATIVA ECUATORIANA PARA EL USO DE UAV.....	10
2.1.3 PUNTOS DE CONTROL TERRESTRE.....	11
2.1.4 PROGRAMAS PARA PROCESAMIENTO DE FOTOGRAMETRÍA CON UAV.....	12
2.1.4.1 PIX4D.....	12
2.1.4.2 AGISOFT PHOTOSCAN.....	13
2.2 ESTADO DEL ARTE.....	14
2.2.1 USO DE UAV EN CHINA PARA CONTROL DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....	14
2.2.2 UAV PARA EL MANEJO DE DESECHOS.....	15
2.2.3 USO DE UAV EN EL ECUADOR.....	15
CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA.....	16
3.1 ESTUDIO PRELIMINAR.....	16
3.1.1 IDENTIFICACIÓN Y VISITA A ZONAS DE ESTUDIO.....	16
3.1.1.1 CANTERA SECTOR LAS VIÑAS.....	16
3.1.1.2 TERRENOS QUINTA SANTA ROSA AMELIA.....	17
3.2 TRABAJO DE CAMPO.....	18
3.2.1 EQUIPOS.....	18
3.2.2 PUNTOS DE CONTROL.....	18
3.2.2.1 PUNTOS DE CONTROL CANTERA.....	22
3.2.2.2 PUNTOS DE CONTROL TERRENOS.....	24
3.2.3 PLAN DE VUELO.....	26
3.2.3.1 PLAN DE VUELO CANTERA.....	27
3.2.3.2 PLAN DE VUELO TERRENOS.....	29
3.3 TRABAJO DE GABINETE.....	31
3.3.1 PROCESAMIENTO CON PIX4D.....	32
3.3.1.1 PARÁMETROS PRELIMINARES DE PROCESAMIENTO.....	32

3.3.1.2 PROCESAMIENTO INICIAL.....	36
3.3.1.3 NUBE DE PUNTOS Y MALLA.....	40
3.3.1.4 DSM Y ORTOMOSAICO	42
3.3.2 PROCESAMIENTO CON AGISOFT PHOTOSCAN	44
3.3.2.1 PARÁMETROS PRELIMINARES DE PROCESAMIENTO.....	45
3.3.2.2 ORIENTACIÓN DE FOTOS.....	46
3.3.2.3 NUBE DE PUNTOS DENSA.....	50
3.3.2.4 GENERACIÓN DE MALLA POLIGONAL	51
3.3.2.5 CONSTRUCCIÓN DE TEXTURA.....	51
3.3.2.6 MODELO DE TESELAS	52
3.3.2.7 MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES	53
3.3.2.8 ORTOMOSAICO	53
3.3.2.9 CURVAS DE NIVEL	55
3.3.3 CÁLCULO DE ÁREAS DE TERRENOS	56
3.3.3.1 PROGRAMA PIX4D	57
3.3.3.2 PROGRAMA AGISOFT PHOTOSCAN	61
3.3.4 CÁLCULO DE VOLUMEN DE LA CANTERA.....	63
3.3.4.1 PROGRAMA PIX4D	63
3.3.4.2 PROGRAMA AGISOFT PHOTOSCAN	68
CAPÍTULO 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	72
4.1 TIEMPO DE PROCESAMIENTO	72
4.2 PUNTOS DE CONTROL.....	76
4.3 ANÁLISIS DE ORTOMOSAICO.....	78
4.4 CURVAS DE NIVEL.....	88
4.5 CÁLCULO DE ÁREAS	93
4.6 CÁLCULO DE VOLUMEN.....	94
CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	97
5.1 CONCLUSIONES	97
5.2 RECOMENDACIONES	100

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102
ANEXOS	105
ANEXO 1: MONOGRAFÍAS DE PUNTO DE CONTROL GEODÉSICO INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR	106
ANEXO 2: REPORTE DE PROCESAMIENTO DE PIX4D Y AGISOFT PHOTOSCAN	109
ANEXO 3: ORTOMOSAICOS DE LOS PROYECTOS GENERADOS CON CADA PROGRAMA.....	145
ANEXO 4: MAPAS DE CURVAS DE NIVEL DE LOS PROYECTOS GENERADOS CON CADA PROGRAMA.....	150
ANEXO 5: REPORTE DE CÁLCULO DE ÁREAS CON AGISOFT PHOTOSCAN.....	155
ANEXO 6: REPORTE DE CÁLCULO DE VOLUMEN CON AGISOFT PHOTOSCAN	158

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 FOTOGRAMETRÍA TERRESTRE	6
FIGURA 2.2 FOTOGRAMETRÍA AÉREA.....	6
FIGURA 2.3 FOTOGRAMETRÍA DIGITAL.....	7
FIGURA 2.4 CLASIFICACIÓN DE AERONAVES USADAS COMO UAV	8
FIGURA 2.5 DRON DE ALA FIJA FIGURA 2.6 DRON DE ALA ROTATIVA	8
FIGURA 2.7 DRON PHANTOM 4 PRO CON CONTROL REMOTO Y TABLET	9
FIGURA 3.1 IMAGEN SATELITAL DE LA CANTERA UBICADA EN EL SECTOR DE LAS VIÑAS	17
FIGURA 3.2 IMAGEN SATELITAL DE TERRENOS UBICADOS EN LA QUINTA SANTA ROSA AMELIA	18
FIGURA 3.3 RECEPTOR GNSS SOKKIA GRX1	19
FIGURA 3.4 TOMA DE PUNTO DE CONTROL IGM, CEMENTERIO DE IZAMBA.....	20
FIGURA 3.5 UBICACIÓN PUNTO DE CONTROL IGM, CEMENTERIO DE IZAMBA (PCA)	21
FIGURA 3.6 TOMA DE PUNTO DE CONTROL IGM, HACIENDA PANTAÑO	21
FIGURA 3.7 UBICACIÓN PUNTO DE CONTROL IGM, HACIENDA PANTAÑO (PCR)	22
FIGURA 3.8 UBICACIÓN REFERENCIAL DE LOS PUNTOS DE CONTROL EN LA CANTERA.....	23
FIGURA 3.9 PUNTOS DE CONTROL CANTERA	24
FIGURA 3.10 UBICACIÓN REFERENCIAL DE LOS PUNTOS DE CONTROL EN LOS TERRENOS	25
FIGURA 3.11 PUNTOS DE CONTROL TERRENOS.....	25
FIGURA 3.12 PANTALLA DE INICIO APLICACIÓN MÓVIL MAPS MADE EASY.....	26
FIGURA 3.13 PANEL DE CONFIGURACIONES GENERALES DE MAPS MADE EASY.....	27
FIGURA 3.14 ÁREA DE VUELO CANTERA.....	28
FIGURA 3.15 PARÁMETROS DE VUELO CANTERA.....	29

FIGURA 3.16 PLAN DE VUELO TERRENOS.....	30
FIGURA 3.17 PARÁMETROS DE VUELO TERRENOS	31
FIGURA 3.18 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ESTACIÓN DE TRABAJO	31
FIGURA 3.19 LICENCIA DE PRUEBA PIX4D	32
FIGURA 3.20 CREAR NUEVO PROYECTO EN PIX4D	33
FIGURA 3.21 SELECCIÓN DE IMÁGENES A PROCESAR EN PIX4D.....	33
FIGURA 3.22 PROPIEDADES DE IMÁGENES A PROCESAR EN PIX4D.....	34
FIGURA 3.23 SELECCIÓN DE SISTEMA DE COORDENAS DE SALIDA EN PIX4D.....	35
FIGURA 3.24 PLANTILLA DE OPCIONES DE PROCESAMIENTO EN PIX4D...	35
FIGURA 3.25 OPCIONES DE PROCESAMIENTO INICIAL EN PIX4D	36
FIGURA 3.26 VISTA DE NUBE DE PUNTOS DISPERSA DE LA CANTERA, CREADA EN PIX4D	37
FIGURA 3.27 INGRESO DE COORDENADAS DE PUNTOS DE CONTROL PARA LA CANTERA EN PIX4D	38
FIGURA 3.28 PUNTOS DE UNIÓN MARCADOS EN IMÁGENES DE LA CANTERA EN PIX4D	39
FIGURA 3.29 VISTA DE NUBE DE PUNTOS DISPERSA DE LOS TERRENOS, CREADA EN PIX4D	40
FIGURA 3.30 INGRESO DE COORDENADAS DE PUNTOS DE CONTROL PARA LOS TERRENOS EN PIX4D	40
FIGURA 3.31 CONFIGURACIÓN PARA GENERAR NUBE DE PUNTOS EN PIX4D	41
FIGURA 3.32 CONFIGURACIÓN PARA GENERAR MALLA DE TEXTURA EN PIX4D	42
FIGURA 3.33 CONFIGURACIÓN DE DSM Y ORTOMOSAICO EN PIX4D PARA LA CANTERA	43
FIGURA 3.34 CONFIGURACIÓN DE PRODUCTOS ADICIONALES EN PIX4D.....	44
FIGURA 3.35 ACTIVACIÓN DE LICENCIA DE PRUEBA DE AGISOFT PHOTOSCAN.....	45
FIGURA 3.36 SELECCIÓN DE UNIDAD DE PROCESAMIENTO GRÁFICO EN AGISOFT PHOTOSCAN	45

FIGURA 3.37 ORIENTACIÓN DE FOTOS EN AGISOFT PHOTOSCAN	47
FIGURA 3.38 VISTA DE NUBE DE PUNTOS DISPERSA DE LOS TERRENOS EN AGISOFT PHOTOSCAN	47
FIGURA 3.39 PUNTOS DE CONTROL DE LOS TERRENOS, INGRESADOS EN AGISOFT PHOTOSCAN	48
FIGURA 3.40 PUNTOS DE CONTROL COLOCADOS EN LAS IMÁGENES DE LOS TERRENOS EN AGISOFT PHOTOSCAN	48
FIGURA 3.41 AJUSTES DE SISTEMA DE REFERENCIA PARA PROCESAMIENTO EN AGISOFT PHOTOSCAN.....	49
FIGURA 3.42 VISTA DE NUBE DE PUNTOS DISPERSA DE LA CANTERA EN AGISOFT PHOTOSCAN	50
FIGURA 3.43 PUNTOS DE CONTROL DE LA CANTERA, INGRESADOS EN AGISOFT PHOTOSCAN	50
FIGURA 3.44 CONFIGURACIÓN DE NUBE DE PUNTOS DENSA EN AGISOFT PHOTOSCAN.....	51
FIGURA 3.45 CONFIGURACIÓN DE MALLA POLIGONAL EN AGISOFT PHOTOSCAN.....	51
FIGURA 3.46 CONFIGURACIÓN DE TEXTURA EN AGISOFT PHOTOSCAN...	52
FIGURA 3.47 CONFIGURACIÓN DE MODELO DE TESELAS PARA LOS TERRENOS (IZQUIERDA) Y PARA LA CANTERA (DERECHA) EN AGISOFT PHOTOSCAN.....	52
FIGURA 3.48 CONFIGURACIÓN DE DEM EN AGISOFT PHOTOSCAN	53
FIGURA 3.49 CONFIGURACIÓN DE ORTOMOSAICO PARA LOS TERRENOS (IZQUIERDA) Y PARA LA CANTERA (DERECHA) EN AGISOFT PHOTOSCAN.....	54
FIGURA 3.50 EXPORTACIÓN DE ORTOMOSAICO DE LOS TERRENOS (IZQUIERDA) Y DE LA CANTERA (DERECHA) EN AGISOFT PHOTOSCAN....	55
FIGURA 3.51 GENERACIÓN DE CURVAS DE NIVEL EN AGISOFT PHOTOSCAN.....	56
FIGURA 3.52 EXPORTACIÓN DE CURVAS DE NIVEL EN AGISOFT PHOTOSCAN.....	56
FIGURA 3.53 DELIMITACIÓN DE SUPERFICIES EN PIX4D	57
FIGURA 3.54 VISTA DE SUPERFICIE DELIMITADA EN PIX4D	57

FIGURA 3.55 PROPIEDADES DE CÁLCULO DE ÁREAS EN PIX4D	58
FIGURA 3.56 PUNTOS DE UNIÓN (MTP) EN VÉRTICES DE SUPERFICIES EN PIX4D	59
FIGURA 3.57 RESULTADO DEL CÁLCULO DE ÁREA 1 EN PIX4D	60
FIGURA 3.58 VISTA DE SUPERFICIES DELIMITADAS EN PIX4D.....	60
FIGURA 3.59 DELIMITACIÓN DE SUPERFICIES EN AGISOFT PHOTOSCAN.....	61
FIGURA 3.60 VISTA DE SUPERFICIE DELIMITADA EN AGISOFT PHOTOSCAN.....	62
FIGURA 3.61 RESULTADO DEL CÁLCULO DE ÁREA EN AGISOFT PHOTOSCAN.....	62
FIGURA 3.62 VISTA DE SUPERFICIES DELIMITADAS EN AGISOFT PHOTOSCAN.....	63
FIGURA 3.63 DELIMITACIÓN DE LA CANTERA PARA CÁLCULO DE VOLUMEN EN PIX4D	64
FIGURA 3.64 CONFIGURACIONES DE CÁLCULO DE VOLUMEN EN PIX4D ..	66
FIGURA 3.65 RESULTADO DEL CÁLCULO DE VOLUMEN EN PIX4D	66
FIGURA 3.66 POLÍGONO DEL CÁLCULO DE VOLUMEN EN PIX4D	67
FIGURA 3.67 VOLUMEN DE PILA DE RIPIO EN PIX4D	68
FIGURA 3.68 DELIMITACIÓN DE POLÍGONO PARA CÁLCULO DE VOLUMEN EN AGISOFT PHOTOSCAN	69
FIGURA 3.69 RESULTADO DE CÁLCULO DE VOLUMEN EN AGISOFT PHOTOSCAN.....	70
FIGURA 3.70 VOLUMEN DE PILA DE RIPIO EN AGISOFT PHOTOSCAN	71
FIGURA 4.1 ORTOMOSAICO DE LOS TERRENOS GENERADO EN PIX4D	79
FIGURA 4.2 ORTOMOSAICO DE LOS TERRENOS GENERADO EN AGISOFT PHOTOSCAN.....	80
FIGURA 4.3 VISTA ESPECÍFICA DEL TERRENO 5 EN EL ORTOMOSAICO DE PIX4D.....	81
FIGURA 4.4 VISTA ESPECÍFICA DEL TERRENO 5 EN EL ORTOMOSAICO DE AGISOFT PHOTOSCAN.....	82

FIGURA 4.5 VISTA ESPECÍFICA DEL TERRENO 4 EN EL ORTOMOSAICO DE PIX4D	83
FIGURA 4.6 VISTA ESPECÍFICA DEL TERRENO 4 EN EL ORTOMOSAICO DE AGISOFT PHOTOSCAN	84
FIGURA 4.7 ORTOMOSAICO DE LA CANTERA GENERADO EN PIX4D.....	85
FIGURA 4.8 ORTOMOSAICO DE LA CANTERA GENERADO EN AGISOFT PHOTOSCAN.....	86
FIGURA 4.9 VISTA ESPECÍFICA EN LA CANTERA DEL ORTOMOSAICO DE PIX4D	87
FIGURA 4.10 VISTA ESPECÍFICA EN LA CANTERA DEL ORTOMOSAICO DE AGISOFT PHOTOSCAN	88
FIGURA 4.11 VISTA DE CURVAS DE NIVEL DE LOS TERRENOS GENERADAS EN PIX4D	89
FIGURA 4.12 VISTA DE CURVAS DE NIVEL DE LOS TERRENOS GENERADAS EN AGISOFT PHOTOSCAN.....	90
FIGURA 4.13 VISTA DE CURVAS DE NIVEL DE LA CANTERA GENERADAS EN PIX4D	91
FIGURA 4.14 VISTA DE CURVAS DE NIVEL DE LA CANTERA GENERADAS EN AGISOFT PHOTOSCAN.....	92

LISTA DE TABLAS

TABLA 3.1 COORDENADAS DE MONOGRAFÍAS DE PUNTOS DE CONTROL GEODÉSICO IGM.....	20
TABLA 3.2 PLANOS BASE PARA CÁLCULO DE VOLUMEN EN PIX4D	64
TABLA 3.3 PLANOS BASE PARA CÁLCULO DE VOLUMEN EN AGISOFT PHOTOSCAN.....	70
TABLA 4.1 TIEMPOS DE PROCESAMIENTO EN PIX4D	73
TABLA 4.2 TIEMPOS DE PROCESAMIENTO EN AGISOFT PHOTOSCAN	73
TABLA 4.3 COMPARACIÓN DE TIEMPO DE PROCESAMIENTO DEL PROYECTO TERRENOS QUINTA SANTA ROSA AMELIA - RIOBAMBA.....	74
TABLA 4.4 COMPARACIÓN DE TIEMPO DE PROCESAMIENTO DEL PROYECTO CANTERA EN EL SECTOR DE LAS VIÑAS - AMBATO	75
TABLA 4.5 REPORTE DE PUNTOS DE CONTROL PARA LOS TERRENOS EN PIX4D.....	76
TABLA 4.6 REPORTE DE PUNTOS DE CONTROL PARA LOS TERRENOS EN AGISOFT PHOTOSCAN.....	76
TABLA 4.7 REPORTE DE PUNTOS DE CONTROL PARA LA CANTERA EN PIX4D.....	77
TABLA 4.8 REPORTE DE PUNTOS DE CONTROL PARA LA CANTERA EN AGISOFT PHOTOSCAN.....	77
TABLA 4.9 RESULTADO DEL CÁLCULO DE ÁREAS CON AMBOS PROGRAMAS.....	94
TABLA 4.10 RESULTADO DEL CÁLCULO DE VOLUMENES CON AMBOS PROGRAMAS.....	95

LISTA DE ABREVIATURAS

UAV	Unmanned aerial vehicle (Vehículo aéreo no tripulado)
GPS	Global positioning system (Sistema de posicionamiento global)
GNSS	Global Navigation Satellite System (Sistema global de navegación por satélite)
RTK	Real time kinematic (Navegación cinética satelital)
UTM	Universal Transverse Mercator (sistema de coordenadas universal transversal de Mercator)
IGM	Instituto Geográfico Militar
SIG	Sistemas de información geográfica
GCP	Ground control point (Punto de control terrestre)
DTM	Digital terrain model (Modelo digital de terreno)
DSM	Digital surface model (Modelo digital de elevaciones)
DAC	Dirección General de Aviación Civil

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo determinar las características de las versiones de prueba de los programas Agisoft PhotoScan y Pix4D para el procesamiento de fotografías aéreas mediante un análisis comparativo de tiempos de procesamiento, calidad de ortomosaico generado y herramientas para cálculos de medidas de superficie y volumen para su aplicación en proyectos de medio ambiente con vehículo aéreo no tripulado, UAV por sus siglas en inglés (Unmanned Aerial Vehicle) o conocidos comúnmente como drones, de bajo costo.

Se realizaron dos levantamientos con un UAV modelo Phantom 4 Pro. Los levantamientos corresponden a una cantera ubicada en la ciudad de Ambato y a un conjunto de terrenos ubicados en la ciudad de Riobamba. Se elaboraron planes de vuelo para cada zona de estudio y se establecieron en las mismas puntos de control terrestres para lograr una georreferenciación precisa de las zonas.

El procesamiento de las imágenes obtenidas en cada levantamiento se lo realizó con las versiones de prueba de los programas Agisoft PhotoScan y Pix4D. De las dos zonas de estudio se obtuvieron sus curvas de nivel, ortomosaico y un reporte de procesamiento generado por cada programa. Además, se realizó el cálculo del volumen de la cantera y de las áreas de los terrenos para de esta manera evaluar los atributos que presentan los programas para realizar este tipo de trabajos.

Los resultados obtenidos indican que el tiempo de procesamiento de Agisoft fue 3.3 veces mayor al de Pix4D para el proyecto de los terrenos y 2.4 veces mayor para el proyecto de la cantera. La calidad visual de los ortomosaicos generados por los programas presentan las misma nitidez y detalle de imagen sin ninguna diferencia significativa. En cuanto a la generación de curvas de nivel Pix4D presenta curvas suaves y uniformes mientras que Agisoft PhotoScan muestra curvas irregulares con sobreposición en algunas cotas. Los atributos de estos programas para el cálculo de áreas son muy similares y presentan la misma facilidad de manejo. Para el cálculo de volúmenes Pix4D brinda más opciones de cálculo frente a Agisoft para diferentes tipos de trabajos específicos.

ABSTRACT

This research has the objective of determining the characteristics of the trial period of Agisoft PhotoScan and Pix4D software for the processing of aerial images based on a comparative analysis of processing times, quality of ortomosaic generated and used tools to determinate surface and volume measurements for its application in environmental projects with low cost UAV (Unmanned Aerial Vehicle) or commonly known as drones.

Two surveys were carried out with a UAV model Phantom 4 Pro. The surveys correspond to a quarry located in the city of Ambato and to a group of private lands located in the city of Riobamba. Flight plans were made for each study area and ground control points were established to achieve a precise georeferencing of these areas.

The processing of the images obtained on each survey was carried out with the trial versions of Agisoft PhotoScan and Pix4D software. The contour lines, ortomosaic and a processing report generated by each software were obtained for the two study areas. In addition, the volume of the quarry and the surfaces of the lands were determined in order to evaluate the attributes presented by the two software packages.

The results indicate that the processing time for Agisoft was 3.3 times higher than Pix4D for the private lands project and 2.4 times higher for the quarry project. The visual quality of the ortomosaics generated by the two software packages present the same sharpness and image detail without any significant difference. Regarding the generation of contours, Pix4D presents smoother and uniform contours while Agisoft PhotoScan shows irregular contours with overlapping in some segments. The attributes of these two software packages for determination of surfaces are very similar and they present the same ease of handling. For volume calculation Pix4D provides more options than Agisoft for different types of specific jobs without any limitation.

PRESENTACIÓN

El presente trabajo trata sobre el análisis comparativo entre dos programas para el análisis de procesamiento de imágenes aéreas con vehículos aéreos no tripulados (UAV) o drones, y está compuesto por cinco capítulos los cuales guardan un orden específico y se estructuran de la siguiente manera:

En el primer capítulo se detallan aspectos generales del proyecto como la introducción, los antecedentes, objetivos, alcance y justificación del mismo.

El segundo capítulo contiene la información bibliográfica que se utilizó como base para desarrollar este trabajo. Se menciona la clasificación de la fotogrametría, la definición y uso de los vehículos aéreos no tripulados, los programas utilizados para el procesamiento de imágenes obtenidas a partir de los UAV y casos específicos de diferentes países en donde se utiliza esta tecnología.

En el capítulo tercero se detalla la metodología utilizada, desglosando el estudio preliminar realizado en cada zona de interés, el trabajo de campo, los equipos utilizados y como se realizó el procesamiento de imágenes en cada programa.

En el cuarto capítulo se despliegan los resultados obtenidos y se realiza un análisis de las características que presentan los programas en cada producto generado, se determinan los tiempos de procesamiento, calidad de ortomosaico, obtención de curvas de nivel y atributos para la determinación de áreas y volúmenes.

El quinto capítulo finalmente contiene las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron a partir del análisis de resultados de este trabajo.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

En los últimos años los vehículos aéreos no tripulados, UAV por sus siglas en inglés (Unmanned Aerial Vehicle), o comúnmente conocidos como drones, han sido utilizados cada vez más para aplicaciones ingenieriles (Cuerno, 2015). Estos equipos presentan varias ventajas en cuanto a seguridad, eficacia y optimización de tiempos de trabajo, y pueden ser operados de forma remota en tierra o mediante un plan de vuelo preprogramado gracias al sistema de comunicación integrado en los mismos y a la ayuda de un programa especializado (Pinto, 2016).

Los drones para estudios de ingeniería deben contar con una cámara integrada, la cual realiza la toma de fotografías aéreas que proporcionan información a procesar para obtener datos de latitud, longitud y cota. Esta información es la que hace posible realizar mediciones sobre las mismas después de su debido procesamiento. Esto permitirá generar un modelo digital del terreno después de su debido procesamiento. Este proceso es el que se conoce comúnmente como fotogrametría, una técnica que permite definir formas, dimensiones y situación espacial de cualquier objeto empleando medidas geométricas hechas sobre fotografías aéreas (Quirós, 2014).

La fotogrametría aérea, georreferenciada con la ayuda de toma de puntos de control en campo, es procesada a través de un programa especializado para generar una nube de puntos que permite obtener ortomosaicos, modelos digitales de terreno (MDT) y modelos en tres dimensiones (3D) de un área específica en estudio (Hernández et al., 2016). Esta proyección ortogonal presenta las propiedades geométricas de un plano, lo cual hace posible realizar mediciones exactas sobre la misma y a su vez que esta pueda ser exportada a otros programas de diseño, modelación y análisis asistido, como AutoCAD Civil 3D o ArcGIS (Saenz & Beltrán, 2015).

Los programas para el procesamiento de las fotografías tomadas con el dron deben contar con todas las herramientas que permitan trabajar con mayor precisión y generen resultados confiables (Mitsikostas, 2017). Entre los más destacados se encuentran

Pix4D, Agisoft PhotoScan o DroneDeploy, los cuales requieren de licencias pagadas para su uso, pero ofrecen de igual manera un período de prueba para evaluar sus diferentes funcionalidades (Sánchez et al., 2013). Existen programas de uso libre como Opendronemap, Open MVS o Visual SFM, que necesariamente deben ser combinados con otros programas de codificación y requieren conocimientos avanzados de informática para establecer un flujo de trabajo que genere resultados de calidad, por lo que estos no son utilizados para procesar trabajos de ingeniería con drones (Martorell, 2017).

En el campo de la ingeniería ambiental las aplicaciones de la fotogrametría a partir de los vehículos aéreos no tripulados se han incrementado notablemente, a la par de los avances tecnológicos en diferentes modelos y adecuaciones que se realizan a los mismos, para que de esta manera puedan cumplir con un fin específico (Martínez, 2015). Algunas de estas aplicaciones son en vigilancia de reservas naturales para de esta manera disminuir la vulnerabilidad de las mismas, realizar monitoreos de especies de flora y fauna en peligro de extinción, detección de focos de fuego en incendios forestales, control de la contaminación atmosférica, levantamientos cartográficos y topográficos, determinación de áreas contaminadas de suelo o agua, cálculos de volumen de desechos para su óptimo aprovechamiento, entre otras (Martínez, 2015).

Basándose en lo anteriormente señalado esta investigación busca realizar un análisis comparativo entre las versiones de prueba de los programas Pix4D y Agisoft PhotoScan, de su eficiencia de procesamiento de imágenes captadas con un UAV de bajo costo, en este caso el Phantom 4 Pro, tomando como caso de estudio dos proyectos que son: a) una cantera en la ciudad de Ambato, y b) levantamiento de terreno en la ciudad de Riobamba. Adicionalmente se generarán las curvas de nivel para cada uno de los proyectos mencionados. Para establecer los planes de vuelo del dron sobre cada área de interés se utilizará la aplicación para dispositivos móviles Maps Made Easy.

Este análisis comparativo parte desde la toma de fotografías aéreas con el dron hasta la generación de modelos digitales de terreno en cada proyecto. De esta manera se busca establecer cuál de los dos programas presenta mayor nivel de detalle en la obtención de los datos correspondientes a cada área de estudio, evaluar los tiempos de procesamiento de cada uno, así como las herramientas y funcionalidades que poseen

para la determinación de áreas y volúmenes. Con esto se busca tener un fundamento bajo el cual poder respaldar la elección de un programa para procesar levantamientos de proyectos de ingeniería realizados con drones.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar las características de cada programa para el procesamiento de imágenes aéreas mediante un análisis comparativo de tiempos de procesamiento, calidad de ortomosaico generado y herramientas para cálculos de medidas de superficie y volumen para su aplicación en proyectos de medio ambiente con UAV de bajo costo.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir parámetros de vuelo y funcionamiento del UAV estableciendo los requerimientos técnicos en función de la resolución de la ortofoto que se desea obtener, a través de la aplicación para dispositivos móviles Maps Made Easy.
- Obtener resultados más confiables estableciendo en el terreno puntos de control mediante el uso de GPS (sistema de posicionamiento global) de alta precisión.
- Determinar los tiempos de procesamiento de las imágenes captadas en los programas Agisoft PhotoScan y Pix4d.
- Establecer en que programa se presenta una mejor resolución de detalle analizando la calidad del ortomosaico creado.
- Realizar un análisis comparativo de las herramientas que posee cada uno de los programas obteniendo medidas de superficie y de volumen de dos proyectos levantados con UAV.
- Analizar los resultados de los programas utilizados generando curvas de nivel de los proyectos levantados.

1.3 ALCANCE

En el presente proyecto se realizará un análisis técnico de los diferentes atributos que ofrecen los programas Agisoft PhotoScan y Pix4D para el procesamiento de datos de fotogrametría con UAV aplicada a cálculos de áreas y volúmenes en proyectos de

ingeniería, para de esta manera generar un criterio en el cual basar la elección entre uno de ellos para trabajar un proyecto específico.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Las aplicaciones técnicas de los vehículos aéreos no tripulados han beneficiado notablemente al campo de la ingeniería ambiental, a pesar de ser un campo no tan explotado en el país. Los UAV contribuyen con técnicas que hacen que el desarrollo de trabajos especializados sea más sencillo, se los pueda realizar a menor costo y se evite la exposición a riesgos laborales (Carretero, 2015). El procesamiento de las fotografías tomadas en campo con un UAV se lo debe realizar con un programa especializado, que cuente con las herramientas necesarias que permitan una generación de datos precisos de manera eficiente para cada tipo de proyecto específico (Martínez et al., 2015).

La determinación de los programas para procesamiento de imágenes aéreas con drones debe ir más allá de la comparación de costos entre los mismos, ya que son las características técnicas y la calidad de datos obtenidos los que determinan que programa es más apropiado para procesar cada proyecto en específico, dependiendo de lo que se desee obtener (Oñate, 2015). Los atributos que pueda ofrecer cada programa de igual manera contribuirán a que los cálculos de áreas y volumen tengan mayor precisión.

Pix4D y Agisoft PhotoScan son en la actualidad dos de los programas más utilizados para fotogrametría aérea aplicada a ingeniería, debido a su facilidad de manejo e interface amigable con el usuario (Schwind, 2016). El análisis comparativo propuesto en esta investigación permitirá determinar los atributos de cada programa al momento de procesar fotogrametría de levantamientos de proyectos de ingeniería, y de igual forma se logrará entender de una manera más clara las herramientas con las que cuenta cada uno de estos para realizar cálculos tanto de superficie como de volumen.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 FOTOGRAMETRÍA

La fotogrametría se define como la unión de técnicas para obtener medidas confiables de elementos específicos mediante el uso de fotografías aéreas, ya sea una o varias, con la finalidad de definir atributos geométricos como posición, tamaño y forma de los mismos (Ruiz, 2003). De una manera resumida se puede decir que esta técnica consiste en hacer uso de fotografías desde el punto de vista métrico con el objetivo de obtener mapas y planos de alta precisión.

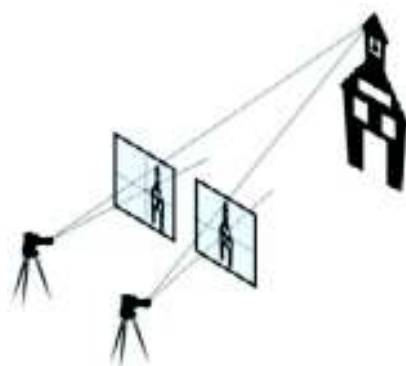
Algunas de las ventajas de trabajar con fotogrametría son las siguientes:

- Se logra obtener información objetiva con representaciones actualizadas de las zonas de interés.
- Genera resultados homogéneos de planimetría y altimetría de alta precisión.
- Para levantar la información se utilizan equipos relativamente económicos.
- Facilidad y rapidez de obtención de resultados.
- Permite realizar levantamientos de regiones de difícil acceso.

2.1.1.1 Fotogrametría terrestre

Corresponde al uso de fotografías que fueron tomadas horizontalmente y verticales al terreno, se pueden realizar mediciones sobre estas pero presentan una dificultad en cuanto al manejo de la escala (Sani, 2015). Su aplicación se puede dar para estudios arqueológicos y arquitectónicos.

FIGURA 2.1 FOTOGRAMETRÍA TERRESTRE



FUENTE: (Quirós, 2014).

2.1.1.2 Fotogrametría aérea

Se obtiene a partir de vehículos aéreos los cuales cuentan con una cámara que captura imágenes perpendiculares a la superficie terrestre (Tapia, 2017). A partir de esta se puede obtener representaciones del terreno en 2 y 3 dimensiones, además permiten cubrir grandes superficies de terreno en un menor tiempo.

FIGURA 2.2 FOTOGRAMETRÍA AÉREA

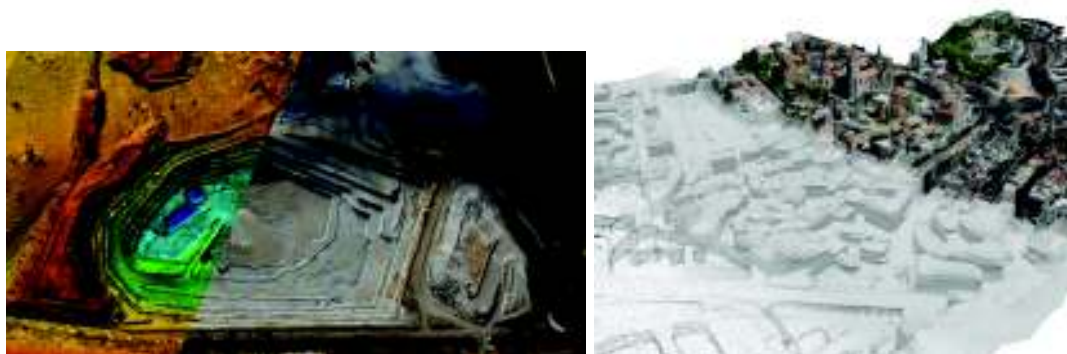


FUENTE: (Quirós, 2014).

2.1.1.3 Fotogrametría digital

Las fotografías aéreas son digitalizadas y procesadas en equipos informáticos de última tecnología tanto en hardware como en software. Con la ayuda de estos equipos se pueden llegar a obtener mosaicos georreferenciados y reconstrucciones de modelos digitales de terreno en 3D, cuya aplicación principal se da en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Hernández, 2006).

FIGURA 2.3 FOTOGRAMETRÍA DIGITAL



FUENTE: (Pix4D, 2018)

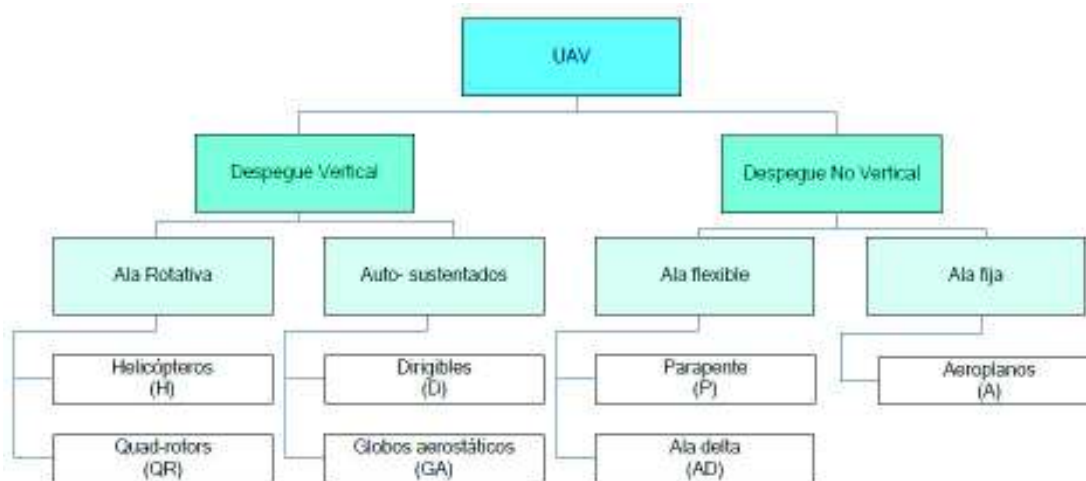
2.1.2 LOS VEHICULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAV)

Un vehículo aéreo no tripulado, UAV por sus siglas en inglés (Unmanned Aerial Vehicle) es una aeronave robótica con motor que es controlada de forma remota por un operador en tierra (Cuerno, 2015). Estos equipos fueron creados con la finalidad de usarlos en actividades militares debido a su bajo costo y a que se suprime por completo el riesgo humano, pero gracias a los avances tecnológicos se ha logrado explotar su potencial para usarlos en un sin número de aplicaciones civiles.

Actualmente los UAV, también conocidos como drones, cuentan con un sistema de posicionamiento integrado, sensores y cámaras de avanzada tecnología que permiten obtener videos y fotos de alta definición.

2.1.2.1 Tipos de UAV

La clasificación de estos equipos se la puede realizar desde diferentes puntos de vista. En (Barrientos et al., 2007) se clasifica a los UAV de acuerdo al tipo de aeronave y su forma de despegue, la cual se considera una clasificación simple pero es la más utilizada.

FIGURA 2.4 CLASIFICACIÓN DE AERONAVES USADAS COMO UAV

FUENTE: (Barrientos et al., 2007)

FIGURA 2.5 DRON DE ALA FIJA
“EBEE”

FUENTE: (SenseFly, 2018)

FIGURA 2.6 DRON DE ALA ROTATIVA
“INSPIRE”

FUENTE: (DJI, 2018)

El uso de cada uno de estos tipos de aeronaves depende netamente del producto que se desea obtener y las capacidades de vuelo que se requieran para cumplir con un levantamiento de información. Los más utilizados en la actualidad para fotogrametría en 2D y 3D son los Quad-rotors de ala rotativa. Si bien su alcance y autonomía de vuelo son un limitante, estos presentan facilidad de maniobrabilidad, tienen la capacidad de realizar vuelos verticales y de volar en espacios cerrados y de manera estacionaria (Barrientos et al., 2007).

2.1.2.1.1 Dron Phantom 4 Pro

El Phantom 4 Pro es un dron con despegue vertical de ala rotativa y capacidad de una batería extraíble desarrollado por la empresa DJI. Se lo considera un dron de gama

media en referencia a su precio principalmente, ya que presenta características suficientes para poder realizar trabajos de ingeniería, y en comparación con otros equipos utilizados para la misma finalidad técnica, este presenta un costo menor. Dentro de las especificaciones establecidas por el fabricante (DJI, 2018) se detallan las siguientes:

- Autonomía de vuelo de 30 minutos por batería.
- Sensores de detención de obstáculos en 5 direcciones.
- Cámara integrada de 20 megapíxeles con sistema de estabilización (Gimbal) que permite obtener videos de ultra alta definición (4K).
- Rango de alcance del control remoto de hasta 7km.
- Permite realizar vuelos programados (autopiloto) a través de aplicaciones para dispositivos móviles.
- Sistema integrado de posicionamiento por satélite (GPS y GLONASS).
- Alcanza una velocidad máxima de hasta 75 km/h.
- Sistema de auto estabilización frente a condiciones meteorológicas de vientos de hasta 50 km/h.

FIGURA 2.7 DRON PHANTOM 4 PRO CON CONTROL REMOTO Y TABLET



ELABORACIÓN: (Costales, 2018).

2.1.2.2 Usos y aplicaciones en ingeniería

A través de los años y con los avances tecnológicos las aplicaciones civiles de los UAV se han extendido hacia varios campos, siendo uno de estos el de la ingeniería. Algunas de estas aplicaciones son las siguientes:

- Inspección de infraestructuras como oleoductos, líneas de transmisión eléctrica, tuberías de conducción de agua para hidroeléctricas, entre otras obras civiles que puedan presentar un difícil acceso.
- Monitoreo de desastres naturales evitando poner en riesgo vidas humanas.
- Levantamiento de información para realizar cartografía y topografía. Con el uso de drones en esta área es posible minimizar los riesgos laborales, costos de equipos y tiempos de trabajo.
- Cálculos de superficies contaminadas en donde el contacto directo con el contaminante puede presentar un riesgo para la salud.
- Monitoreo de contaminación atmosférica con el uso de sensores ambientales integrados al UAV.
- Agricultura de precisión y control de plagas mediante el uso de cámaras multiespectrales con sensores de calor.
- Inspección de áreas quemadas y seguimiento de incendios forestales.
- Vigilancia de áreas protegidas y rastreo de especies sin afectar su entorno minimizando el impacto ambiental por actividades antropogénicas.
- Observación y monitoreo ambiental en zonas de contaminación química o nuclear a las cuales no pueden acceder personas.
- Cálculos de volumen de escombros, residuos orgánicos, chatarra, y materiales reciclables para lograr el máximo aprovechamiento de los mismos.
- Vigilancia de rellenos sanitarios para obtener información en un menor tiempo de su capacidad remanente, presencia de vectores y cálculo de volumen de residuos dispuestos.

2.1.2.3 Normativa ecuatoriana para el uso de UAV

En septiembre del 2015 la Dirección General de Aviación Civil (DAC) al evidenciar que el uso de drones en el país ha incrementado notablemente en los últimos años, emitió la Resolución No.251. En esta resolución se establecen algunas disposiciones para la

operación de los Sistemas de Aeronaves no Tripuladas en el Ecuador (DAC, 2015). Estas disposiciones son:

- Mantener el vuelo del UAV a una distancia igual o mayor a 9 kilómetros de espacios aéreos controlados.
- La altura de vuelo no puede ser mayor a 122 metros sobre el terreno.
- Horario de operación únicamente entre la salida y la puesta de sol, y siempre y cuando las condiciones meteorológicas sean óptimas para mantener contacto visual permanente con el UAV.
- La persona encargada de operar los controles es la responsable de la operación general del UAV durante todo el vuelo.
- Se prohíbe la operación de un UAV a personas que se encuentren fatigadas o bajos los efectos de consumo de bebidas alcohólicas o cualquier droga.
- Los vuelos automáticos se pueden realizar siempre y cuando el operador pueda tomar el control del UAV en cualquier momento de manera inmediata.
- El operador es responsable de cumplir con las limitaciones operacionales establecidas por el fabricante del UAV.
- Se debe contar con una póliza de seguro de daños a terceros que puedan ser causados durante actividades de vuelo. Los montos mínimos establecidos para la póliza se detallan en el Artículo 8 de esta Resolución.
- El operador debe cumplir con los reglamentos y leyes locales que puedan aplicarse.

En el 2017 la DAC planteó la elaboración de un “Proyecto de Ley para la Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPA) o Drones”, que servirá para profundizar el control, el conocimiento y las aplicaciones de estas aeronaves a nivel nacional. Este proyecto aún se encuentra en etapa de desarrollo.

2.1.3 PUNTOS DE CONTROL TERRESTRE

En los trabajos de ingeniería realizados con UAV se necesita obtener resultados con la mayor precisión posible, para esto es necesario colocar sobre el terreno puntos de control que permitan georreferenciar las zonas de estudio. Estos puntos de control se obtienen a partir de la implementación de tecnología de posicionamiento por satélites

con equipos GNSS (Global Navigation Satelital System) los cuales logran una precisión centimétrica en sus tres ejes X, Y, Z (López, 2014). Estos puntos deben ser marcados sobre el terreno de tal manera que sean claramente identificables en las fotografías que tomará el UAV durante el levantamiento de información.

2.1.4 PROGRAMAS PARA PROCESAMIENTO DE FOTOGRAMETRÍA CON UAV

Existen varios programas de fotogrametría disponibles en el mercado cuya aplicación varía en función del resultado que se desea obtener. A pesar de que cada programa cuente con atributos diferentes todos siguen un flujo de trabajo similar para el procesamiento de la información (Rossi et al., 2012). Entre estos programas utilizados para el procesamiento de fotogrametría se encuentran Agisoft PhotoScan y Pix4D, programas licenciados pero que permiten al usuario evaluar cada uno de sus atributos durante un periodo de prueba determinado.

2.1.4.1 Pix4D

Este programa fue desarrollado en 2011 bajo la principal función de crear modelos y mapas digitales en 2D y 3D georreferenciados y de alta precisión a partir de imágenes de drones. Entre algunos de los productos que puede entregar este programa, se detallan en su página web los siguientes (Pix4D, 2018):

- Nube de puntos 3D: reconstrucción digital geolocalizada de manera precisa en todos los puntos de interés.
- Modelos digitales de superficie y terreno: valores de elevación de cada píxel que permiten trabajar posteriormente con herramientas SIG.
- Ortomosaicos: mapas digitales de alta resolución georreferenciados a partir de las imágenes procesadas.

Puntos de control en tierra (GCP): permite ingresar coordenadas de puntos de control para aumentar la precisión de los trabajos realizados.

- Cálculos de volumen: es posible realizar cálculos de volumen precisos a partir de una representación gráfica perfecta de las zonas de interés, además es posible ajustar la altura de la superficie base antes de realizar el cálculo.
- Líneas de contorno: representación de la topografía del terreno que muestran cada curva de nivel con contornos cerrados y permite exportar las mismas en

formatos compatibles con programas de diseño asistido por computadora o sistemas de información geográfica.

- Cálculo de áreas: permite realizar medidas de superficies de cualquier tipo con coordenadas precisas de cada uno de los vértices de las zonas de interés.
- Modelos 3D: creación de mallas texturizadas con texturas fotorrealistas del objeto de interés.
- Mapas de reflectancia: evalúa la reflectancia basándose en el píxel de imágenes multiespectrales.
- Mapas de índices de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para evaluar el desarrollo de vegetación en función de la intensidad de radiación que esta emite o refleja.
- Termografía: genera mapas de radiación electromagnética con valores de temperatura precisos en cada píxel.

El programa cuenta con una licencia de alquiler de pago mensual o anual, con un costo actual de \$3 500 anuales. Sin embargo, el programa ofrece un periodo de prueba gratuito de 15 días para de esta manera permitir que el usuario pueda evaluar cada uno de los atributos que este ofrece (Pix4D, 2018).

2.1.4.2 Agisoft PhotoScan

Este programa fue lanzado al mercado en 2010 para realizar el procesamiento de imágenes digitales y la generación de datos espaciales en 3D para su uso e implementación en Sistemas de Información Geográfica (SIG) y permitir realizar mediciones indirectas de objetos de diferentes escalas. De acuerdo a la información proporcionada en su página web este programa permite generar los siguientes resultados de procesamiento (Agisoft, 2018).

- Clasificación de nube de puntos para lograr una reconstrucción geométrica de alta precisión.
- Modelos digitales de terreno y modelos digitales de superficie georreferenciados a partir de la información de las imágenes procesadas.
- Importación de coordenadas de puntos de control en tierra (GCP) para lograr levantamientos de alta precisión.

- Exportación de ortomosaico en formatos compatibles con SIG.
- Medición de distancias, áreas y volúmenes gracias a herramientas integradas que permiten realizar análisis métrico de alta precisión y transferir estos datos a varios formatos de exportación compatibles con programas de diseño asistido por computadora.
- Procesamiento de imágenes multiespectrales y térmicas para generar índices de vegetación (NDVI).
- Generación de modelos 3D de edificaciones, interiores, personas, sitios arqueológicos, etc.

Este programa de igual manera cuenta con una licencia permanente de uso pagada cuyo valor a la fecha es de \$3 499. También cuenta con un periodo de prueba de 30 días para que los usuarios puedan evaluar sus características (Agisoft, 2018).

2.2 ESTADO DEL ARTE

El uso civil de los UAV ha incrementado notablemente en la última década. Gracias a los avances tecnológicos y los diferentes accesorios que se pueden colocar en estos equipos, se ha logrado implementar su uso en diferentes áreas del campo de la ingeniería ambiental.

2.2.1 USO DE UAV EN CHINA PARA CONTROL DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

En marzo de 2014 China inició la implementación de drones con cámaras infrarrojas y termográficas para monitorear las emisiones ilegales de gases de efecto invernadero a la atmósfera de industrias como mineras de carbón, fábricas de acero y plantas de cemento. El UAV utilizado para esta tarea es capaz de cubrir 70 kilómetros cuadrados en un tiempo de dos horas y gracias al sistema integrado de cámaras especializadas es capaz de detectar el color del humo negro, morado y marrón para determinar que la industria está superando los límites de emisión (MEP, 2014). Con la implementación de esta tecnología se logra identificar casos puntuales de contaminación de una manera más eficiente disminuyendo los tiempos de respuesta de las entidades de control.

2.2.2 UAV PARA EL MANEJO DE DESECHOS

En agosto de 2017 en Veracruz – México se desarrolló un proyecto de clasificación y cuantificación de residuos plásticos en las playas de esta ciudad mediante el uso de drones y la ayuda de un programa especializado para escaneo de imágenes. El proceso consiste en realizar un sobrevuelo por las orillas de las playas realizando capturas de imágenes con el UAV, estas imágenes son procesadas y se identifica y cuantifica el residuo PET en la zona evaluada. Esto se logra con la ayuda del programa *Matlab*, en el cual los investigadores desarrollan algoritmos para lograr la identificación automática de estos desechos (CONACYT, 2017). La combinación de estas tecnologías permite disminuir el tiempo de identificación de residuos y el riesgo a la salud de las personas que realizan esta actividad de forma manual.

2.2.3 USO DE UAV EN EL ECUADOR

A nivel nacional el uso de drones aún no es una herramienta que se ha desarrollado a su máximo potencial. Si bien su implementación se ha dado a nivel periodístico, publicitario y para realizar fotogrametría de alta precisión por parte de empresas públicas y privadas, los productos que se pueden obtener de esta tecnología son aún limitados.

El mayor uso de drones se da principalmente por parte de empresas privadas para realizar trabajos de ingeniería como obtención de planos, mapeo o levantamientos topográficos, pero entidades públicas como el ECU 911 y el Instituto Geofísico también han puesto en práctica esta tecnología para el desarrollo de sus competencias. En el 2016 el Servicio Integrado de Seguridad ECU 911 inició la operación de vehículos aéreos no tripulados para labores de rescate, control de incendios forestales y otras actividades de vigilancia. Por otro lado el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional en los últimos años ha ido incrementando el uso de estos equipos para realizar monitoreo de volcanes, glaciares, modelos digitales de elevaciones para elaboración de mapas de zonas de riesgo, y en general obtener imágenes actualizadas de los cambios morfológicos que se pueden dar en diferentes zonas de estudio (Dávila, 2018).

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

3.1 ESTUDIO PRELIMINAR

Se realizó una identificación de las zonas de estudio en Google Earth y una visita previa para poder identificar factores que debían ser tomados en cuenta antes de realizar el vuelo con el UAV como son los siguientes:

- Vías de acceso a las zonas de estudio.
- Verificar líneas de transmisión y cables de alta tensión que puedan interferir durante el vuelo.
- Estimar el área a ser levantada.
- Identificar las posibles ubicaciones de los puntos de control sobre el terreno.
- Tipo de superficie de cada zona de estudio.

Las zonas de estudio que fueron consideradas para realizar el presente proyecto son:

- Cantera ubicada en el sector de Las Viñas, en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua.
- Área de terrenos ubicados en la Quinta Santa Rosa Amelia, en el cantón Riobamba, provincia de Chimborazo.

3.1.1 IDENTIFICACIÓN Y VISITA A ZONAS DE ESTUDIO

3.1.1.1 Cantera sector Las Viñas

La imagen satelital de Google Earth permitió identificar la zona de explotación en la montaña para tener una idea general del área de vuelo que debía cubrir el dron.

Durante la visita fue posible determinar la ubicación óptima de los puntos de control que debían ser colocados previos al vuelo, estos puntos fueron utilizados posteriormente para la georreferenciación de la zona. Adicionalmente se observó la altura de la montaña y la densidad de vegetación para establecer un punto de partida del UAV en donde no existan obstáculos que interfieran con el despegue y aterrizaje del mismo.

Se tomó la cantera en Las Viñas como zona de estudio para realizar el cálculo del volumen de la montaña que está siendo explotada.

FIGURA 3.1 IMAGEN SATELITAL DE LA CANTERA UBICADA EN EL SECTOR DE LAS VIÑAS



FUENTE: (Google Earth, 2018).

3.1.1.2 Terrenos Quinta Santa Rosa Amelia

Los terrenos que fueron utilizados como zona de estudio para este proyecto son propiedad de los hermanos Costales – Ruiz, y durante la visita fue necesaria la presencia de uno de los propietarios para realizar la correcta delimitación de los mismos. Para la delimitación se pintaron de color rojo cada uno de los linderos indicados por el propietario, obteniendo como resultado un total de siete terrenos con sus límites correspondientes. Al igual que en la cantera se determinó la ubicación de los puntos de control y el punto de despegue óptimo para el UAV, en donde no exista cableado eléctrico ni vegetación arbustiva.

La imagen satelital de igual manera permitió tener una idea referencial de la superficie que debía ser levantada.

Los terrenos de la Quinta Santa Rosa Amelia fueron considerados como zona de estudio para realizar el cálculo de áreas de los mismos.

FIGURA 3.2 IMAGEN SATELITAL DE TERRENOS UBICADOS EN LA QUINTA SANTA ROSA AMELIA



FUENTE: (Google Earth, 2018).

3.2 TRABAJO DE CAMPO

3.2.1 EQUIPOS

Para el desarrollo de la fase de campo del proyecto los equipos necesarios fueron los siguientes:

- Sistema GNSS SOKKIA GRX1 (base y móvil)
- Triángulos reflectores
- UAV de bajo costo Phantom 4 Pro
- Computadora portátil (tablet)

3.2.2 PUNTOS DE CONTROL

La medición de puntos de control se realizó mediante el método estático con un receptor GNSS marca SOKKIA GRX1. El método estático consiste en ubicar uno de los

receptores en un punto de coordenadas conocidas (base), este debe estar encendido durante todo el tiempo de la toma de datos y se utilizará como referencia, mientras el otro receptor (móvil) es colocado en los puntos de control establecidos en la zona de estudio, de tal manera que ambos receptores registran datos de manera simultánea. Cabe mencionar que mientras exista mayor distancia entre el receptor base y el móvil, mayor será el tiempo que debe permanecer encendido el receptor móvil en cada punto de control, además el tiempo de recepción en el primer punto de interés siempre será mayor que en el resto de puntos (Aliendre, 2017).

FIGURA 3.3 RECEPTOR GNSS SOKKIA GRX1



ELABORACIÓN: (Costales, 2018).

Los puntos de coordenadas conocidas en donde se ubicó al receptor base fueron determinados utilizando Monografías de Punto de Control Geodésico del Instituto Geográfico Militar (IGM). A continuación, se detallan las coordenadas de la monografía de punto de control utilizada para cada zona de estudio, y en el Anexo 1 se encuentra la información completa de las mismas:

TABLA 3.1 COORDENADAS DE MONOGRAFÍAS DE PUNTOS DE CONTROL GEODÉSICO IGM

Localización	Coordenadas UTM WGS84 - 17S		Altura Elipsoidal (m)	Código
	Este	Norte		
Cementerio de la parroquia Izamba, en el cantón Ambato	768604.673	9864096.542	2581.345	PCA
Hacienda Pantaño en la parroquia Licto, cantón Chambo	764850.050	9809669.056	2608.782	PCR

ELABORACIÓN: (Costales, 2018)

FIGURA 3.4 TOMA DE PUNTO DE CONTROL IGM, CEMENTERIO DE IZAMBA



ELABORACIÓN: (Costales, 2018).

FIGURA 3.5 UBICACIÓN PUNTO DE CONTROL IGM, CEMENTERIO DE IZAMBA (PCA)



FUENTE: (Google Earth, 2018).

FIGURA 3.6 TOMA DE PUNTO DE CONTROL IGM, HACIENDA PANTAÑO



ELABORACIÓN: (Costales, 2018).

FIGURA 3.7 UBICACIÓN PUNTO DE CONTROL IGM, HACIENDA PANTAÑO (PCR)



FUENTE: (Google Earth, 2018).

Los puntos de control tomados con el receptor móvil fueron distribuidos de una manera uniforme en cada zona de estudio, para de esta manera tener mayor precisión en el proceso de georreferenciación y un ajuste adecuado del ortomosaico generado.

3.2.2.1 Puntos de control cantera

Se colocaron dos puntos de control para este proyecto debido a que el área de estudio corresponde a una cantera privada de acceso restringido con pendientes pronunciadas en los alrededores. Para minimizar el riesgo de accidentes se colocó un punto en la parte más alta a la que se tuvo acceso a pie y otro en la parte baja, ambos ubicados en los exteriores de la cantera. Los puntos se encuentran ubicados al sur-occidente ya que la cantera se encuentra rodeada en su mayoría por una vía angosta de circulación constante de vehículos de carga pesada lo que imposibilitó la colocación de un punto en ese sector (Figura 3.8).

Los puntos de control fueron colocados dentro de un radio menor a dos kilómetros del receptor base ubicado en el cementerio de Izamba (PCA). El tiempo de toma de datos del receptor móvil en el punto uno en la parte baja (PAMB1) fue de una hora, mientras

que para el puntos dos en la parte alta (PAMB2) el tiempo de recepción fue de cuarenta minutos.

FIGURA 3.8 UBICACIÓN REFERENCIAL DE LOS PUNTOS DE CONTROL EN LA CANTERA



FUENTE: (Google Earth, 2018).

Los puntos fueron representados en el terreno utilizando triángulos reflectores y cinta adhesiva blanca para que puedan ser visibles en las fotografías aéreas como se observa en la Figura 3.9.

FIGURA 3.9 PUNTOS DE CONTROL CANTERA

ELABORACIÓN: (Costales, 2018).

3.2.2.2 Puntos de control terrenos

En los terrenos se colocaron tres puntos de control debido a que esta zona fue de fácil acceso y se logró hacer un recorrido completo de la misma a pie. La distancia entre los puntos y el receptor base se mantuvo dentro de un radio de dos kilómetros y los puntos fueron colocados en la parte alta (PRIO1), media (PRIO2) y baja (PRIO3) del terreno para tener una mayor precisión de ajuste (Figura 3.10). El tiempo de recepción para el punto PRIO1 fue de una hora, para el punto PRIO2 cuarenta minutos y para el punto PRIO3 treinta minutos.

FIGURA 3.10 UBICACIÓN REFERENCIAL DE LOS PUNTOS DE CONTROL EN LOS TERRENOS



FUENTE: (Google Earth, 2018).

Los puntos fueron representados en el terreno de la misma forma que los de la cantera (Figura 3.11).

FIGURA 3.11 PUNTOS DE CONTROL TERRENOS



ELABORACIÓN: (Costales, 2018).

3.2.3 PLAN DE VUELO

Una vez que los puntos de control fueron establecidos en cada zona de estudio se procedió con la elaboración del plan de vuelo. Para la elaboración del mismo se utilizó la aplicación para dispositivos móviles Maps Made Easy, instalada previamente en una tablet. Esta aplicación cuenta con una vista satelital que permitió la delimitación exacta del vuelo sobre cada zona de estudio.

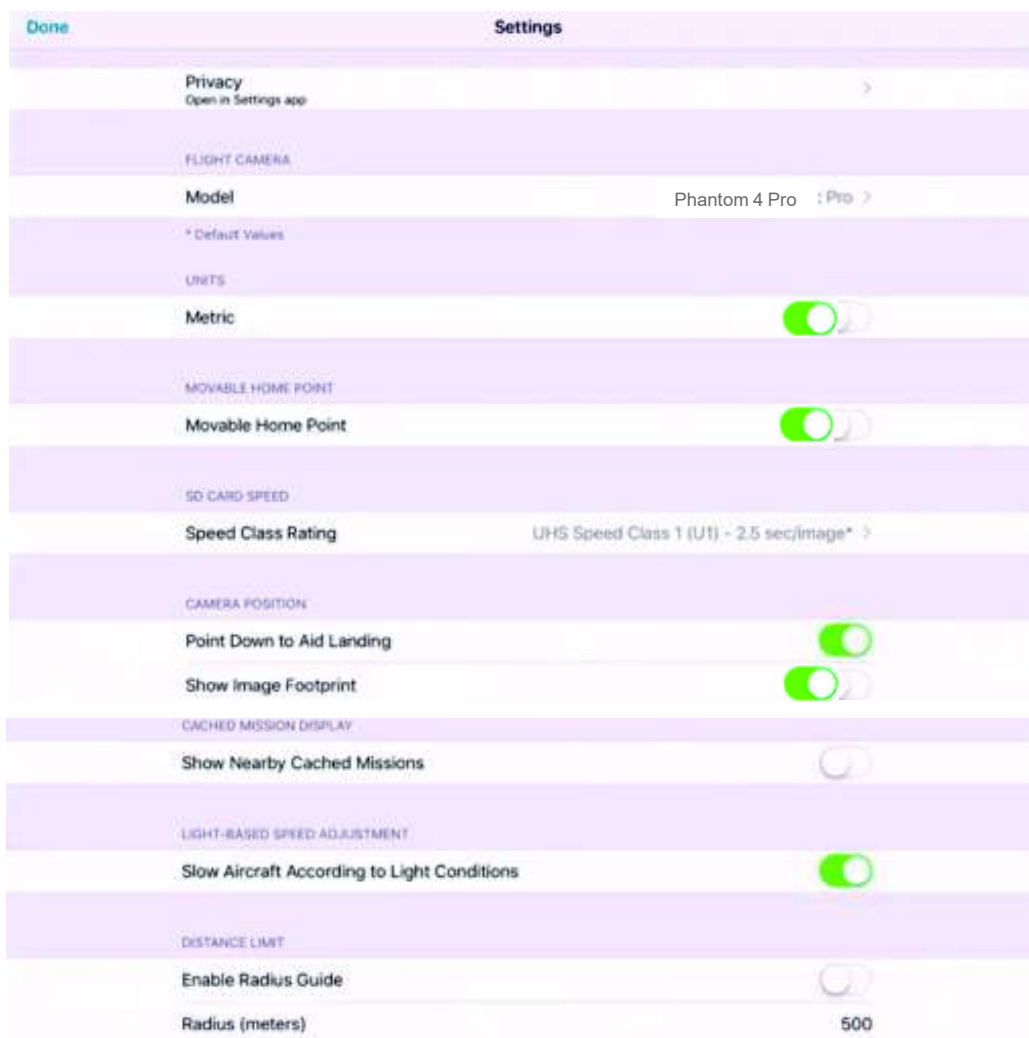
La pantalla inicial de Maps Made Easy muestra cuatro opciones que son crear una nueva misión, revisar misiones grabadas anteriormente, un manual de usuario y la opción de ajustar las configuraciones de la aplicación previo a un vuelo (Figura 3.12).

FIGURA 3.12 PANTALLA DE INICIO APLICACIÓN MÓVIL MAPS MADE EASY



FUENTE: Aplicación para dispositivo móvil (Maps Made Easy, 2018)

Algunos de los parámetros que la aplicación permite modificar en las configuraciones generales son las unidades en las que se va a trabajar, si se desea establecer un punto de origen del dron fijo o móvil, si la marca de fotografías tomadas debe estar visible durante el vuelo, establecer un radio máximo de vuelo, entre otras.

FIGURA 3.13 PANEL DE CONFIGURACIONES GENERALES DE MAPS MADE EASY

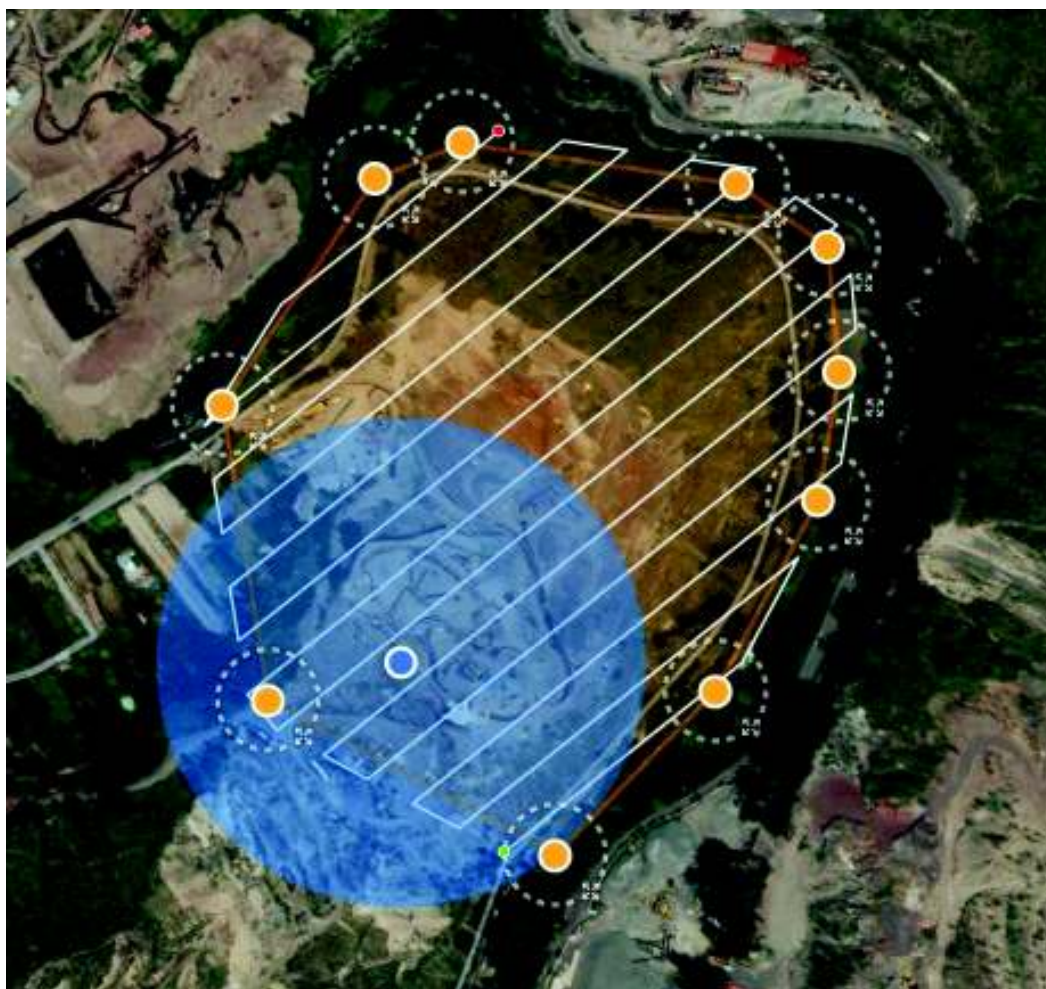
FUENTE: Aplicación para dispositivo móvil (Maps Made Easy, 2018)

Una vez definidas las configuraciones generales de vuelo se procedió a elaborar los planes de vuelo para cada zona de estudio seleccionando la opción *Create New Mission*.

3.2.3.1 Plan de vuelo cantera

El punto de despegue del UAV se estableció en el punto más alto de la montaña al que se tenía acceso a pie, y una vez determinado este se elaboró el plan de vuelo delimitando la zona con la ayuda de la vista satelital de la aplicación móvil. El área de vuelo delimitada fue de 14.53 hectáreas, abarcando dentro de esta una parte de los terrenos aledaños a la zona de estudio para de esta manera lograr una cobertura completa de los bordes inferiores de la montaña.

FIGURA 3.14 ÁREA DE VUELO CANTERA



FUENTE: Aplicación para dispositivo móvil (Maps Made Easy, 2018)

En la FIGURA 3.14 el punto de color azul indica el posicionamiento de despegue del UAV el cual es guardado automáticamente por la aplicación para realizar el aterrizaje en el mismo lugar, el polígono de color amarillo encierra el límite del área de cobertura del vuelo, los puntos de color verde y rojo señalan el inicio y el final de la ruta respectivamente, y la línea de color blanco marca el recorrido del vuelo.

La altura de vuelo y el traslape de las fotografías son los parámetros adicionales que se deben definir en el plan. En este caso la altura de vuelo establecida fue de 75 metros y el traslape seleccionado, tanto longitudinal como transversal, fue de 75%. Adicionalmente se estableció una velocidad de vuelo máxima de 5.3 m/s por motivos de seguridad del UAV en el caso de que se pudieran dar cambios bruscos en la velocidad del viento.

Una vez establecidos estos parámetros la aplicación determinó de manera automática la duración del vuelo, el número de baterías necesarias, el número de fotografías que serán tomadas y el tamaño del pixel, como se indica en la FIGURA 3.15.

FIGURA 3.15 PARÁMETROS DE VUELO CANTERA



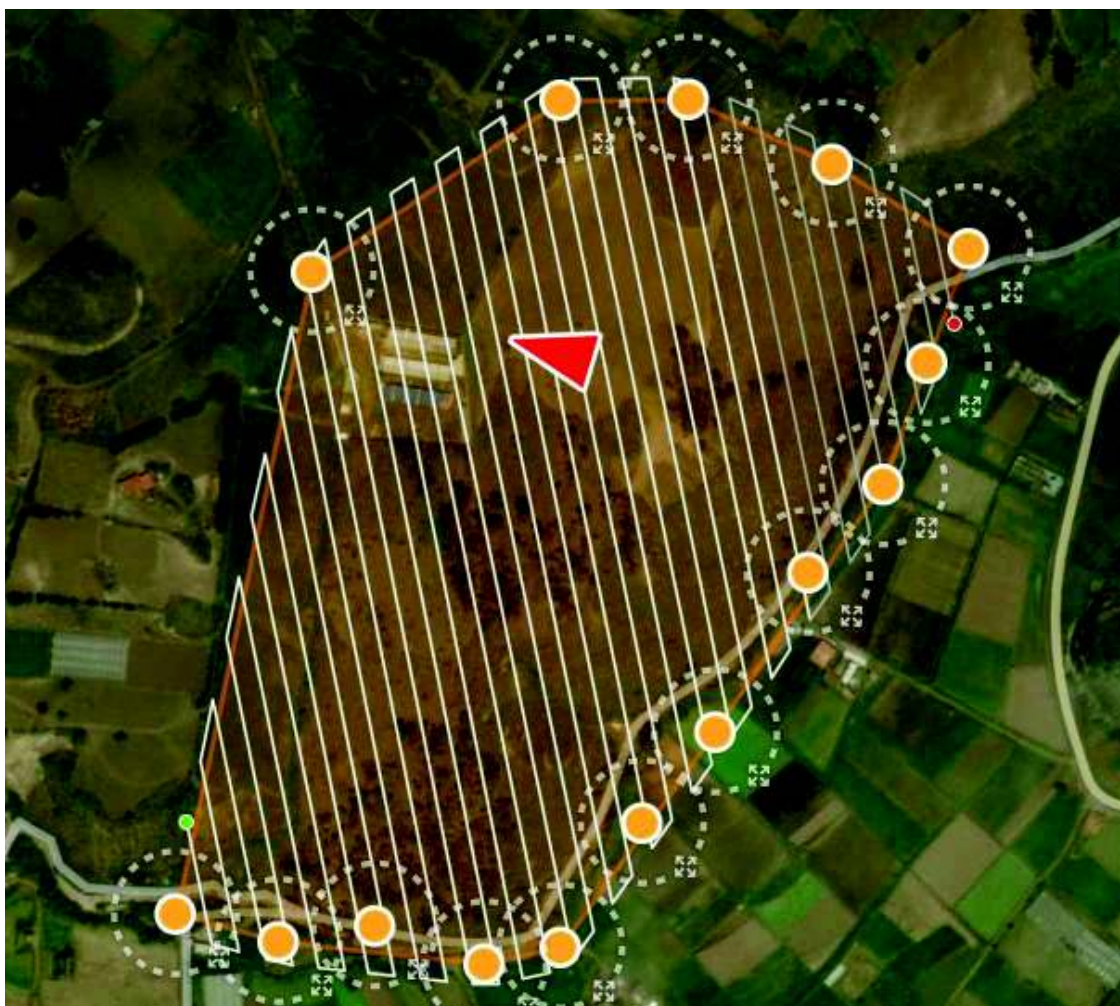
FUENTE: Aplicación para dispositivo móvil (Maps Made Easy, 2018)

Finalizada la determinación de los parámetros de la misión esta fue cargada y el UAV de manera automática realizó el plan de vuelo establecido.

3.2.3.2 Plan de vuelo terrenos

En el plan de vuelo de los terrenos el punto de despegue del UAV se estableció en la parte alta de los mismos para evitar que los árboles o el cableado eléctrico interfieran durante el vuelo (Figura 3.16).

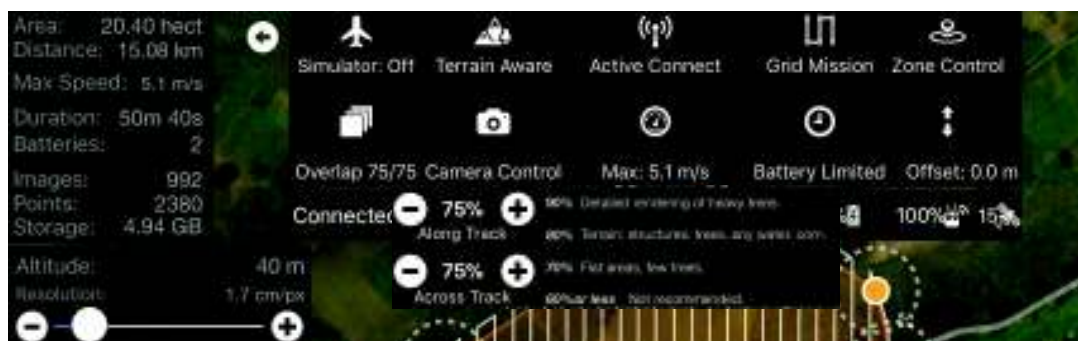
La zona de estudio delimitada corresponde a una superficie de 20.42 hectáreas, cubriendo de esta manera todos los linderos identificados en campo y una fracción adicional en la ladera de la montaña. Esta fracción fue considerada dentro del vuelo con el objetivo de posteriormente generar curvas de nivel en toda esta área.

FIGURA 3.16 PLAN DE VUELO TERRENOS

FUENTE: Aplicación para dispositivo móvil (Maps Made Easy, 2018)

Los parámetros previos establecidos en la aplicación fueron altura de vuelo 40 metros, traslape de fotografías 75% y velocidad máxima de vuelo 5.1 m/s. Para este caso de estudio se consideró una altura de vuelo menor debido a que se buscaba tener una mejor visibilidad de los linderos señalados en campo.

Los parámetros generados automáticamente por la aplicación se detallan en la FIGURA 3.17. Posterior a la configuración de los parámetros de la misión se procedió con el vuelo del UAV.

FIGURA 3.17 PARÁMETROS DE VUELO TERRENOS

FUENTE: Aplicación para dispositivo móvil (Maps Made Easy, 2018)

3.3 TRABAJO DE GABINETE

El procesamiento de las imágenes tomadas con el Phantom 4 Pro se lo realizó con las versiones de prueba de los programas Pix4D y Agisoft PhotoScan.

La estación de trabajo con la que se realizó el procesamiento presenta las especificaciones técnicas de procesador, memoria y tarjeta gráfica de la FIGURA 3.18.

FIGURA 3.18 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ESTACIÓN DE TRABAJO

[Ver información básica acerca del equipo](#)

Edición de Windows

Windows 10 Pro

© 2017 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

Sistema

Procesador: Intel(R) Core(TM) i7-7700 CPU @ 3.60GHz 3.60 GHz

Memoria instalada (RAM): 16,0 GB

Tipo de sistema: Sistema operativo de 64 bits, procesador x64

Lápiz y entrada táctil: La entrada táctil o manuscrita no está disponible para esta pantalla

Configuración de nombre, dominio y grupo de trabajo del equipo

Nombre del equipo: ACU-MG-DAVID

Nombre completo de equipo: ACU-MG-DAVID

Descripción del equipo:

Grupo de trabajo: WORKGROUP



Activación de Windows

Windows está activado [Lee los Términos de licencia del software de Microsoft](#)

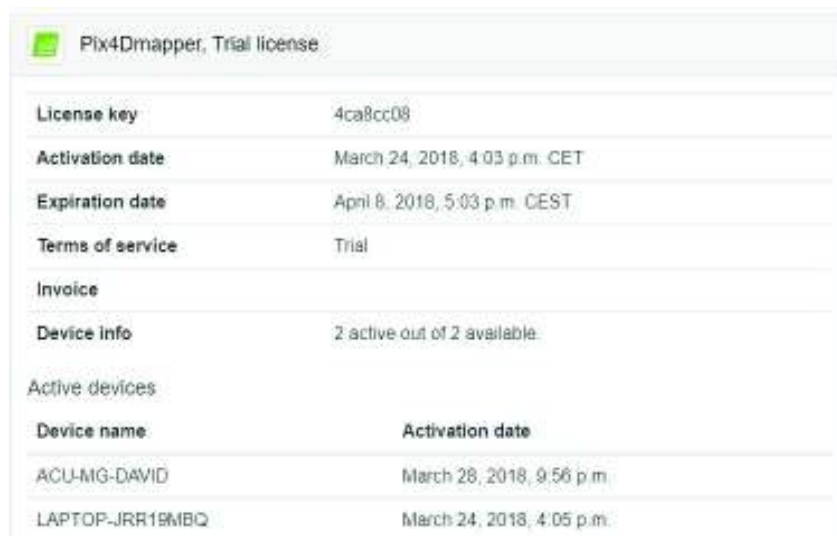
Id. del producto: 00330-70007-16121-AAOEM

FUENTE: (Windows, 2017)

3.3.1 PROCESAMIENTO CON PIX4D

Se procedió a instalar la versión de prueba de 15 días que otorga el programa para realizar el procesamiento de las imágenes de cada zona de estudio bajo los mismos parámetros.

FIGURA 3.19 LICENCIA DE PRUEBA PIX4D



Pix4Dmapper, Trial license	
License key	4ca8cc08
Activation date	March 24, 2018, 4:03 p.m. CET
Expiration date	April 8, 2018, 5:03 p.m. CEST
Terms of service	Trial
Invoice	
Device info	2 active out of 2 available
Active devices	
Device name	Activation date
ACU-MG-DAVID	March 28, 2018, 9:56 p.m.
LAPTOP-JRR19MBQ	March 24, 2018, 4:05 p.m.

FUENTE: (Pix4D, 2018)

3.3.1.1 Parámetros preliminares de procesamiento

El proceso en este programa inicia seleccionando en la pantalla principal “New Project”, esto abre una ventana en donde se establecen los parámetros preliminares de procesamiento. Primeramente se coloca el nombre del proyecto y la ubicación de la carpeta en donde se guardarán todos los productos generados. En este caso los nombres de los proyectos que se colocaron fueron “TESIS_AMBATO” para la zona de la cantera y “TESIS_RIOBAMBA” para la zona de los terrenos.

FIGURA 3.20 CREAR NUEVO PROYECTO EN PIX4D

New Project [Close]

This wizard creates a new project.
Choose a name, a directory location and a type for your new project.

Name:

Create In:

Use As Default Project Location

Project Type

New Project

Project Merged from Existing Projects

New Project [Close]

This wizard creates a new project.
Choose a name, a directory location and a type for your new project.

Name:

Create In:

FUENTE: (Pix4D, 2018)

Posteriormente se cargan las imágenes que serán procesadas. Para el caso de la cantera se obtuvieron un total de 222 imágenes y para los terrenos 997 imágenes.

FIGURA 3.21 SELECCIÓN DE IMÁGENES A PROCESAR EN PIX4D

New Project [Close]

Select Images

Enough images are selected: press Next to proceed.

222 image(s) selected.

C:/Personas/Gabriel/Tesis/Fotos dron/AMBATO/DJI_0001.JPG
 C:/Personas/Gabriel/Tesis/Fotos dron/AMBATO/DJI_0002.JPG
 C:/Personas/Gabriel/Tesis/Fotos dron/AMBATO/DJI_0003.JPG
 C:/Personas/Gabriel/Tesis/Fotos dron/AMBATO/DJI_0004.JPG
 C:/Personas/Gabriel/Tesis/Fotos dron/AMBATO/DJI_0005.JPG
 C:/Personas/Gabriel/Tesis/Fotos dron/AMBATO/DJI_0006.JPG

New Project [Close]

Select Images

Enough images are selected: press Next to proceed.

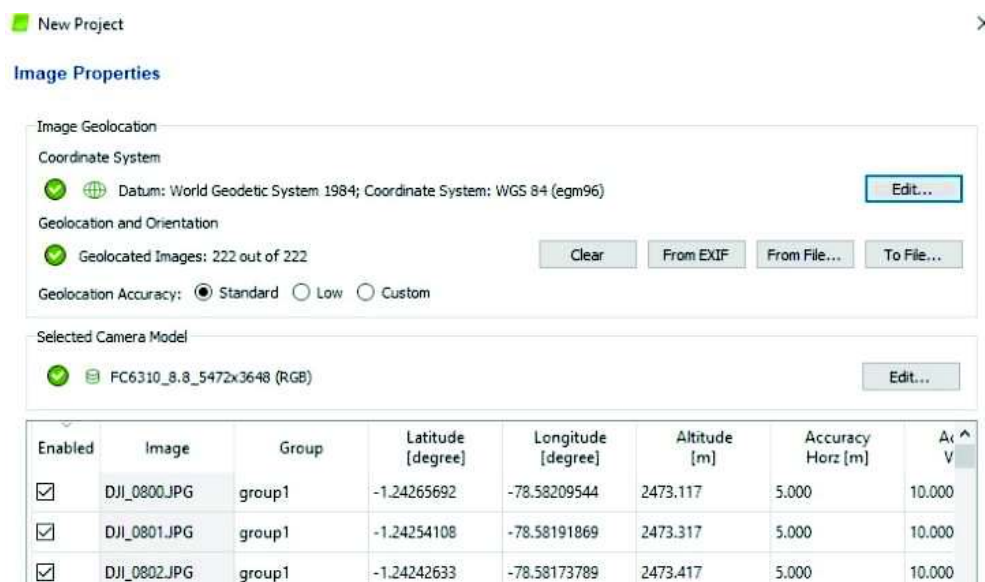
997 image(s) selected.

C:/Users/User/Desktop/Dron G.Costales/Tesis/RIOBAMBA/FOTOS/DJI_0001.JPG
 C:/Users/User/Desktop/Dron G.Costales/Tesis/RIOBAMBA/FOTOS/DJI_0002.JPG
 C:/Users/User/Desktop/Dron G.Costales/Tesis/RIOBAMBA/FOTOS/DJI_0003.JPG
 C:/Users/User/Desktop/Dron G.Costales/Tesis/RIOBAMBA/FOTOS/DJI_0004.JPG
 C:/Users/User/Desktop/Dron G.Costales/Tesis/RIOBAMBA/FOTOS/DJI_0005.JPG
 C:/Users/User/Desktop/Dron G.Costales/Tesis/RIOBAMBA/FOTOS/DJI_0006.JPG

FUENTE: (Pix4D, 2018)

El siguiente paso es la configuración de las propiedades de las imágenes a procesar, en donde se selecciona el sistema de coordenadas de las mismas, la precisión de la geolocalización y el modelo de la cámara. El programa detecta todos estos parámetros de manera automática, pero es necesario verificar que estos sean los correctos. Para las dos zonas de estudio estos parámetros fueron los mismos (Figura 3.22).

FIGURA 3.22 PROPIEDADES DE IMÁGENES A PROCESAR EN PIX4D



FUENTE: (Pix4D, 2018)

Además, el programa requiere que se especifique el sistema de coordenadas de salida del procesamiento. En este caso se seleccionó la unidad en metros y el sistema de coordenadas WGS 84 / UTM zona 17S, que de igual manera fue detectado automáticamente por el programa para los dos proyectos (Figura 3.23).

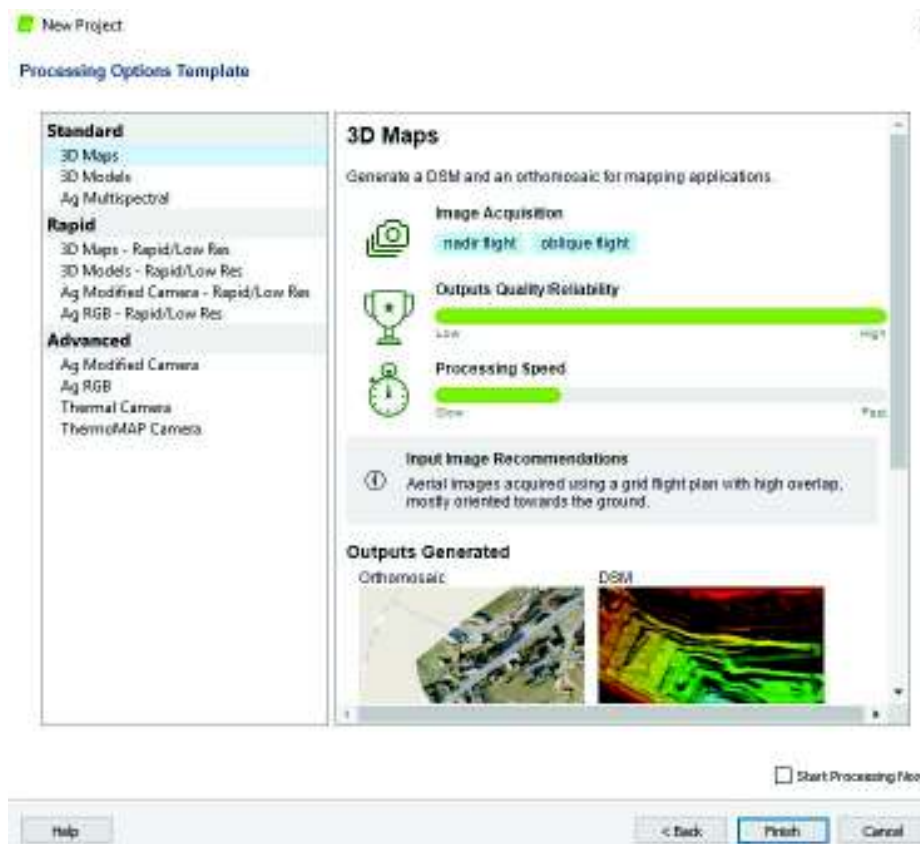
FIGURA 3.23 SELECCIÓN DE SISTEMA DE COORDENAS DE SALIDA EN PIX4D



FUENTE: (Pix4D, 2018)

La configuración de los parámetros preliminares termina con la plantilla de opciones de procesamiento, en donde se seleccionó un procesamiento estándar para generación de mapas en tres dimensiones (3D), tanto para la cantera como para los terrenos.

FIGURA 3.24 PLANTILLA DE OPCIONES DE PROCESAMIENTO EN PIX4D



FUENTE: (Pix4D, 2018)

Una vez establecidos los parámetros preliminares el programa nos dirige a la vista de mapa en donde se despliegan tres pasos de procesamiento:

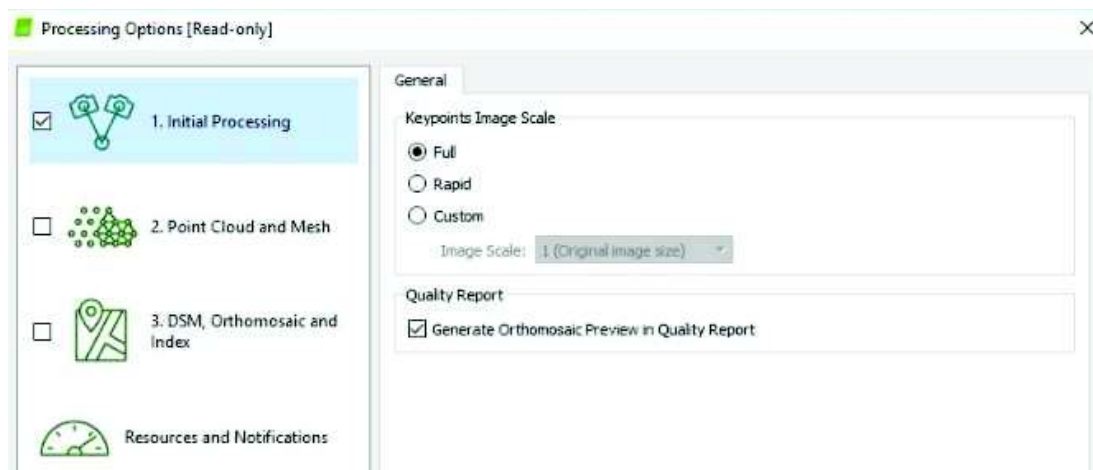
- *Paso 1:* Procesamiento inicial.
- *Paso 2:* Nube de puntos y malla.
- *Paso 3:* DSM, ortomosaico y clasificación.

Estos pasos fueron configurados de la misma manera para las dos zonas de estudio. En cada paso el programa generó un informe de calidad resumiendo el trabajo realizado en los mismos el cual se lo puede observar en el Anexo 2.

3.3.1.2 Procesamiento inicial

El procesamiento inicial es el paso donde se genera la nube de puntos dispersos. Para este estudio se seleccionó la escala completa de las imágenes ya que esta opción es la que genera resultados más precisos. A continuación, el programa brinda la opción de generar una vista previa del ortomosaico en el informe de calidad, que está basado en la nube de puntos dispersos creada (Figura 3.25).

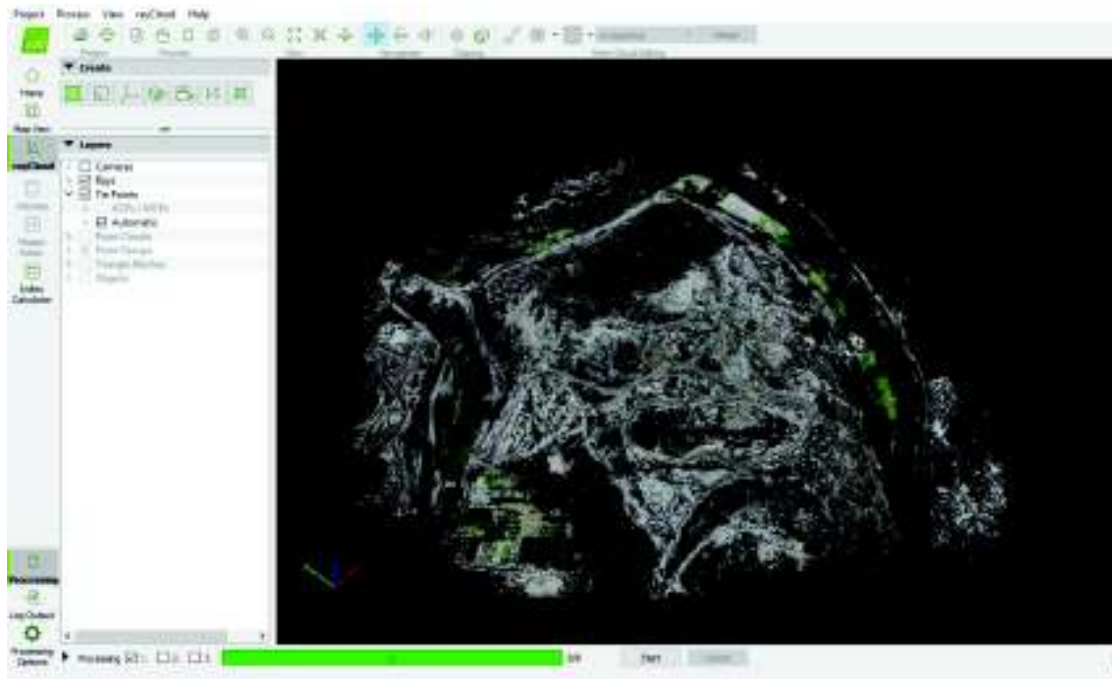
FIGURA 3.25 OPCIONES DE PROCESAMIENTO INICIAL EN PIX4D



FUENTE: (Pix4D, 2018)

Se inicia el procesamiento únicamente con la casilla del paso 1 marcada, ya que antes de realizar los pasos 2 y 3 es necesario ingresar los puntos de control que fueron tomados en campo para mejorar la georreferenciación y escalar los resultados del proceso.

FIGURA 3.26 VISTA DE NUBE DE PUNTOS DISPERSA DE LA CANTERA, CREADA EN PIX4D



FUENTE: (Pix4D, 2018)


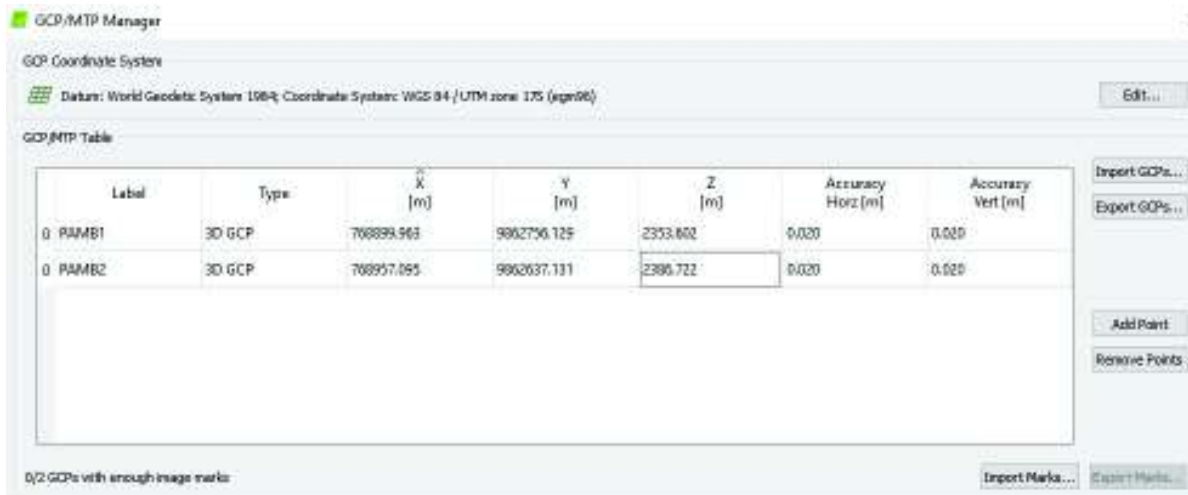
Los puntos de control se ingresan en el menú de *GCP/MTP Manager* (Ground Control Points/Manual Tie Points) ubicado en la barra de tareas con el ícono . En este menú se despliega una tabla en donde se selecciona el tipo de punto a ingresar y las coordenadas X Y Z de cada punto. En este caso para los dos proyectos el tipo de punto a ingresar fue *3D GCP*, ya que se contaba con las tres coordenadas en cada punto tomado en campo (Figura 3.27).

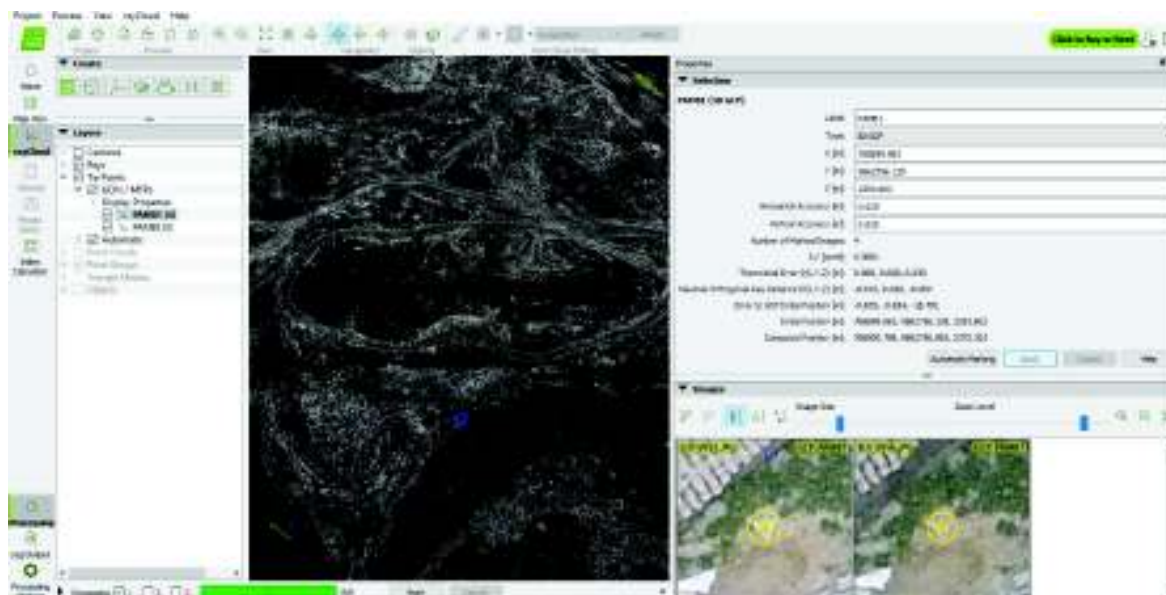
FIGURA 3.27 INGRESO DE COORDENADAS DE PUNTOS DE CONTROL PARA LA CANTERA EN PIX4D




FUENTE: (Pix4D, 2018)

Una vez ingresados los puntos se procede a la ubicación de los mismos en las imágenes donde se visualiza la marca de posición sobre el terreno. Para esto en el menú *Layers* seleccionamos los puntos y se despliega una ventana con las propiedades de cada punto. En esta ventana se deben marcar puntos de unión en al menos tres imágenes para que la corrección de posicionamiento sea efectiva. Se marcan los puntos de unión y seleccionamos *Apply* para que el punto sea posicionado en las demás imágenes de manera automática. Se realizó el mismo procedimiento para los dos puntos de control tomados en campo.

FIGURA 3.28 PUNTOS DE UNIÓN MARCADOS EN IMÁGENES DE LA CANTERA EN PIX4D

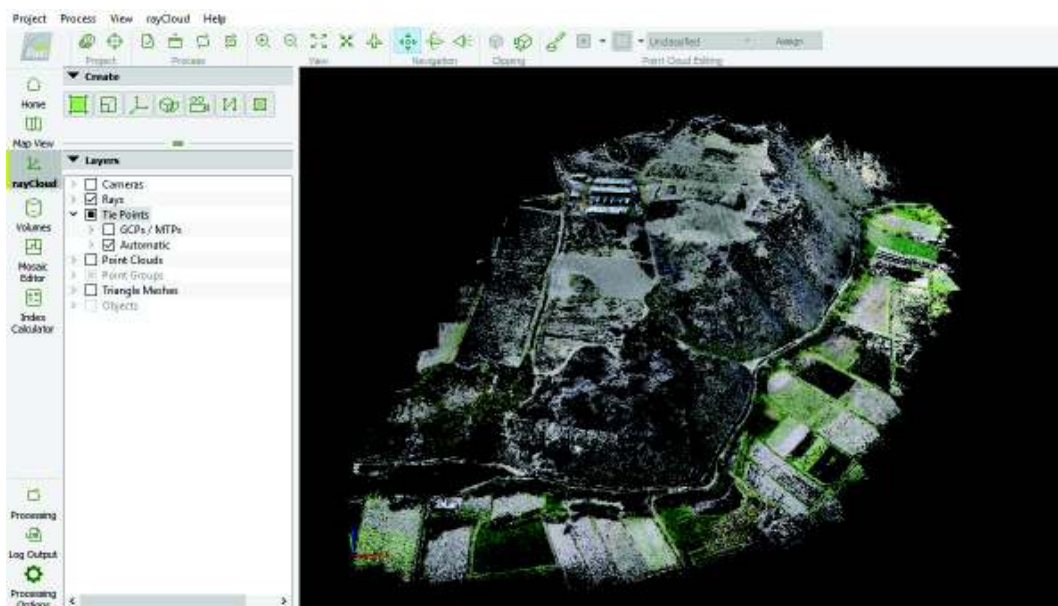


FUENTE: (Pix4D, 2018)

Al finalizar la aplicación de todos los puntos de unión seleccionamos *Reoptimize*, ícono  ubicado en la barra de menú. Esto corrige toda la nube de puntos del proyecto en función de las coordenadas X Y Z de los puntos de control.

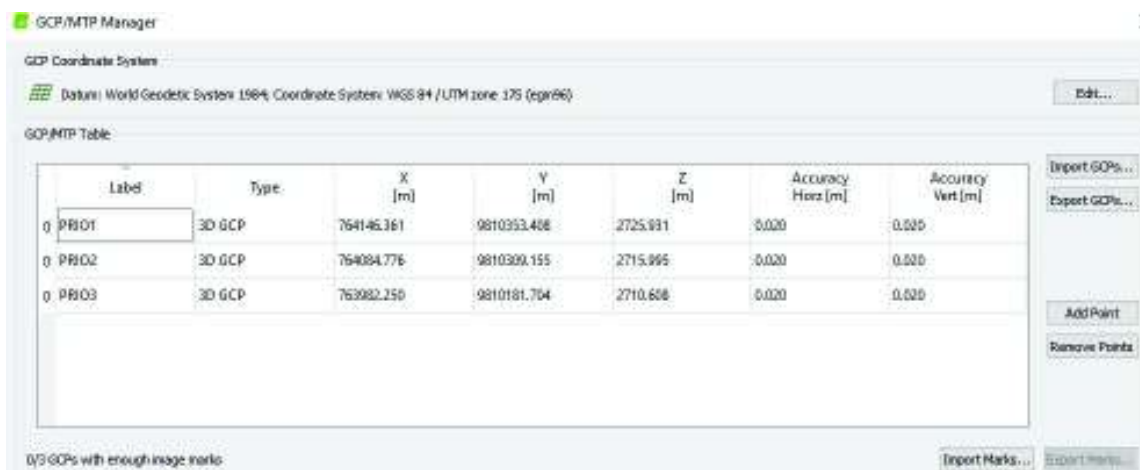
Se realizaron los mismos pasos para el Procesamiento Inicial del proyecto “TESIS_RIOBAMBA” correspondiente a los terrenos.

FIGURA 3.29 VISTA DE NUBE DE PUNTOS DISPERSA DE LOS TERRENOS, CREADA EN PIX4D



FUENTE: (Pix4D, 2018)

FIGURA 3.30 INGRESO DE COORDENADAS DE PUNTOS DE CONTROL PARA LOS TERRENOS EN PIX4D



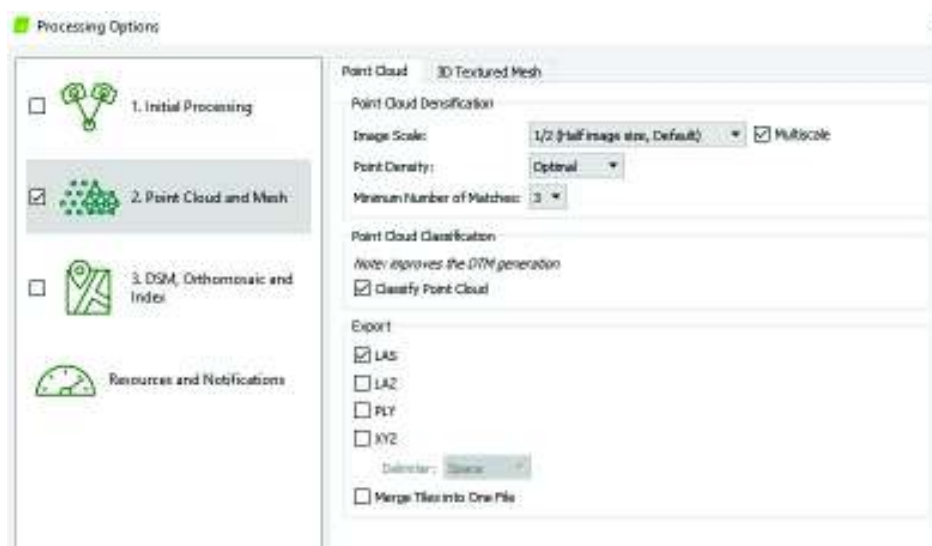
FUENTE: (Pix4D, 2018)

3.3.1.3 Nube de puntos y malla

En el segundo paso del procesamiento con este programa se incrementa la densidad de la nube de puntos dispersos creada en el procesamiento inicial. En la densificación de la nube de puntos se encuentran las opciones de escala de imagen, la densidad del punto y el número mínimo de coincidencias por punto 3D, mientras que en la opción de

exportación se define el tipo de archivo de la nube de puntos exportada. En estas dos secciones se mantuvieron las opciones predeterminadas por el programa, y adicionalmente se marcó la opción de clasificar la nube de puntos para de esta manera mejorar la generación del modelo digital del terreno (Figura 3.31).

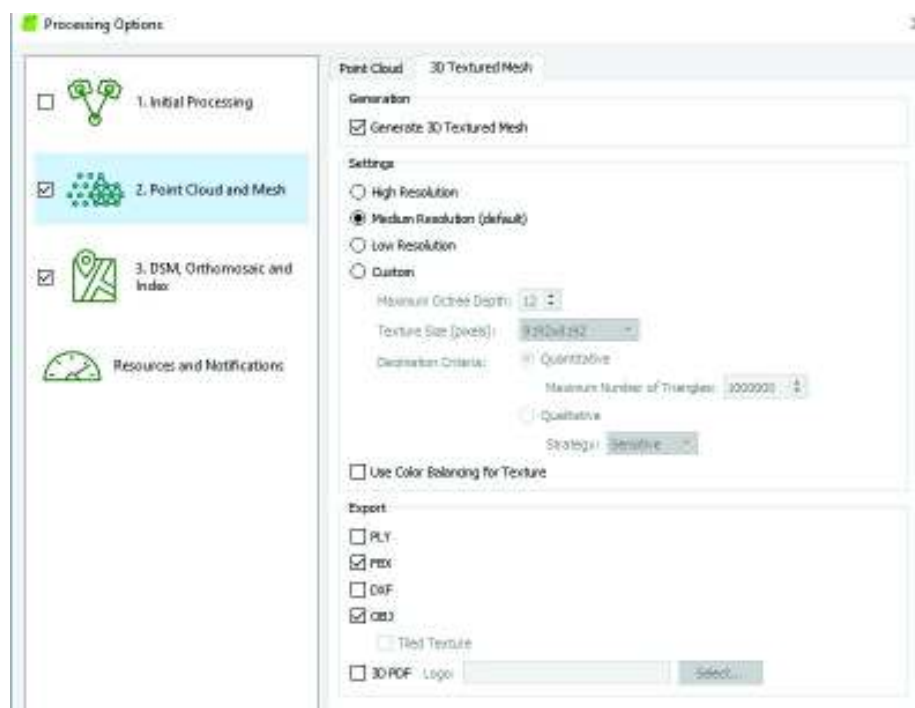
FIGURA 3.31 CONFIGURACIÓN PARA GENERAR NUBE DE PUNTOS EN PIX4D



FUENTE: (Pix4D, 2018)

La malla de textura sirve para tener una visualización más clara del proyecto en tres dimensiones, lo cual es muy útil al momento de realizar cálculos de áreas y volúmenes sobre el terreno. De igual manera para este procesamiento se mantuvieron las opciones predeterminadas por el programa (Figura 3.32).

FIGURA 3.32 CONFIGURACIÓN PARA GENERAR MALLA DE TEXTURA EN PIX4D



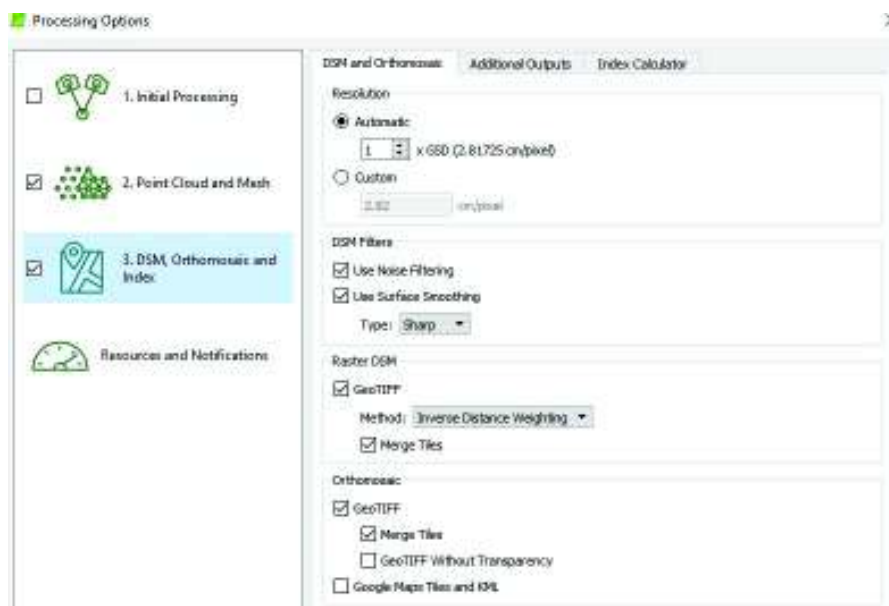
FUENTE: (Pix4D, 2018)

3.3.1.4 DSM y ortomosaico

El último paso del procesamiento es en donde se generan el modelo digital de superficie (DSM), el modelo digital de terreno (DTM), el ortomosaico y las curvas de nivel obtenidas a partir del DTM. En el primer panel se mantuvieron los parámetros predeterminados bajo los cuales se debía generar el DSM y el ortomosaico.

La resolución establecida por el programa para el proyecto de la cantera fue de 2.82 cm/pixel (Figura 3.33), y para los terrenos estableció una definición de 1.57 cm/pixel. Estas mismas definiciones serán utilizadas posteriormente para el procesamiento en Agisoft PhotoScan, para de esta manera poder realizar el análisis comparativo del tiempo de procesamiento y calidad de ortomosaicos generados.

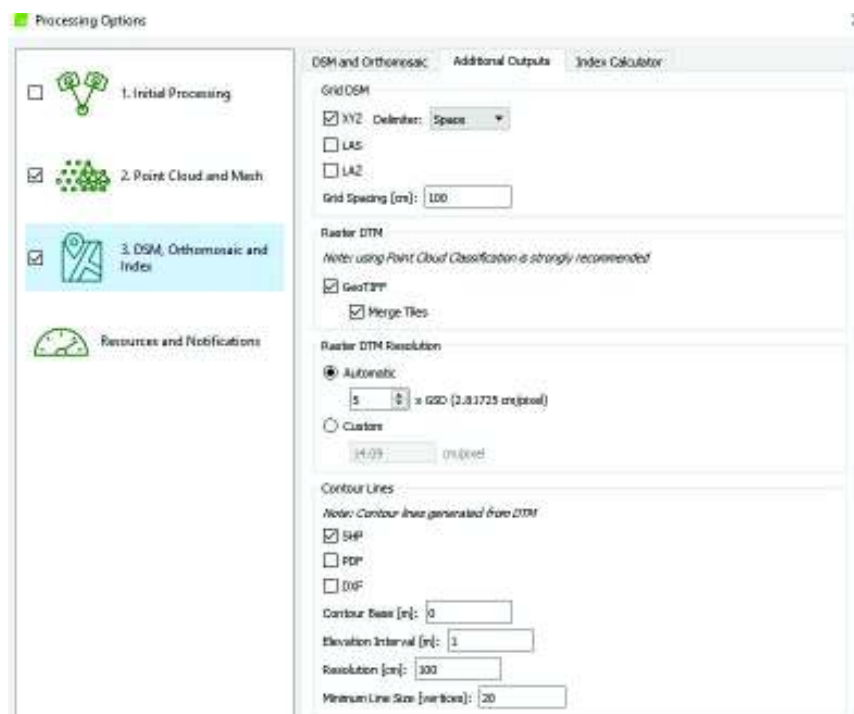
FIGURA 3.33 CONFIGURACIÓN DE DSM Y ORTOMOSAICO EN PIX4D PARA LA CANTERA



FUENTE: (Pix4D, 2018)

En la configuración de productos adicionales se marcó la casilla de generar un *Raster DTM* para que las curvas de nivel sean dibujadas a partir del mismo y no a partir del DSM. El intervalo de elevación de las curvas de nivel seleccionado para ambos proyectos fue de 1 metro y el formato de exportación elegido fue *shape* (Figura 3.34).

FIGURA 3.34 CONFIGURACIÓN DE PRODUCTOS ADICIONALES EN PIX4D



FUENTE: (Pix4D, 2018)

La última pestaña de este último paso corresponde a las configuraciones de la calculadora de índice. Esta opción fue deshabilitada ya que para los proyectos procesados no era necesaria.

Una vez finalizada la configuración de parámetros de los pasos dos y tres se dio inicio al procesamiento con Pix4D.

3.3.2 PROCESAMIENTO CON AGISOFT PHOTOSCAN

La versión de prueba de 30 días que otorga el programa fue instalada en la estación de trabajo y se realizó el procesamiento para cada zona de estudio bajo los mismos parámetros.

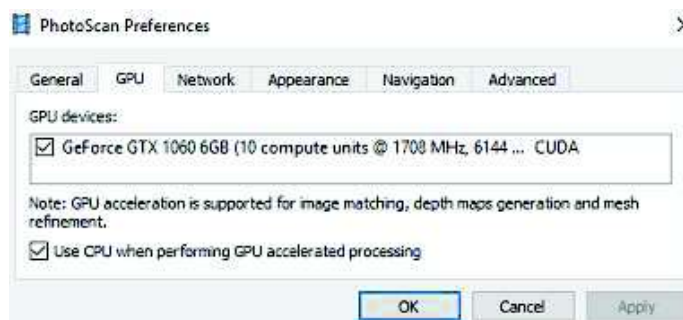
FIGURA 3.35 ACTIVACIÓN DE LICENCIA DE PRUEBA DE AGISOFT PHOTOSCAN

FUENTE: (Agisoft PhotoScan, 2018)

3.3.2.1 Parámetros preliminares de procesamiento


Al igual que en Pix4D, Agisoft requiere establecer ciertas configuraciones previas al procesamiento. Si bien este programa tiene la opción de configurar el programa en idioma en español, en esta investigación se lo configuró en inglés para que no exista una mala interpretación de los términos al momento de realizar en análisis comparativo con Pix4D, ya que este no dispone de configuración en idioma español.

Previo a realizar cualquier proceso es necesario asegurarse de que la unidad de procesamiento gráfico esté activada dentro del programa. Para esto ingresamos en la barra de herramientas a la opción *Tools* y seleccionamos *Preferences*, en esta ventana ingresamos en la pestaña de *GPU* y marcamos la casilla de la tarjeta de video integrada en el equipo de trabajo (Figura 3.36).

FIGURA 3.36 SELECCIÓN DE UNIDAD DE PROCESAMIENTO GRÁFICO EN AGISOFT PHOTOSCAN

FUENTE: (Agisoft PhotoScan, 2018)

Esta opción mejora la velocidad de procesamiento, y a diferencia de Pix4D, Agisoft no detecta automáticamente que el equipo cuenta con una tarjeta para procesamiento gráfico y por tal motivo esta debe ser seleccionada manualmente.

A continuación se agregaron las imágenes correspondientes a cada proyecto, seleccionando el ícono añadir imágenes  en el panel *Workspace*. Finalmente, una vez que han sido configuradas estas opciones, en la barra de herramientas desplegamos el menú de *Workflow*. Aquí encontramos cada uno de los productos que puede generar el programa, de los cuales se seleccionaron los siguientes:

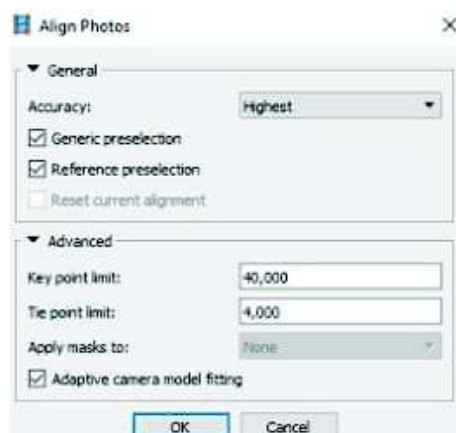
- Orientar fotos.
- Crear nube de puntos densa.
- Crear malla.
- Crear textura.
- Crear modelo de teselas (partes del mosaico).
- Crear modelo digital de elevaciones.
- Crear ortomosaico.
- Generar curvas de nivel.

Todos los parámetros establecidos para los diferentes procesos fueron los equivalentes a los seleccionados en el procesamiento con Pix4D, para que de esta manera el análisis de los procesos y productos con cada programa sea semejante para su comparación.

3.3.2.2 Orientación de fotos

En la orientación de fotos se crea la nube de puntos dispersos. Para este estudio se seleccionó la precisión máxima para que el programa trabaje con el tamaño original de las imágenes (Figura 3.37).

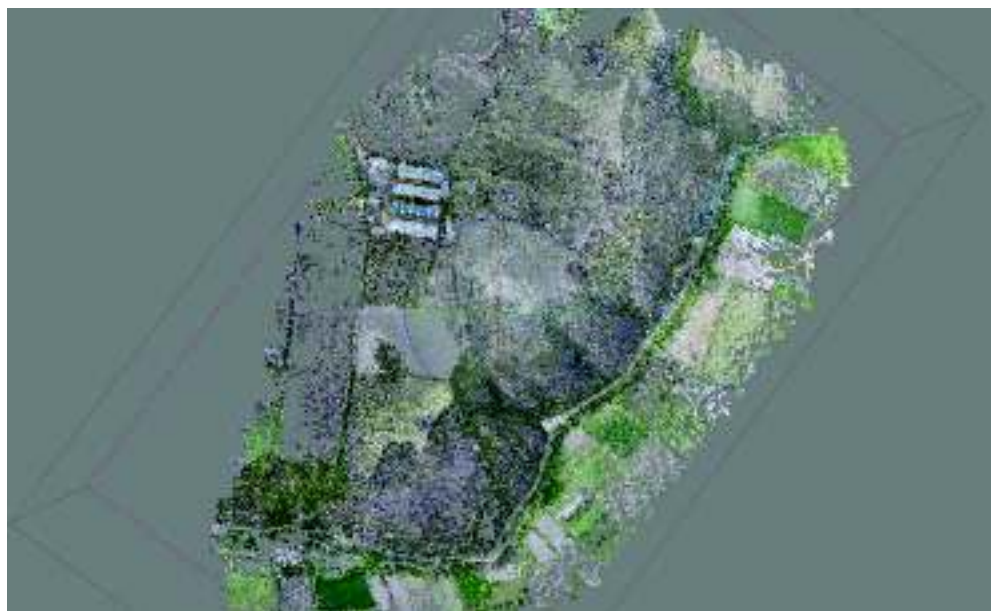
FIGURA 3.37 ORIENTACIÓN DE FOTOS EN AGISOFT PHOTOSCAN



FUENTE: (Agisoft PhotoScan, 2018)

Una vez que las imágenes fueron orientadas se procedió a ingresar los puntos de control tomados en campo para georreferenciar y escalar los siguientes procesos.

FIGURA 3.38 VISTA DE NUBE DE PUNTOS DISPERSA DE LOS TERRENOS EN AGISOFT PHOTOSCAN



FUENTE: (Agisoft PhotoScan, 2018)


Los puntos de control se ingresan en el panel *Reference*, en la pestaña *Markers* con el botón derecho del mouse seleccionamos la opción de añadir marcador  **Add Marker** e ingresamos los puntos de control tomados en cada zona de estudio, tres para los terrenos (Figura 3.39) y dos para la cantera (Figura 3.43).

FIGURA 3.39 PUNTOS DE CONTROL DE LOS TERRENOS, INGRESADOS EN AGISOFT PHOTOSCAN

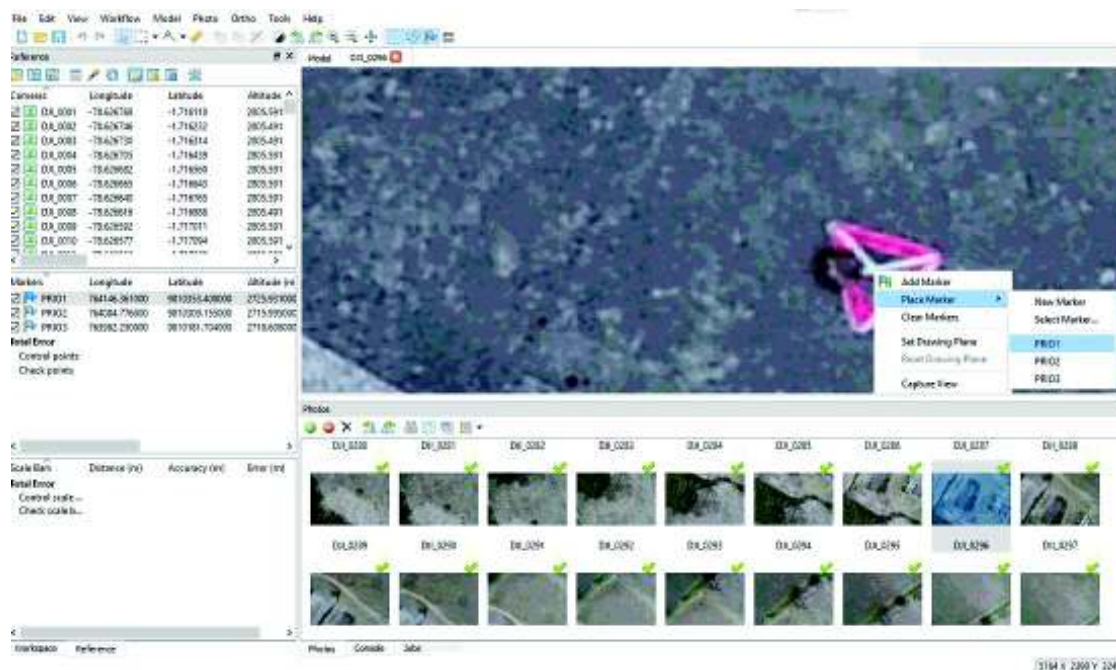
Markers	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)
<input checked="" type="checkbox"/> PRIO1	764146.361000	9810353.408000	2725.931000
<input checked="" type="checkbox"/> PRIO2	764084.776000	9810309.155000	2715.995000
<input checked="" type="checkbox"/> PRIO3	763982.250000	9810181.704000	2710.608000

Total Error
Control points
Check points

FUENTE: (Agisoft PhotoScan, 2018)


A continuación de que los puntos fueron ingresados se procedió a la ubicación de los mismos en las imágenes. Para esto se buscan las imágenes en donde se visualiza la marca de posición sobre el terreno y se añade el marcador en cada punto (Figura 3.40).

FIGURA 3.40 PUNTOS DE CONTROL COLOCADOS EN LAS IMÁGENES DE LOS TERRENOS EN AGISOFT PHOTOSCAN



FUENTE: (Agisoft PhotoScan, 2018)

Cuando se coloca el marcador en la primera imagen el programa de manera automática ubica el punto en el resto de imágenes donde este se visualiza. Es necesario colocar el marcador en todas las imágenes en donde el mismo se encuentre visible para que la corrección de posicionamiento sea efectiva. Para esto en la pestaña de *Markers* seleccionamos con el botón derecho del mouse el marcador y escogemos la opción de

filtrar fotos por marcador  y de esta manera se despliegan todas las imágenes en donde se debe colocar el marcador. Este procedimiento se lo realiza para cada punto de control.

Al finalizar la aplicación de todos los puntos de control las cámaras deben ser optimizadas para que toda la nube de puntos del proyecto sea corregida en función de las coordenadas X Y Z de los marcadores. Para la optimización de las cámaras de deben desmarcar todas las imágenes del proyecto que se ubican en la pestaña *Cameras*, y solamente quedan seleccionados los marcadores. Si no se realiza la optimización de esta manera el proyecto no será corregido correctamente.


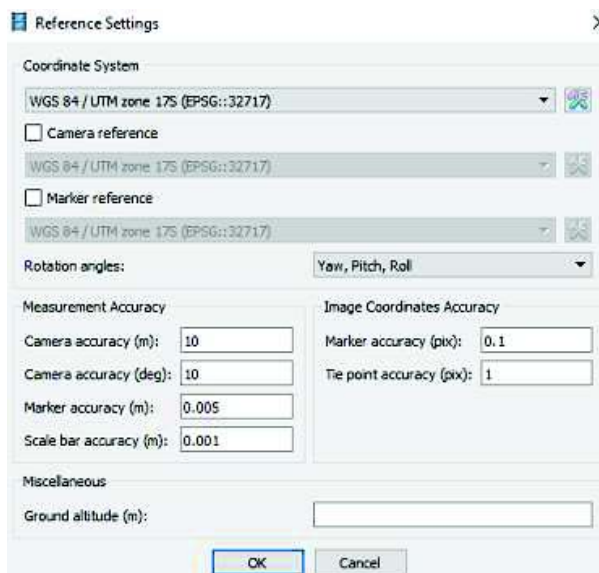

Una vez desmarcadas las imágenes se definió el sistema de coordenadas del proyecto. Ingresamos en el ícono *Settings*  y se despliega la ventana de ajustes de sistema de referencia. En esta ventana el programa permite seleccionar el sistema de coordenadas, la referencia de cámaras, la referencia de marcadores (puntos de control) y otras configuraciones adicionales predeterminadas por el programa. Para el procesamiento de ambos proyectos se definieron los parámetros que se muestran en la FIGURA 3.41. El sistema de coordenadas seleccionado para todas las opciones fue WGS84 / UTM zona 17S (Figura 3.41).

FIGURA 3.41 AJUSTES DE SISTEMA DE REFERENCIA PARA PROCESAMIENTO EN AGISOFT PHOTOSCAN

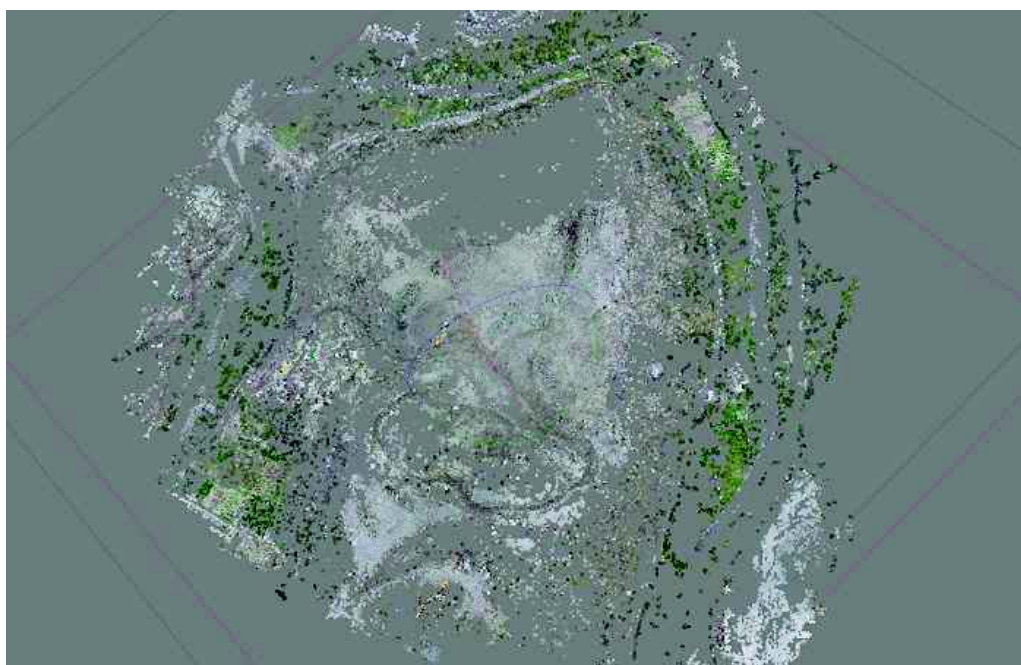


FUENTE: (Agisoft PhotoScan, 2018)

Finalmente se seleccionó *Optimize Cameras*, ícono  ubicado en la barra de herramientas de la ventana *Reference* y el proyecto quedó corregido.

Se realizaron los mismos pasos para la Orientación de Fotos del proyecto de la cantera en la ciudad de Ambato.

FIGURA 3.42 VISTA DE NUBE DE PUNTOS DISPERSA DE LA CANTERA EN AGISOFT PHOTOSCAN



FUENTE: (Agisoft PhotoScan, 2018)

FIGURA 3.43 PUNTOS DE CONTROL DE LA CANTERA, INGRESADOS EN AGISOFT PHOTOSCAN

Markers	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)
<input checked="" type="checkbox"/> PAMB1	768899.963000	9862756.129000	2353.602000
<input checked="" type="checkbox"/> PAMB2	768957.095000	9862637.131000	2386.722000
Total Error			
Control points			
Check points			

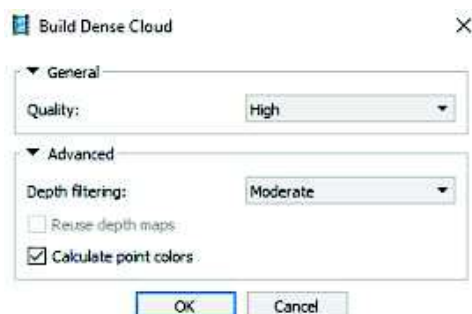
FUENTE: (Agisoft PhotoScan, 2018)

3.3.2.3 Nube de puntos densa

En función de las posiciones de las cámaras, el programa calcula la información de profundidad para que cada cámara se combine en una sola nube de puntos densa. Los

parámetros configurados para los dos proyectos fueron una calidad alta y un filtro de profundidad moderado (Figura 3.44).

FIGURA 3.44 CONFIGURACIÓN DE NUBE DE PUNTOS DENSA EN AGISOFT PHOTOSCAN

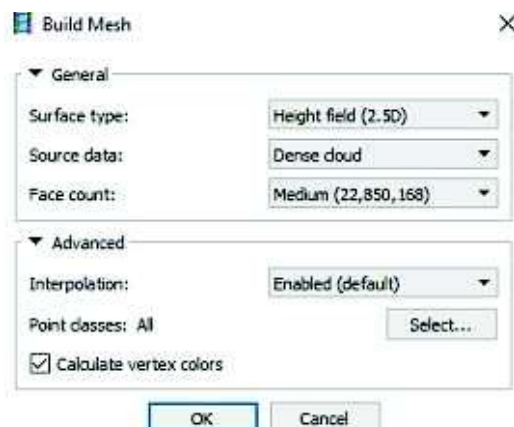


FUENTE: (Agisoft PhotoScan, 2018)

3.3.2.4 Generación de malla poligonal

Basándose en la nube de puntos densa el programa genera un modelo de malla poligonal, el cual es necesario para posteriormente realizar los cálculos de áreas y volúmenes. Para este proceso se configuraron para los dos proyectos los parámetros que se visualizan en la FIGURA 3.45.

FIGURA 3.45 CONFIGURACIÓN DE MALLA POLIGONAL EN AGISOFT PHOTOSCAN



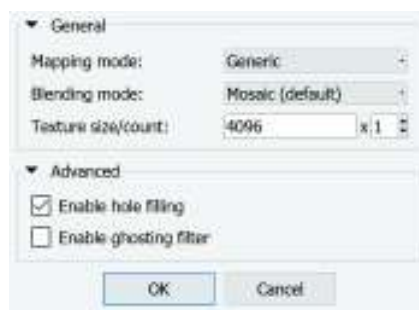
FUENTE: (Agisoft PhotoScan, 2018)

3.3.2.5 Construcción de textura

Al igual que la malla poligonal este paso es necesario para tener una mejor visualización del proyecto al momento de realizar cálculos específicos. A diferencia de Pix4D, el cual

realiza la creación de la malla ya texturizada, Agisoft separa este proceso en dos pasos. La creación de la malla y textura son pasos que no son necesarios realizarlos si es que el producto final que se busca es solamente la generación del ortomosaico.

FIGURA 3.46 CONFIGURACIÓN DE TEXTURA EN AGISOFT PHOTOSCAN



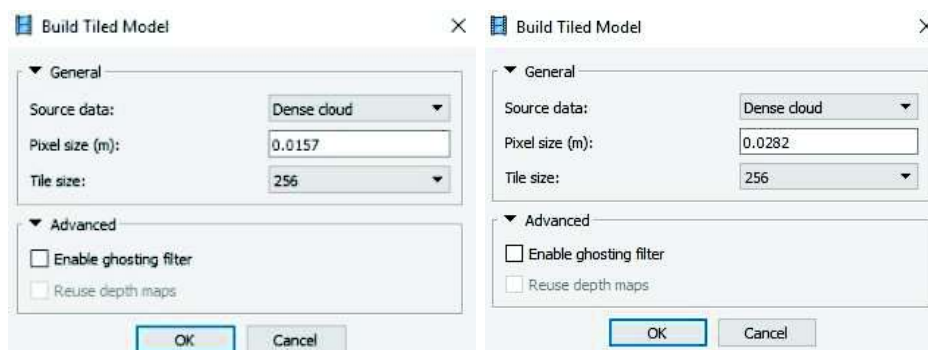
FUENTE: (Agisoft PhotoScan, 2018)

Los parámetros fueron los mismos para los dos proyectos. Se seleccionó el modo de mapeo genérico y el modo de fusión de píxeles de mosaico que el programa lo determina por defecto. Estos parámetros son los equivalentes a la selección de resolución media utilizada en el procesamiento con Pix4D.

3.3.2.6 Modelo de teselas

Las teselas son piezas que sirven de base para formar el mosaico del proyecto, estas contribuyen aumentando la resolución del ortomosaico generado. Este modelo se genera a partir de la nube de puntos densa y el tamaño de píxel para cada proyecto fue el mismo que el establecido en el procesamiento con Pix4D.

FIGURA 3.47 CONFIGURACIÓN DE MODELO DE TESELAS PARA LOS TERRENOS (IZQUIERDA) Y PARA LA CANTERA (DERECHA) EN AGISOFT PHOTOSCAN

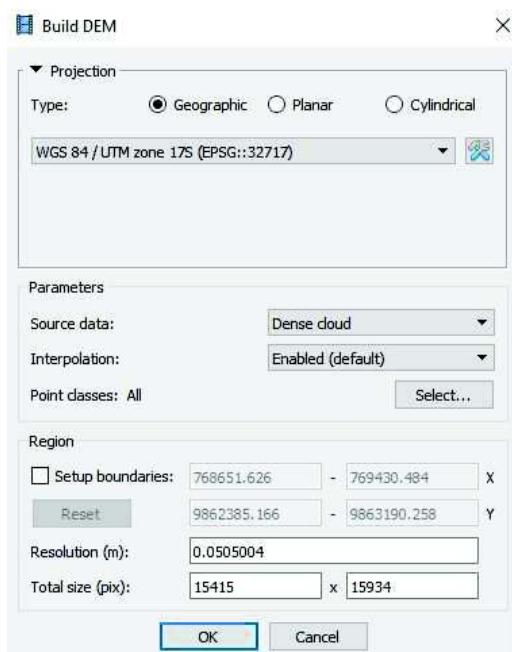


FUENTE: (Agisoft PhotoScan, 2018)

3.3.2.7 Modelo digital de elevaciones

A diferencia de Pix4D, este programa no genera un modelo digital de superficie (DSM) y un modelo digital de terreno (DTM). Agisoft crea un solo modelo digital de elevaciones (DEM) a partir de la nube de puntos densa o de la malla, pero permite que esta nube de puntos sea editada y clasificada en caso de que se deseen omitir construcciones o vegetación abundante en la generación del DEM. No se seleccionó la malla como fuente de generación del modelo ya que la nube de puntos densa genera resultados más precisos. La configuración de los parámetros del DEM fue la misma para los dos proyectos (Figura 3.48).

FIGURA 3.48 CONFIGURACIÓN DE DEM EN AGISOFT PHOTOSCAN



FUENTE: (Agisoft PhotoScan, 2018)

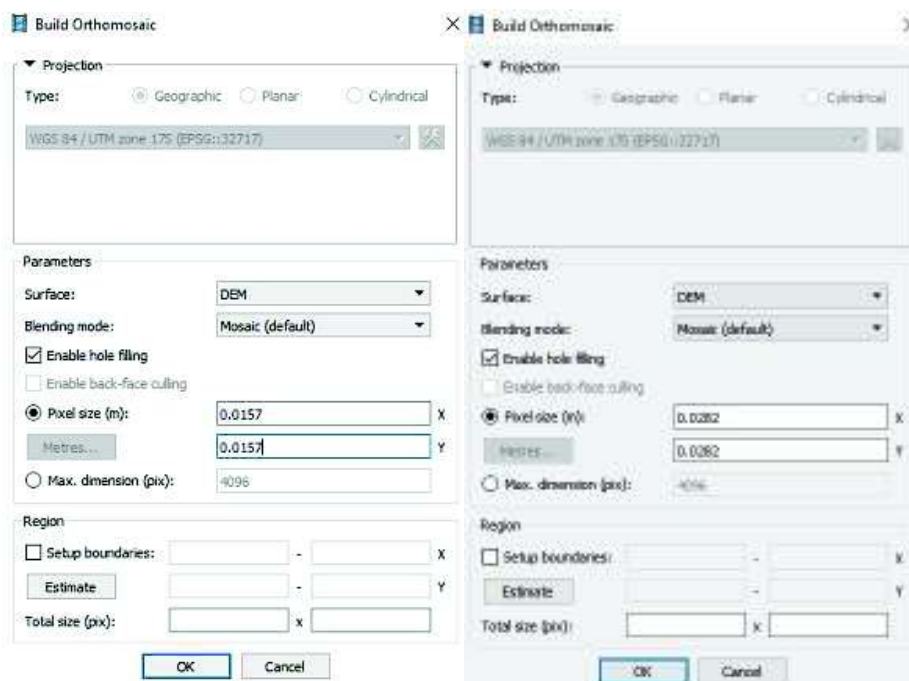
En la configuración de la región del DEM la resolución y el tamaño total del pixel son configuraciones predeterminadas por el programa que no pueden ser editadas.

3.3.2.8 Ortomosaico

El programa permite seleccionar la superficie sobre la cual debe basarse la creación del ortomosaico, que pueden ser la malla o el modelo digital de elevaciones. En este caso para ambas zonas de estudio se seleccionó como superficie los datos del DEM, ya que esta es eficiente para procesamiento de datos de levantamiento aéreo, mientras que la

opción de superficie de malla es más utilizada en la generación de ortomosaicos para fachadas de edificios o modelos similares. El modo de fusión de datos seleccionado fue el de mosaico, que el programa lo configura por defecto.

FIGURA 3.49 CONFIGURACIÓN DE ORTOMOSAICO PARA LOS TERRENOS (IZQUIERDA) Y PARA LA CANTERA (DERECHA) EN AGISOFT PHOTOSCAN

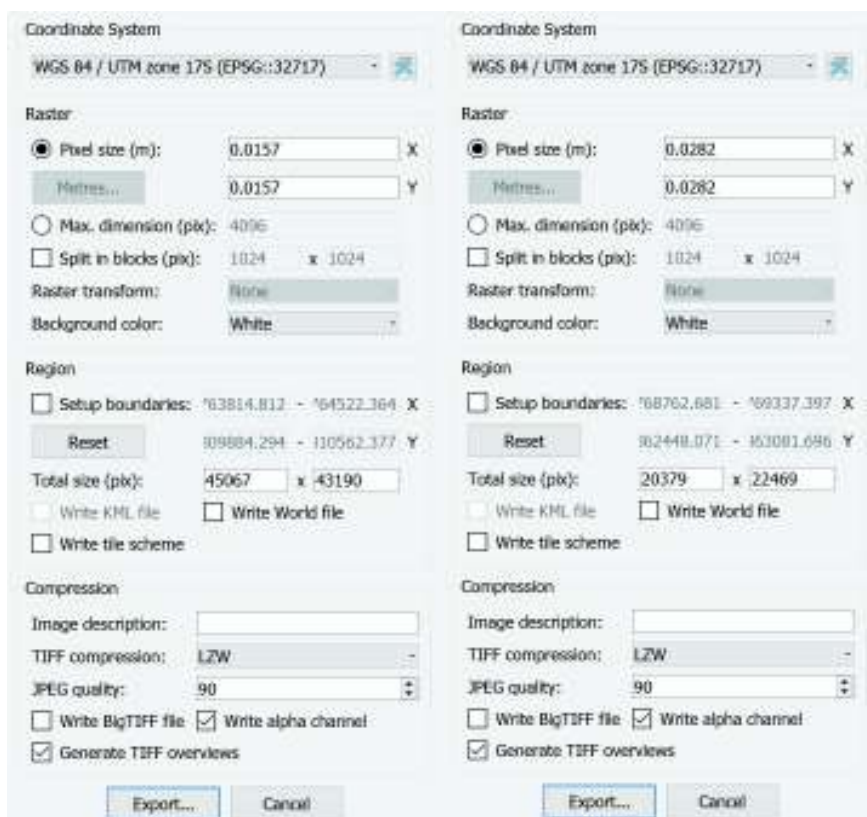


FUENTE: (Agisoft PhotoScan, 2018)

El tamaño de pixel para cada proyecto fue el mismo que se estableció en el procesamiento con Pix4D.

Una vez que el ortomosaico se generó fue necesario exportarlo. Para esto en la barra de herramientas seleccionamos *File* y desplegamos el menú de *Export*. Dentro de este menú se elige la opción de *Export Orthomosaic* y el formato necesario para poder abrir la ortofoto en algún programa de sistemas de información geográfica es JPEG/TIFF/PNG (Figura 3.50).

FIGURA 3.50 EXPORTACIÓN DE ORTOMOSAICO DE LOS TERRENOS (IZQUIERDA) Y DE LA CANTERA (DERECHA) EN AGISOFT PHOTOSCAN

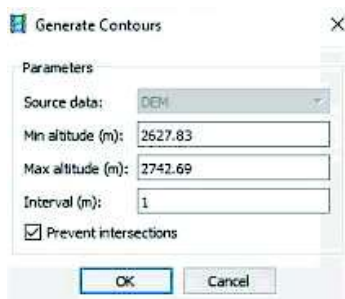


FUENTE: (Agisoft PhotoScan, 2018)

En los parámetros de exportación se mantuvieron todas las configuraciones que por defecto establece el programa.

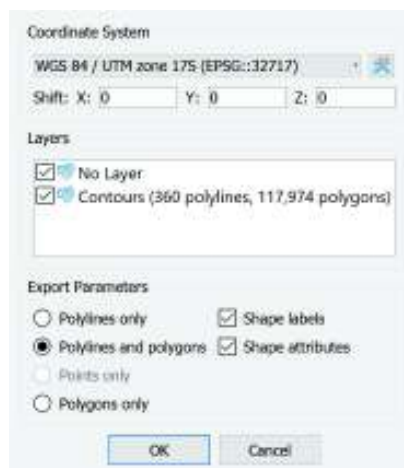
3.3.2.9 Curvas de nivel

La generación de las curvas de nivel se la realizó ingresando en la opción *Tools* del menú de herramientas y se seleccionó la opción *Generate Contours*. Para cada proyecto el intervalo seleccionado entre cada curva fue de 1 metro, la fuente de datos de las mismas el programa lo determina por defecto y se marca la casilla para prevenir intersecciones en la generación de las mismas (Figura 3.51).

FIGURA 3.51 GENERACIÓN DE CURVAS DE NIVEL EN AGISOFT PHOTOSCAN

FUENTE: (Agisoft PhotoScan, 2018)

Una vez generadas las curvas, estas fueron exportadas en formato *shp*. Para esto en el menú *Export* de la pestaña *File* se selecciona la opción *Export Shapes* (Figura 3.52). De igual manera se despliegan las opciones de exportación, en donde se marcó la casilla de contornos y los parámetros de polilíneas y polígonos, cada uno con sus etiquetas y atributos.

FIGURA 3.52 EXPORTACIÓN DE CURVAS DE NIVEL EN AGISOFT PHOTOSCAN

FUENTE: (Agisoft PhotoScan, 2018)

3.3.3 CÁLCULO DE ÁREAS DE TERRENOS

Para el cálculo de las áreas de los terrenos ubicados en la ciudad de Riobamba estos se dividieron en un total de ocho y las áreas de cada uno fue delimitada en función de los linderos identificados en campo durante la etapa de visita a las zonas de estudio y plan de vuelo.

3.3.3.1 Programa Pix4D


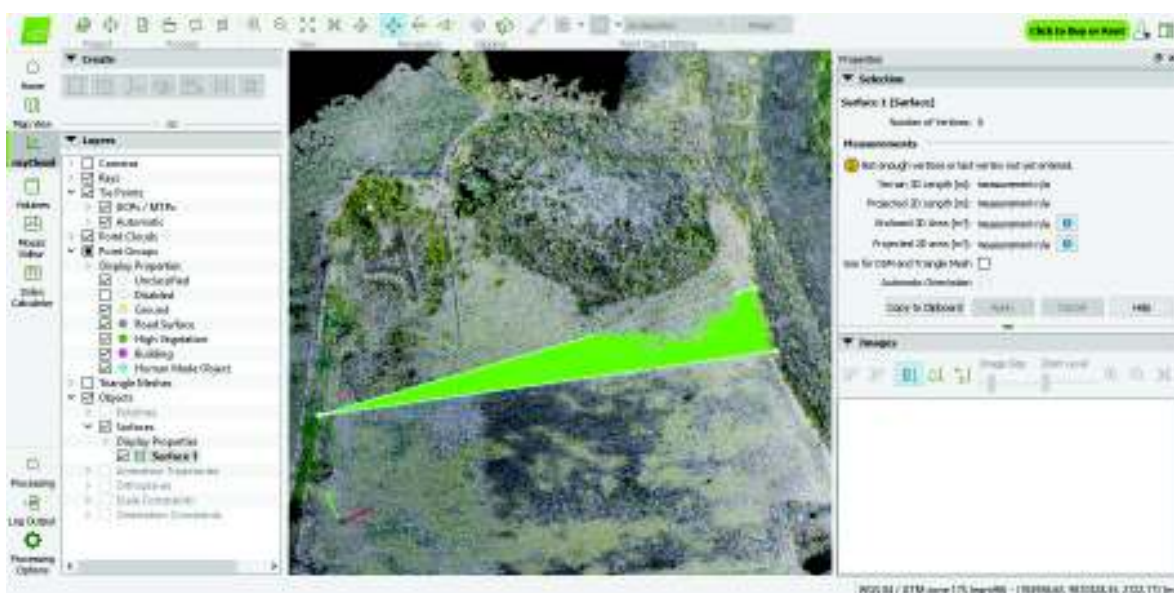
El cálculo de áreas en Pix4D se lo realizó ingresando en la vista de *rayCloud*, aquí en la parte superior izquierda se despliega la pestaña *Create* y se selecciona la opción *New Surface* representada con el ícono . En esta opción con el cursor se delimitaron una a una las superficies de las que se deseaba obtener el área en función de los linderos visibles en la nube de puntos densificada (Figura 3.54).

FIGURA 3.53 DELIMITACIÓN DE SUPERFICIES EN PIX4D



FUENTE: (Pix4D, 2018)

FIGURA 3.54 VISTA DE SUPERFICIE DELIMITADA EN PIX4D



FUENTE: (Pix4D, 2018)

Una vez delimitada la superficie de interés, en el menú de *Propiedades* en la derecha de la pantalla se visualizan dos pestañas, la primera es la pestaña de selección en donde se indica el número de vértices de la superficie creada y las mediciones preliminares que el programa calcula de manera automática. La segunda pestaña es la de imágenes, en donde se visualizan las fotos en las cuales aparecen los vértices de la superficie creada. Esta pestaña sirve para colocar los vértices de una manera exacta en el lugar que corresponden, ya que la visibilidad del terreno en la foto es más clara que en la nube de puntos densa. Además el programa calcula un error aproximado una vez que se ha posicionado cada vértice en al menos dos de las fotos en las que aparecen, caso contrario no lo calcula (Figura 3.55).

FIGURA 3.55 PROPIEDADES DE CÁLCULO DE ÁREAS EN PIX4D



FUENTE: (Pix4D, 2018)

Los vértices en la fotos deben ser corregidos con puntos de unión. En la pestaña *Layers* se identifica cada vértice dentro de *Tie Points*, ya que cada vértice de las superficies

creadas se convierte en un *Manual Tie Point (MTP)* y este es corregido de la misma manera que se realizó la corrección de los puntos de control ingresados para georreferenciar el proyecto durante el procesamiento.

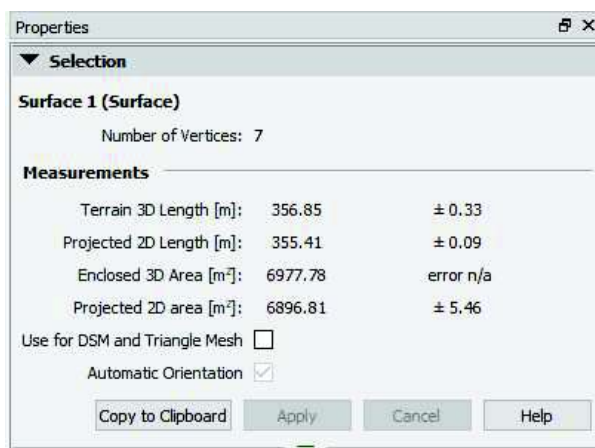
FIGURA 3.56 PUNTOS DE UNIÓN (MTP) EN VÉRTICES DE SUPERFICIES EN PIX4D



FUENTE: (Pix4D, 2018)

Cuando todos los vértices de la superficie de estudio han sido corregidos y marcados en las fotos necesarias el programa calcula un margen de error de las mediciones. La medición del área está marcada como *Projected 2D área* (Área proyectada 2D) y se la expresa en m^2 junto con el error (Figura 3.57).

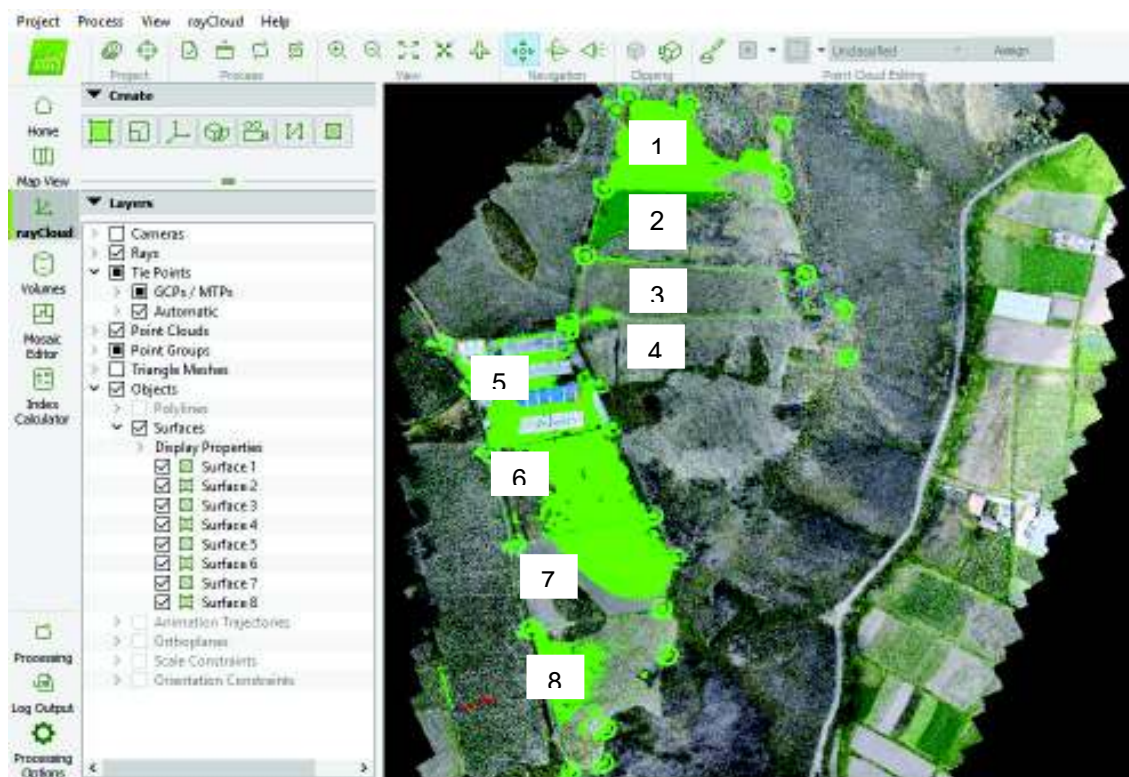
FIGURA 3.57 RESULTADO DEL CÁLCULO DE ÁREA 1 EN PIX4D



FUENTE: (Pix4D, 2018)

Se realizó el mismo procedimiento para los siete terrenos restantes, obteniendo para todos su área con el respectivo margen de error.

FIGURA 3.58 VISTA DE SUPERFICIES DELIMITADAS EN PIX4D



FUENTE: (Pix4D, 2018)

3.3.3.2 Programa Agisoft PhotoScan


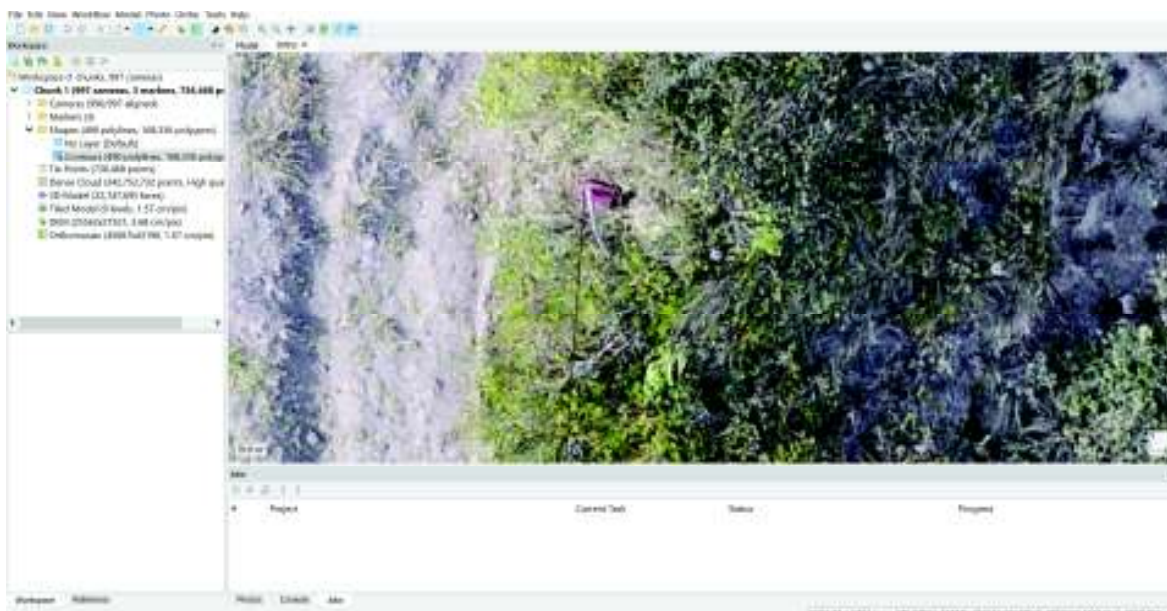
El cálculo de áreas se lo realizó ingresando en el panel *Workspace* y se cargó la vista de ortomosaico. Aquí se inició la delimitación de las ocho superficies seleccionando en la barra de tareas el ícono  para crear polígonos. Se fue dibujando el polígono de la zona de interés en función de los linderos visibles en el ortomosaico y coincidiendo de la manera más cercana posible con los vértices que fueron marcados en la delimitación con Pix4D (Figura 3.60).

FIGURA 3.59 DELIMITACIÓN DE SUPERFICIES EN AGISOFT PHOTOSCAN



FUENTE: (Agisoft PhotoScan, 2018)

FIGURA 3.60 VISTA DE SUPERFICIE DELIMITADA EN AGISOFT PHOTOSCAN



FUENTE: (Agisoft PhotoScan, 2018)

Cuando se finalizó la delimitación de la superficie de interés, con el botón derecho del cursor se despliega el menú del polígono. En este menú se selecciona la opción *Measure* y se abre una ventana en donde se encuentra la pestaña *Planar*, la cual contiene la información relevante al polígono dibujado. Aquí podemos encontrar las coordenadas y altitud de los vértices, el perímetro del polígono, su área y el sistema de coordenadas sobre el cual se trabajó para realizar el cálculo (Figura 3.61). El cálculo del área se expresa en m^2 . Este mismo procedimiento fue realizado para todos los terrenos.

FIGURA 3.61 RESULTADO DEL CÁLCULO DE ÁREA EN AGISOFT PHOTOSCAN

Unnamed (polygon, 7 vertices)			
	Planar	Profile	Volume
Point	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)
1	764254.144091	9810433.342357	2727.191
2	764255.134398	9810446.495353	2727.440
3	764266.168762	9810484.127360	2725.769
4	764207.881098	9810508.217615	2737.720
5	764168.016433	9810527.250875	2734.887
6	764156.475557	9810521.514478	2734.726
7	764130.925393	9810471.499778	2730.385
Perimeter (m):		357.528	
Area (m ²):		6974.4	
Coordinate system: WGS 84 / UTM zone 17S (EPSG::32717)			
Close			

FUENTE: (Agisoft PhotoScan, 2018)

FIGURA 3.62 VISTA DE SUPERFICIES DELIMITADAS EN AGISOFT PHOTOSCAN



FUENTE: (Agisoft PhotoScan, 2018)

3.3.4 CÁLCULO DE VOLUMEN DE LA CANTERA

Para calcular el volumen de la cantera ubicada en la ciudad de Ambato se colocaron dos marcas con cal en los bordes oriental y occidental de la montaña y se tomó como superficie base del polígono el camino asfaltado que rodea la misma. El cálculo del volumen de la cantera se lo realizó de esta manera ya que el propósito de esta investigación es evaluar las características y atributos de cada programa para el cálculo de volúmenes y no la determinación de la potencia o rendimiento de explotación de la misma.

3.3.4.1 Programa Pix4D

En este programa se realizó el cálculo del volumen ingresando en la vista *Volumes* ubicada en la parte izquierda de la pantalla. En esta vista se encuentra la pestaña *Layers*, aquí se marcan las casillas de la nube de puntos densificada y la malla texturizada para tener mejor visibilidad de la zona de estudio. Otra de las pestañas que se encuentran en esta vista es *Objects*, aquí es en donde se realizó la creación del polígono que delimita


la zona de interés para calcular el volumen. El procedimiento inició seleccionando el ícono  que permite la creación de un nuevo volumen. Con el cursor se tomó como punto de partida la marca de cal en el extremo occidental de la cantera y se fue delimitando la montaña hasta la marca de cal al extremo oriental (Figura 3.63).

FIGURA 3.63 DELIMITACIÓN DE LA CANTERA PARA CÁLCULO DE VOLUMEN EN PIX4D



FUENTE: (Pix4D, 2018)

Una vez terminado el polígono de la zona de interés en la pestaña de *Objects* se ingresó a las configuraciones de volumen para seleccionar el plano base a utilizarse para el cálculo, estas opciones de plano base se resumen en la Tabla 3.2:

TABLA 3.2 PLANOS BASE PARA CÁLCULO DE VOLUMEN EN PIX4D

OPCIÓN	DESCRIPCIÓN
Triangulado	Se selecciona esta opción cuando todo el perfil del polígono trazado es visible y la superficie base es relativamente plana. Esta opción es la que el programa selecciona siempre por defecto.
Ajustar plano	Opción adecuada cuando todo el volumen que se desea calcular es visible y la superficie sobre la que se encuentra es una pendiente.

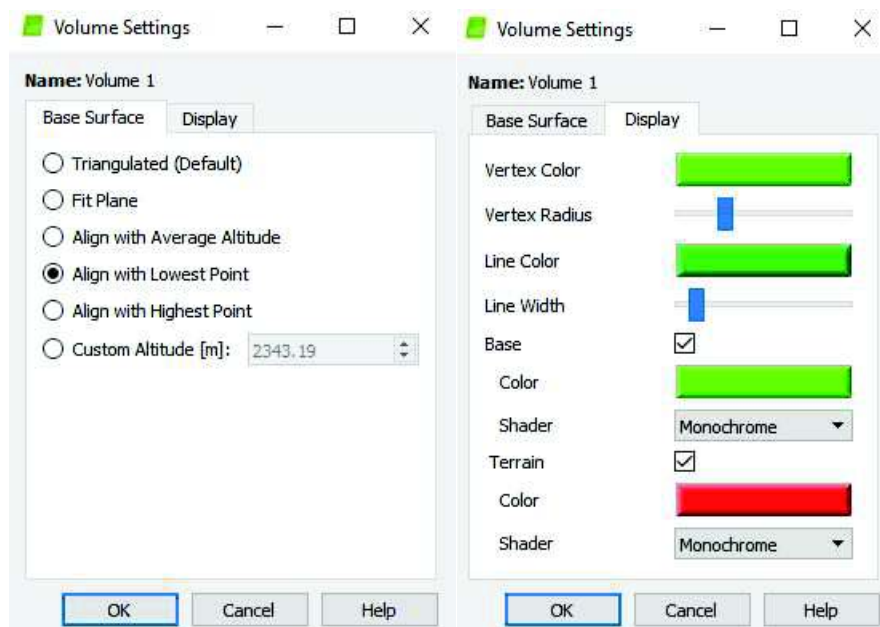
Alinear con la altitud promedio	Utilizada cuando la superficie de la base del polígono es totalmente visible y la altitud tomada por el programa corresponde a la altitud promedio de todos los vértices.
Alinear con el punto más bajo	Se usa esta opción cuando el perfil del polígono no es completamente visible, por ejemplo volúmenes cortados o parcialmente rodeados por muros.
Alinear con el punto más alto	Esta opción se recomienda cuando lo que se desea calcular es un volumen de llenado, por ejemplo de rellenos sanitarios, estanques, piscinas, etc.
Altitud personalizada	Opción utilizada cuando el volumen de interés se encuentra rodeado por muros y solo es visible una parte o incluso ningún límite, pero se conoce la altitud de la superficie de la base plana.

FUENTE: (Pix4D, 2018)

ELABORACIÓN: (Costales, 2018)

Para el proyecto se seleccionó la opción de *Alinear con el punto más bajo* para el cálculo del volumen total de la cantera. Esta opción la recomienda el programa cuando el perfil del polígono de interés no se encuentra completamente visible a nivel del suelo, y para este proyecto la parte sur del polígono dibujado está parcialmente oculta a nivel del suelo como se observa en la Figura 3.66. En la pestaña de *Display* se configuraron los colores con los que se representarían los vértices y límite del polígono, así como la base y el terreno de cálculo (Figura 3.64).

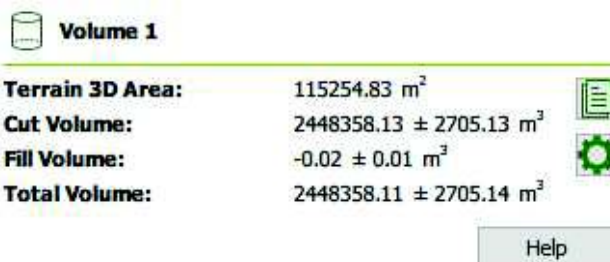
FIGURA 3.64 CONFIGURACIONES DE CÁLCULO DE VOLUMEN EN PIX4D



FUENTE: (Pix4D, 2018)

Establecidas las configuraciones de cálculo se presiona *Compute* y el programa determina el área del terreno seleccionado en 3D, el volumen de corte, volumen de relleno y la diferencia entre los dos últimos corresponde al volumen total del polígono.

FIGURA 3.65 RESULTADO DEL CÁLCULO DE VOLUMEN EN PIX4D



FUENTE: (Pix4D, 2018)

En la Figura 3.66 se observa el volumen de corte de color rojo y el volumen de relleno de color verde en el perfil cercano a la base de la montaña.

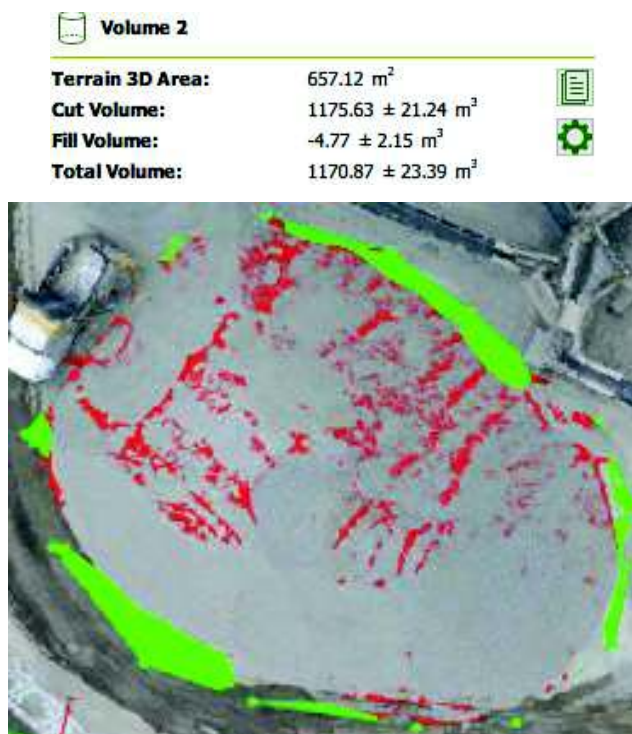
FIGURA 3.66 POLÍGONO DEL CÁLCULO DE VOLUMEN EN PIX4D



FUENTE: (Pix4D, 2018)

ADICIONALMENTE SE DETERMINÓ EL VOLUMEN DE UNA PILA DE RIPIO QUE SE ENCONTRABA DENTRO DE LA CANTERA. PARA ESTE CÁLCULO EN LAS CONFIGURACIONES SE SELECCIONÓ LA OPCIÓN DE SUPERFICIE BASE *TRIANGULADO* QUE EL PROGRAMA ESTABLECE PARA POLÍGONOS QUE TIENEN TODO SU PERFIL COMPLETAMENTE VISIBLE. LOS RESULTADOS SE PRESENTAN EN LA

Figura 3.67.

FIGURA 3.67 VOLUMEN DE PILA DE RIPIO EN PIX4D

FUENTE: (Pix4D, 2018)

3.3.4.2 Programa Agisoft PhotoScan

El cálculo de volúmenes en este programa se lo realizó de la misma manera que se realiza el cálculo de áreas. Ingresando en el panel *Workspace* y en la vista de

ortomosaico se delimitó el polígono de la zona de interés en función de las marcas de cal en el terreno (Figura 3.68).

FIGURA 3.68 DELIMITACIÓN DE POLÍGONO PARA CÁLCULO DE VOLUMEN EN AGISOFT PHOTOSCAN



FUENTE: (Agisoft PhotoScan, 2018)

Delimitado el polígono se desplegó el menú de opciones del mismo para entrar en *Measure* en donde se muestra toda la información relevante del mismo. En la configuración de la pestaña *Volume* se despliegan las opciones para seleccionar el plano base en el cálculo del volumen, las cuales se presentan en la TABLA 3.3.

TABLA 3.3 PLANOS BASE PARA CÁLCULO DE VOLUMEN EN AGISOFT PHOTOSCAN

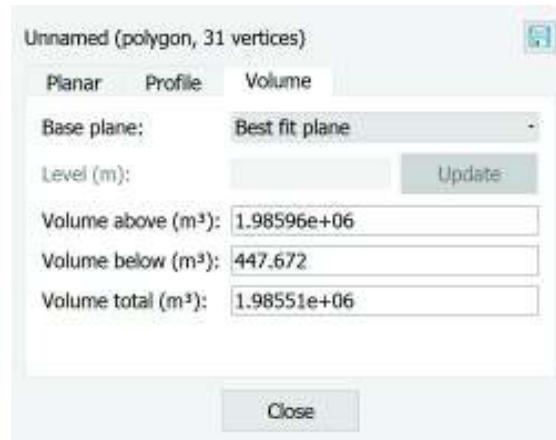
OPCIÓN	DESCRIPCIÓN
Plano de mejor ajuste	Opción que se utiliza cuando la superficie del terreno es parcial o totalmente visible y relativamente plana sin pendientes pronunciadas.
Nivel medio	Esta opción es adecuada cuando se desea trabajar con una altura promedio de la altitud de todos los vértices del polígono, generalmente usada cuando se tiene una diferencia de pendiente significativa en la superficie base.
Nivel personalizado	Se utiliza cuando se conoce una altitud fija desde la que se desea que el volumen sea calculado.

FUENTE: (Agisoft PhotoScan, 2018)

ELABORACIÓN: (Costales, 2018)

En este caso se seleccionó como plano base el *Plano de mejor ajuste*, ya que la superficie base no se encontraba sobre una pendiente pronunciada y el perfil se visualiza parcialmente. El programa realiza el cálculo del volumen en función de los vértices del polígono dibujado sobre el terreno a nivel del piso. Se realiza el cálculo sobre la superficie, bajo la superficie (base) y la diferencia entre ambos es el volumen total que se expresa en m³ (Figura 3.69).

FIGURA 3.69 RESULTADO DE CÁLCULO DE VOLUMEN EN AGISOFT PHOTOSCAN



FUENTE: (Agisoft PhotoScan, 2018)

De igual manera se realizó con este programa el cálculo del volumen de la pila de ripio bajo la misma opción de *Plano de mejor ajuste*, el cual se presenta en la FIGURA 3.70.

FIGURA 3.70 VOLUMEN DE PILA DE RIPIO EN AGISOFT PHOTOSCAN



FUENTE: (Agisoft PhotoScan, 2018)

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 TIEMPO DE PROCESAMIENTO

Los tiempos de procesamiento se detallan en los reportes de proceso que genera cada programa. En el caso de Pix4D el reporte se genera de manera automática una vez que el procesamiento ha sido terminado, mientras que para poder obtener el reporte de Agisoft es necesario exportarlo desde la barra de herramientas en la opción *File*. Cabe mencionar que para poder realizar un análisis comparativo real del tiempo de procesamiento de los proyectos, la configuración de los parámetros establecidos en cada paso de los procesos fueron los mismos en ambos programas.

El informe de Pix4D presenta información sobre el área total procesada, vista previa del ortomosaico y DSM generados, detalles de calibración y geolocalización del proyecto, entre otras características. Parte de este reporte es el tiempo que le tomó al programa realizar cada paso del procesamiento.

En el reporte de Agisoft PhotoScan de igual manera se presenta una vista previa del ortomosaico y DEM, datos de levantamiento como número de imágenes procesadas, altura y área de vuelo, información de calibración de cámara, puntos de control del proyecto y finalmente los parámetros de procesamiento en donde se encuentra el detalle del tiempo que le tomó al programa realizar cada proceso.

A continuación en las Tablas 4.1 y 4.2 se presentan los tiempos de procesamiento de los proyectos en cada programa. Los informes de procesamiento completos se encuentran en el Anexo 2.

TABLA 4.1 TIEMPOS DE PROCESAMIENTO EN PIX4D

PARÁMETROS	RIOBAMBA	AMBATO
Densificación de nube de puntos	4h:0m:50s	37m:32s
Clasificación de nube de puntos	18m:49s	8m:30s
Generación de malla texturizada en 3D	27m:50s	12m:58s
Generación de DSM	1h:30m:43s	21m:49s
Generación de ortomosaico	3h:33m:23s	36m:6s
Generación de DTM	53m:05s	8m:53s

ELABORACIÓN: (Costales, 2018)

TABLA 4.2 TIEMPOS DE PROCESAMIENTO EN AGISOFT PHOTOSCAN

PARÁMETROS	RIOBAMBA	AMBATO
Emparejamiento de nube de puntos	33m:36s	5m:56s
Alineación de nube de puntos	4m:32s	41s
Generación de mapas de profundidad de nube de puntos densa	3h:17m	28m:36s
Generación de nube de puntos densa	20h:1m	56m:36s
Generación de malla poligonal	29m:25s	14m:16s
Texturización de malla poligonal	1h:17m:12s	35m
Generación de modelo de teselas	6h	2h:7m
Generación de DEM	6m:52s	2m:38s
Generación de ortomosaico	38m:23s	6m:28s

ELABORACIÓN: (Costales, 2018)

Para poder realizar una comparación del tiempo que les toma a los programas generar un producto específico, se unificaron los parámetros en cuatro principales y se sumaron los tiempos de los procesos que se involucran en cada uno. Estos parámetros son:

- Generación de nube de puntos densa: unifica densificación de nube de puntos y clasificación de nube de puntos de Pix4D; y emparejamiento de nube de puntos,

alineación de nube de puntos, generación de mapas de profundidad de nube de puntos densa y generación de nube de puntos densa de Agisoft.

- Generación de malla texturizada: referente a generación de malla texturizada en 3D de Pix4D; y generación de malla poligonal y texturización de malla poligonal de Agisoft.
- Generación de modelo digital de elevaciones (DSM o DEM): generación de DSM en Pix4D y generación de DEM en Agisoft.
- Generación de ortomosaico: ortomosaico de Pix4D; y generación de modelo de teselas y ortomosaico de Agisoft.

No se considera el tiempo de generación del DTM de Pix4D dentro de estos parámetros ya que en Agisoft este no se genera de manera automática sino que es necesaria una clasificación manual del DEM para obtener un modelo digital que considere solamente el nivel de terreno.

TABLA 4.3 COMPARACIÓN DE TIEMPO DE PROCESAMIENTO DEL PROYECTO TERRENOS QUINTA SANTA ROSA AMELIA - RIOBAMBA

PARÁMETROS	PIX4D	AGISOFT PHOTOSCAN
Generación de nube de puntos densa	4h:19m:39s	23h:56m:8s
Generación de malla texturizada	27m:50s	1h:46m:37s
Generación de modelo digital de elevaciones (DSM o DEM)	1h:30m:43s	6m:52s
Generación de ortomosaico	3h:33m:23s	6h:38m:23s
TOTAL	9h:51m:35s	32h:28m:00s

ELABORACIÓN: (Costales, 2018)

El tiempo de procesamiento del proyecto de los terrenos fue menor con Pix4D como se puede observar en la TABLA 4.3. En todos los parámetros analizados Agisoft toma más tiempo en generar los mismos resultados, excepto en la generación del DSM. Esto puede ser debido a que Pix4D realiza una clasificación automática de los elementos que se encuentran sobre el terreno, para de esta manera generar también el DTM, mientras que en Agisoft si se desea clasificar el DEM se lo debe hacer manualmente. Esta clasificación manual también tiene sus ventajas, ya que aquí se pueden crear diferentes modelos de superficie del proyecto omitiendo construcciones, vegetación abundante, autos, entre

otros elementos que se encuentren sobre la superficie de suelo, pero a su vez este proceso manual demanda una mayor cantidad de tiempo.

A pesar de que en este parámetro el tiempo de Pix4D sea mayor al de Agisoft, se puede observar que la diferencia total de tiempo de procesamiento de Agisoft PhotoScan es 3.3 veces mayor a la de Pix4D, siendo el parámetro de generación de la nube de puntos densa el que más tiempo toma procesar. Este parámetro es en el que más demoran ambos programas debido a que este es el paso inicial y la base de los demás productos que se generaron posteriormente. En la generación del ortomosaico de igual manera la diferencia de tiempo es de casi el doble.

TABLA 4.4 COMPARACIÓN DE TIEMPO DE PROCESAMIENTO DEL PROYECTO CANTERA EN EL SECTOR DE LAS VIÑAS - AMBATO

PARÁMETROS	PIX4D	AGISOFT PHOTOSCAN
Generación de nube de puntos densa	46m:2s	1h:31m:49s
Generación de malla texturizada	12m:58s	49m:16s
Generación de modelo digital de elevaciones (DSM o DEM)	21m:49s	2m:38s
Generación de ortomosaico	36m:6s	2h:13m:28s
TOTAL	1h:56m:55s	4h:37m:11s

ELABORACIÓN: (Costales, 2018)

En el proyecto de la cantera de igual manera los tiempos de procesamiento de Agisoft fueron mayores a los de Pix4D en tres de los cuatro parámetros, nuevamente siendo la excepción la generación del DSM o DEM. En este caso el parámetro que más tiempo le tomó procesar a Agisoft fue el de la generación del ortomosaico, seguido de la nube de puntos densa, mientras que para Pix4D requirió más tiempo la generación de la nube de puntos densa.

En general se observa que para este proyecto Agisoft procesó los datos en un tiempo 2.4 veces mayor al tiempo total de Pix4D.

4.2 PUNTOS DE CONTROL

En el proyecto de los terrenos en la ciudad de Riobamba se ingresaron tres puntos de control y cada programa en su reporte de procesamiento muestra un cálculo del error que se obtuvo en cada punto para las coordenadas x y z (Tablas 4.5 y 4.6).

TABLA 4.5 REPORTE DE PUNTOS DE CONTROL PARA LOS TERRENOS EN PIX4D

PUNTO	ERROR EN X (cm)	ERROR EN Y (cm)	ERROR EN Z (cm)
PRI01	12.1	4.9	2.1
PRI02	-17.8	-9.1	-5.8
PRI03	5.0	3.9	0.5

ELABORACIÓN: (Costales, 2018)

En Pix4D se puede observar que en el punto PRI02 fue en donde se presentó una mayor corrección de las tres coordenadas ya que el error es más alto, y el error más bajo se da en el punto PRI03. En cuanto al error en cada coordenada se observa una corrección mayor en la coordenada x para los tres puntos, y una corrección menor en la coordenada de altitud z.

TABLA 4.6 REPORTE DE PUNTOS DE CONTROL PARA LOS TERRENOS EN AGISOFT PHOTOSCAN

PUNTO	ERROR EN X (cm)	ERROR EN Y (cm)	ERROR EN Z (cm)
PRI01	-16.2	-5.7	-3.9
PRI02	22.9	10.5	5.0
PRI03	-6.7	-4.7	-1.2

ELABORACIÓN: (Costales, 2018)

En Agisoft de igual manera se presenta un mayor valor de error en el punto PRI02 para las tres coordenadas y la corrección menor corresponde, al igual que en Pix4D, al punto PRI03. Por otro lado analizando el error en cada coordenada, se presenta de igual manera una mayor corrección en la coordenada x de los tres puntos y la menor corrección en la coordenada z similar que con el programa anterior.

A pesar de que para ambos programas el error que presentan es menor a los 25 cm, se observa que Agisoft presenta valores más altos que Pix4D en las coordenadas de todos

los puntos, lo que indica que Pix4D cuenta con una mejor precisión al momento de corregir la posición del modelo para el proyecto de los terrenos.

Para el proyecto de la cantera se colocaron dos puntos de control, de igual forma cada uno con coordenadas x y z para realizar la corrección de posicionamiento del modelo durante el procesamiento. Los resultados del error calculado por cada programa se presentan en las TABLA 4.7 y TABLA 4.8.

TABLA 4.7 REPORTE DE PUNTOS DE CONTROL PARA LA CANTERA EN PIX4D

PUNTO	ERROR EN X (cm)	ERROR EN Y (cm)	ERROR EN Z (cm)
PAMB1	0.0	-0.3	-0.1
PAMB2	-0.1	0.1	-0.3

ELABORACIÓN: (Costales, 2018)

TABLA 4.8 REPORTE DE PUNTOS DE CONTROL PARA LA CANTERA EN AGISOFT PHOTOSCAN

PUNTO	ERROR EN X (cm)	ERROR EN Y (cm)	ERROR EN Z (cm)
PAMB1	89.2	90.5	1773.6
PAMB2	67.8	129	1633.6

ELABORACIÓN: (Costales, 2018)

En este proyecto Pix4D da como resultado un error menor a 1 cm para cada coordenada en ambos puntos, mientras que los resultados de Agisoft presentan un error superior en cada una de sus coordenadas, pero principalmente se observa un error por encima de los 15 metros en la coordenada z de ambos puntos de control. Este error en esta coordenada indica que la corrección de la altitud con este programa no se realizó de manera correcta y este resultado se verá reflejado en la generación de las curvas de nivel.

A nivel general para ambos proyectos Pix4D presenta valores de error en las coordenadas de cada punto inferiores a los que presenta Agisoft, por lo que se puede decir que en la corrección de posicionamiento por puntos de control en tres dimensiones (x y z) Pix4D brinda mejores resultados que influyen en la georreferenciación de cada proyecto.

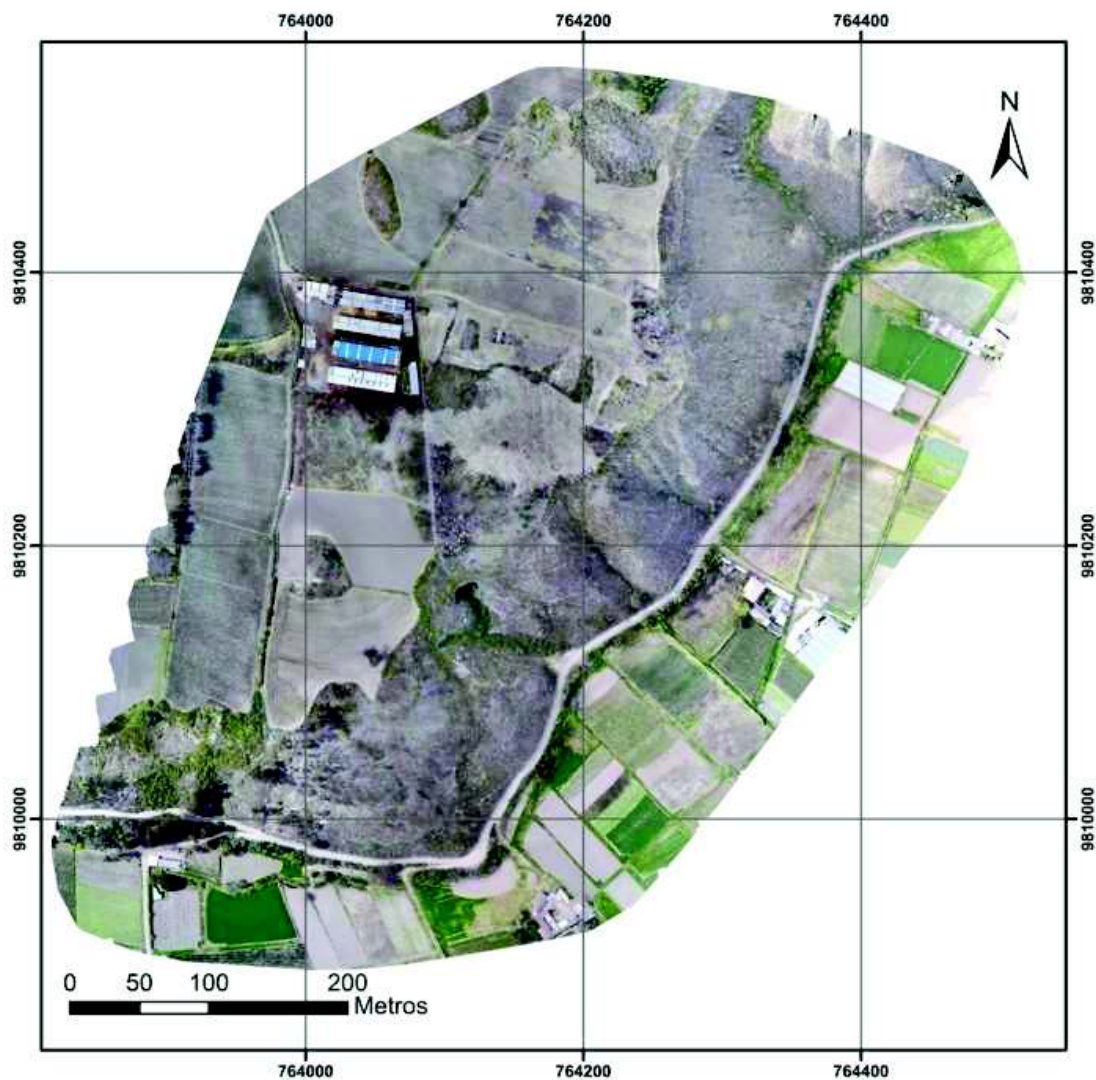
4.3 ANÁLISIS DE ORTOMOSAICO

El ortomosaico es el producto más esperado en el proceso fotogramétrico, ya que este es una representación cartográfica de las zonas de estudio creada a partir de las fotografías aéreas. Por esta razón la generación del ortomosaico es el último paso del procesamiento en ambos programas y su obtención se basa en los productos generados previamente.

Los ortomosaicos fueron exportados en formato *TIF* y se visualizaron con la ayuda del programa ArcGIS, que cuenta con las herramientas necesarias para poder verificar la georreferenciación de los mismos y escalarlos.

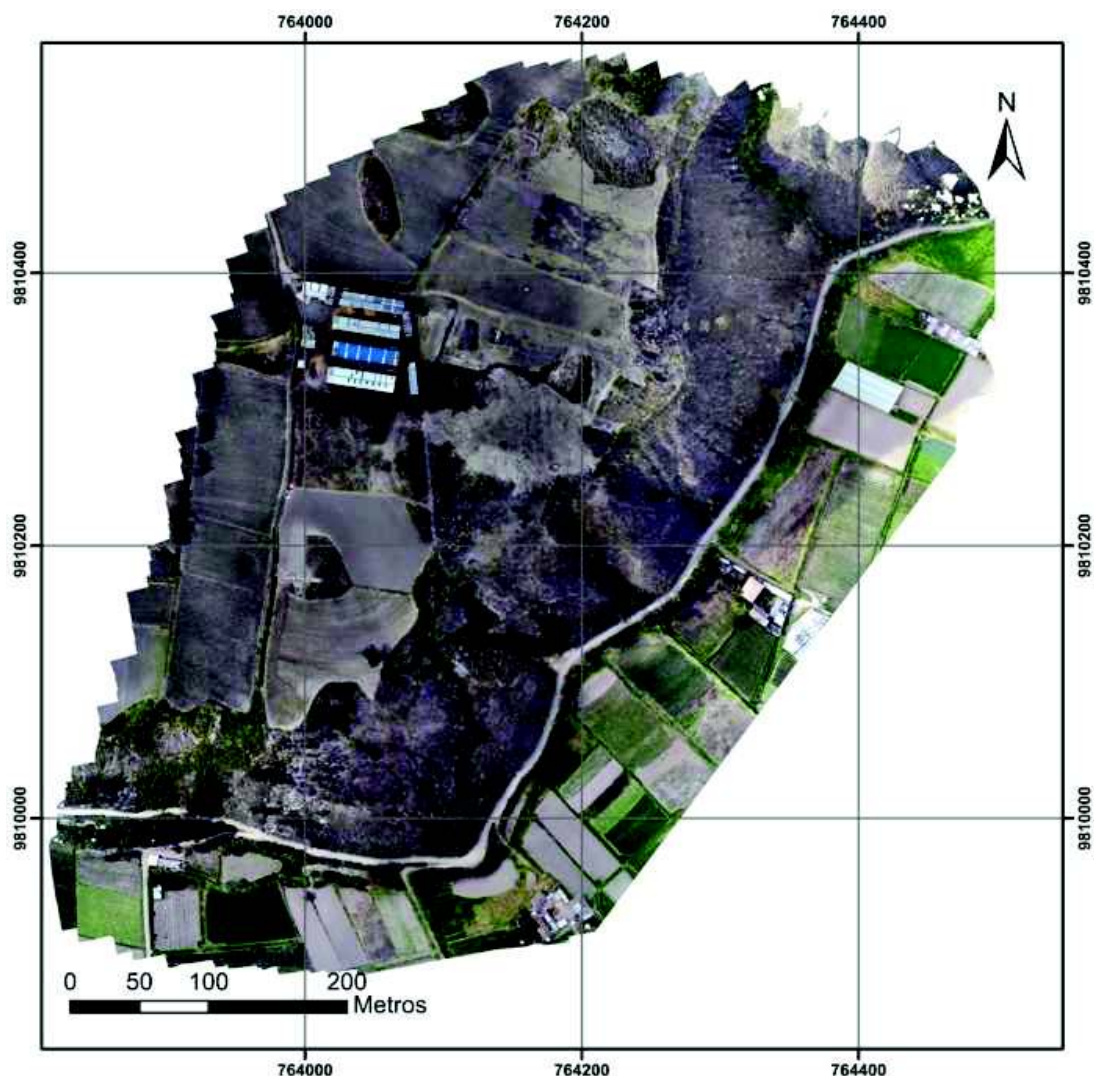
Para analizar la calidad visual de los ortomosaicos y poder compararlos se extrajeron un total de diez mapas, seis del proyecto de los terrenos y cuatro del proyecto de la cantera. De estos mapas, cuatro corresponden a la vista general de cada zona de estudio y seis a una vista de secciones específicas dentro de cada proyecto, para de esta manera poder evaluar el detalle que presentan Agisoft y Pix4D en sus ortomosaicos. Los mapas de los ortomosaicos de vista general generados por cada programa se encuentran además en el Anexo 3.

Para los terrenos se observó en la vista general que no presentan mayor diferencia los ortomosaicos generados por cada programa, se aprecia únicamente una diferencia en los bordes del ortomosaico de Agisoft, el cual presenta bordes irregulares con picos, mientras que Pix4D presenta un borde mejor definido y de forma regular (Figuras 4.1 y 4.2).

FIGURA 4.1 ORTOMOSAICO DE LOS TERRENOS GENERADO EN PIX4D

ELABORACIÓN: (Costales, 2018)

FIGURA 4.2 ORTOMOSAICO DE LOS TERRENOS GENERADO EN AGISOFT PHOTOSCAN



ELABORACIÓN: (Costales, 2018)

Las secciones específicas seleccionadas en el proyecto de los terrenos corresponden a una vista de la parte superior del Terreno 5 en donde se encuentra ubicada una planta de abonos y a la vista de una construcción abandonada en el Terreno 4.

En la Figura 4.3 del Terreno 5, correspondiente al ortomosaico de Pix4D, se pueden observar en la parte superior izquierda a tres personas junto a cinco tanques de agua, pero a una de las personas se la observa con menor claridad; además se observan diez quintales de abono en la parte inferior derecha y otros dos separados del resto.

FIGURA 4.3 VISTA ESPECÍFICA DEL TERRENO 5 EN EL ORTOMOSAICO DE PIX4D



ELABORACIÓN: (Costales, 2018)

La misma sección en el ortomosaico de Agisoft se presenta en la Figura 4.4 en donde se observaron a las mismas tres personas junto a los tanques de agua, pero aquí se aprecia con mayor claridad a la persona que en el ortomosaico de Pix4D no se la observaba muy claramente. De igual manera se observan los mismos quintales de abono en la parte inferior derecha.

FIGURA 4.4 VISTA ESPECÍFICA DEL TERRENO 5 EN EL ORTOMOSAICO DE AGISOFT PHOTOSCAN



ELABORACIÓN: (Costales, 2018)

Por otro lado las Figura 4.5 y Figura 4.6 del Terreno 4, muestran una construcción abandonada en donde se ubicó uno de los puntos de control. En el ortomosaico de Pix4D se observa con claridad los bordes de las paredes de la construcción, mientras que en el modelo generado por Agisoft se presentan pequeñas fallas en la reconstrucción del ortomosaico, donde se puede apreciar en dos tramos la superficie del suelo y no los bordes de las paredes de la construcción.

FIGURA 4.5 VISTA ESPECÍFICA DEL TERRENO 4 EN EL ORTOMOSAICO DE PIX4D

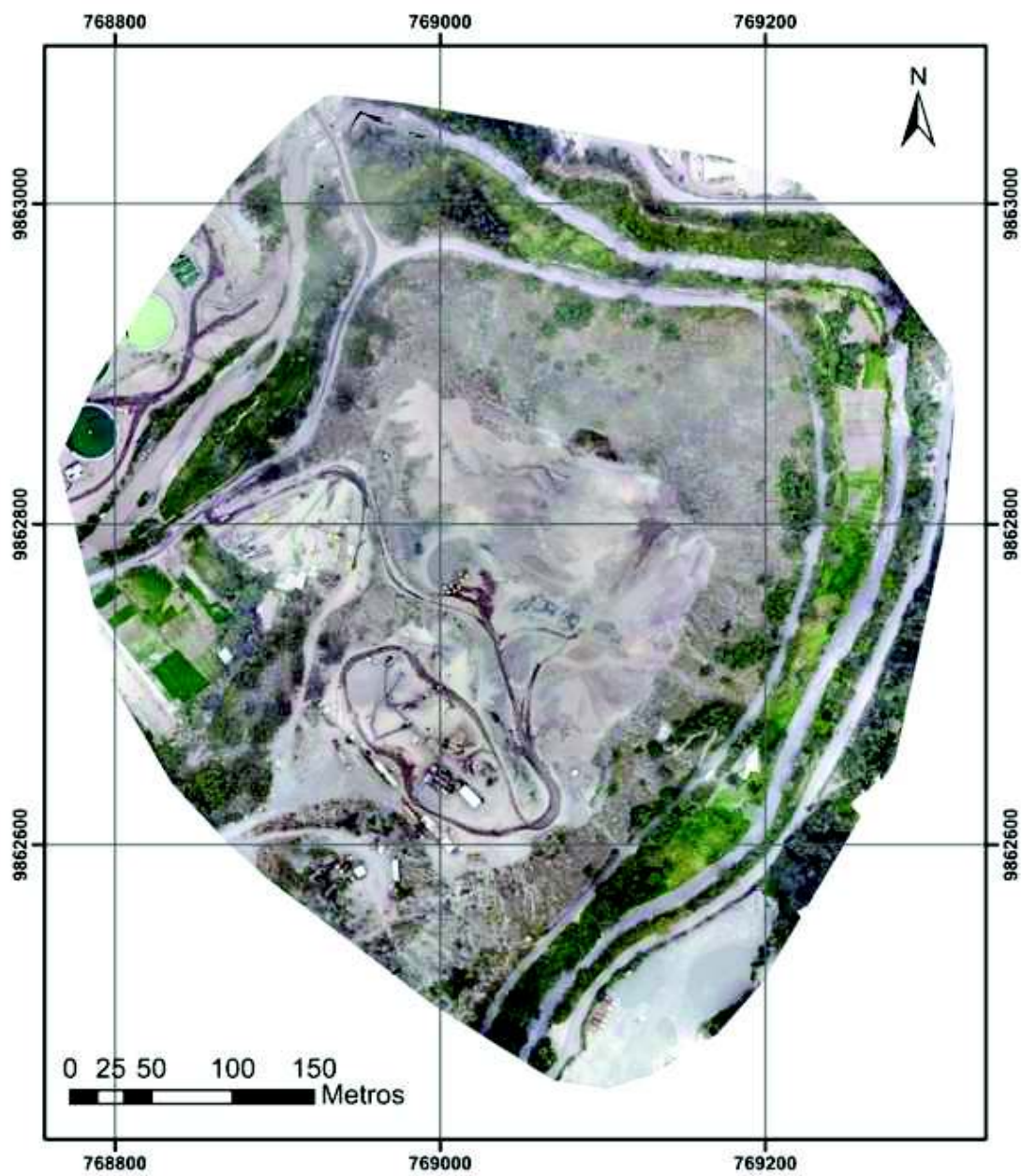
ELABORACIÓN: (Costales, 2018)

FIGURA 4.6 VISTA ESPECÍFICA DEL TERRENO 4 EN EL ORTOMOSAICO DE AGISOFT PHOTOSCAN



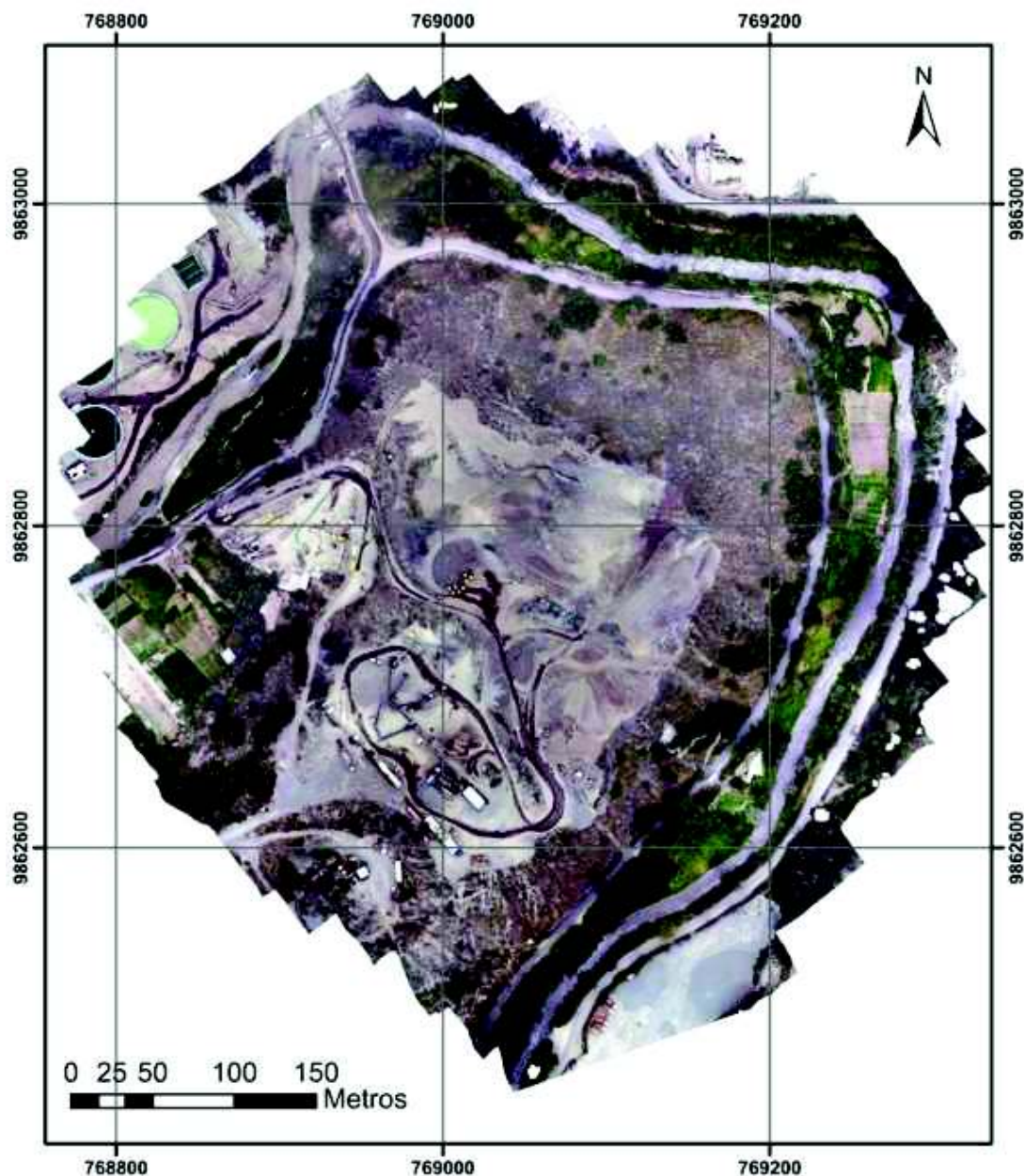
ELABORACIÓN: (Costales, 2018)

En la vista general del proyecto de la cantera de igual manera solamente se observa la diferencia de los bordes de cada ortomosaico, siendo el de Pix4D el que presenta un contorno más regular casi sin imperfecciones, lo que hace a su vez que visualmente parezca que este ortomosaico cubre más superficie de la zona de estudio que el generado por Agisoft (Figuras 4.7 y 4.8).

FIGURA 4.7 ORTOMOSAICO DE LA CANTERA GENERADO EN PIX4D

ELABORACIÓN: (Costales, 2018)

FIGURA 4.8 ORTOMOSAICO DE LA CANTERA GENERADO EN AGISOFT PHOTOSCAN



ELABORACIÓN: (Costales, 2018)

En la cantera el sector específico que se visualizó corresponde a cinco volquetas encargadas del transporte de material que se encontraban en la zona de estudio. Se pueden observar en la Figura 4.9 y Figura 4.10 las secciones de los ortomosaicos de Pix4D y de Agisoft respectivamente. Aquí se visualizan las volquetas y se puede apreciar claramente en ambas figuras las placas de cuatro de ellas, y no se evidencia ninguna diferencia en esta sección entre los ortomosaicos generados por cada programa.

FIGURA 4.9 VISTA ESPECÍFICA EN LA CANTERA DEL ORTOMOSAICO DE PIX4D

ELABORACIÓN: (Costales, 2018)

FIGURA 4.10 VISTA ESPECÍFICA EN LA CANTERA DEL ORTOMOSAICO DE AGISOFT PHOTOSCAN



ELABORACIÓN: (Costales, 2018)

Se puede observar que existe una diferencia en los cuatro mapas del proyecto de la cantera en cuanto a posicionamiento, esto se debe a que, como se observó en el análisis de puntos de control, con Agisoft PhotoScan la corrección de coordenadas del proyecto con estos puntos presentó un error de precisión de alrededor de 1 metro para los ejes x e y, y de más de 15 metros para el eje z. Por esta razón la posición geográfica de los mapas generados con Pix4D difiere de la posición de los mapas obtenidos con Agisoft.

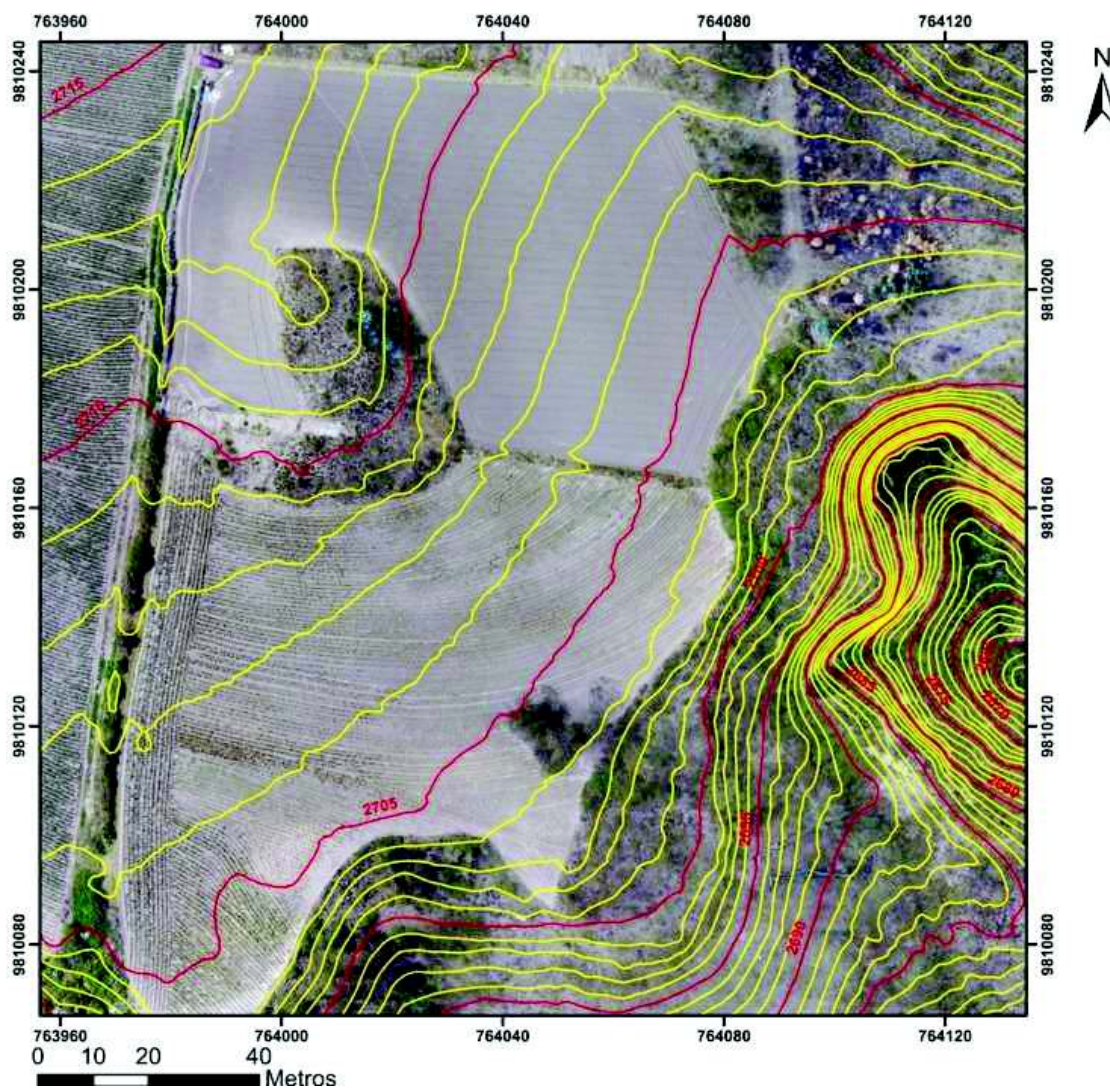
4.4 CURVAS DE NIVEL

Las curvas de nivel fueron exportadas de cada programa en formato *shape* para ser visualizadas en ArcGIS. En el Anexo 4 se observan los mapas de los proyectos con las

curvas de nivel generadas con cada programa. Para realizar el análisis y comparar los resultados se extrajeron zonas específicas de cada proyecto.

Para el proyecto de los terrenos se analizó los Terrenos 7 y 8. En la Figura 4.11 se observan las curvas de nivel generadas por Pix4D, las cuales van desde una altitud de 2663 hasta los 2715 msnm con un intervalo de 1 metro entre cada curva. Se pudo observar que el resultado del levantamiento presenta uniformidad y pendientes suaves en la generación de las curvas de nivel en toda el área de los terrenos. Además en el lado este del mapa se aprecia una ladera con vegetación abundante en donde el programa no sobrepone ni cruza las cotas generadas, a pesar de la gran cantidad de vegetación que se observa en esta zona.

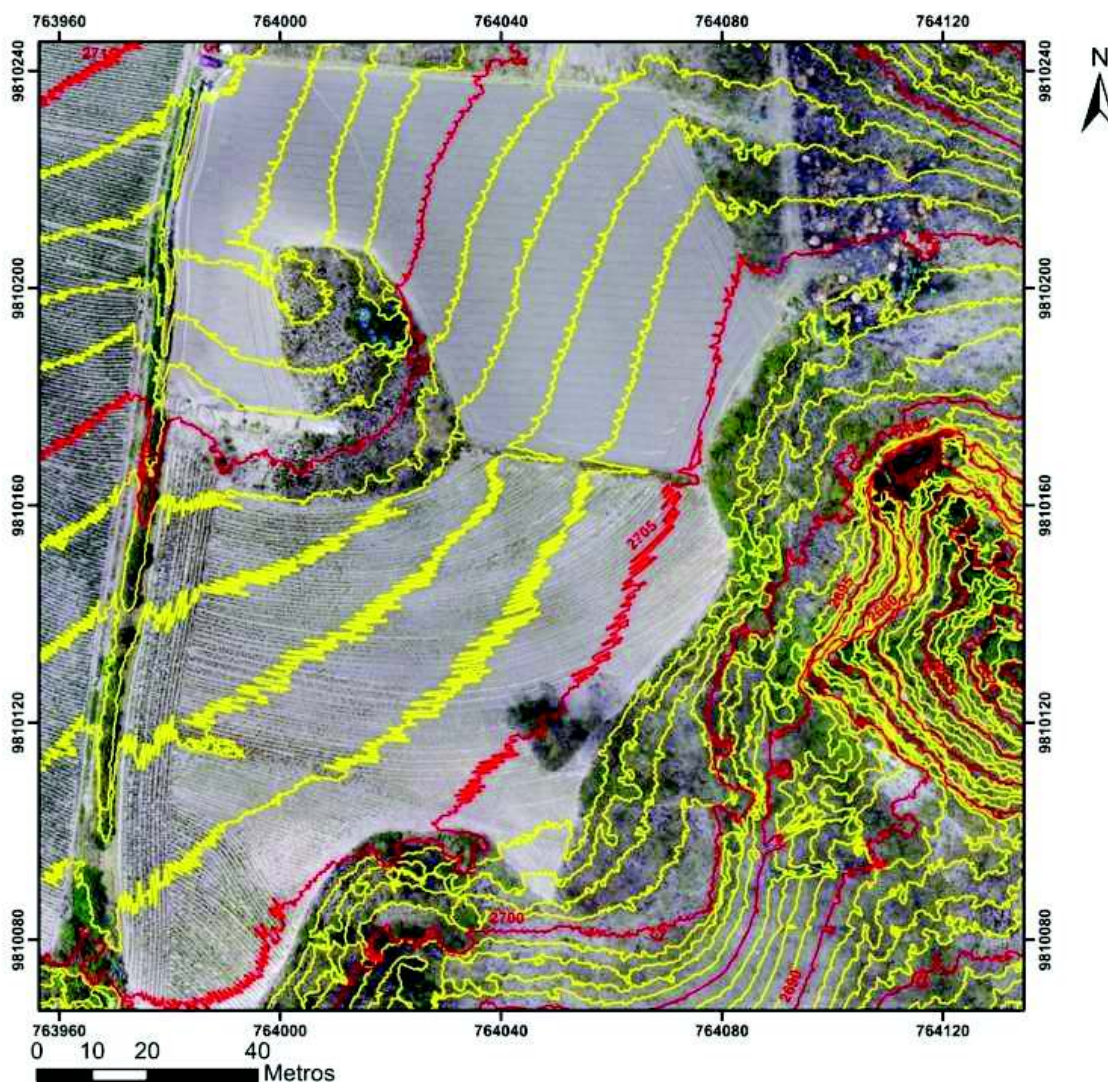
FIGURA 4.11 VISTA DE CURVAS DE NIVEL DE LOS TERRENOS GENERADAS EN PIX4D



ELABORACIÓN: (Costales, 2018)

La Figura 4.12 corresponde a las curvas de nivel de los terrenos 7 y 8 generadas con Agisoft PhotoScan, las cuales van desde los 2665 hasta los 2715 msnm, de igual manera con una equidistancia de 1 metro entre curvas. En este mapa se observó que las curvas generadas son irregulares, presentan picos consecuentes y deformaciones que no corresponden al relieve superficial de los terrenos. En la zona de la ladera, al este del mapa, el programa sobrepone unas con otras las curvas de nivel y presenta deformidad en las mismas debido a la abundante vegetación que se presenta en esta zona.

FIGURA 4.12 VISTA DE CURVAS DE NIVEL DE LOS TERRENOS GENERADAS EN AGISOFT PHOTOSCAN

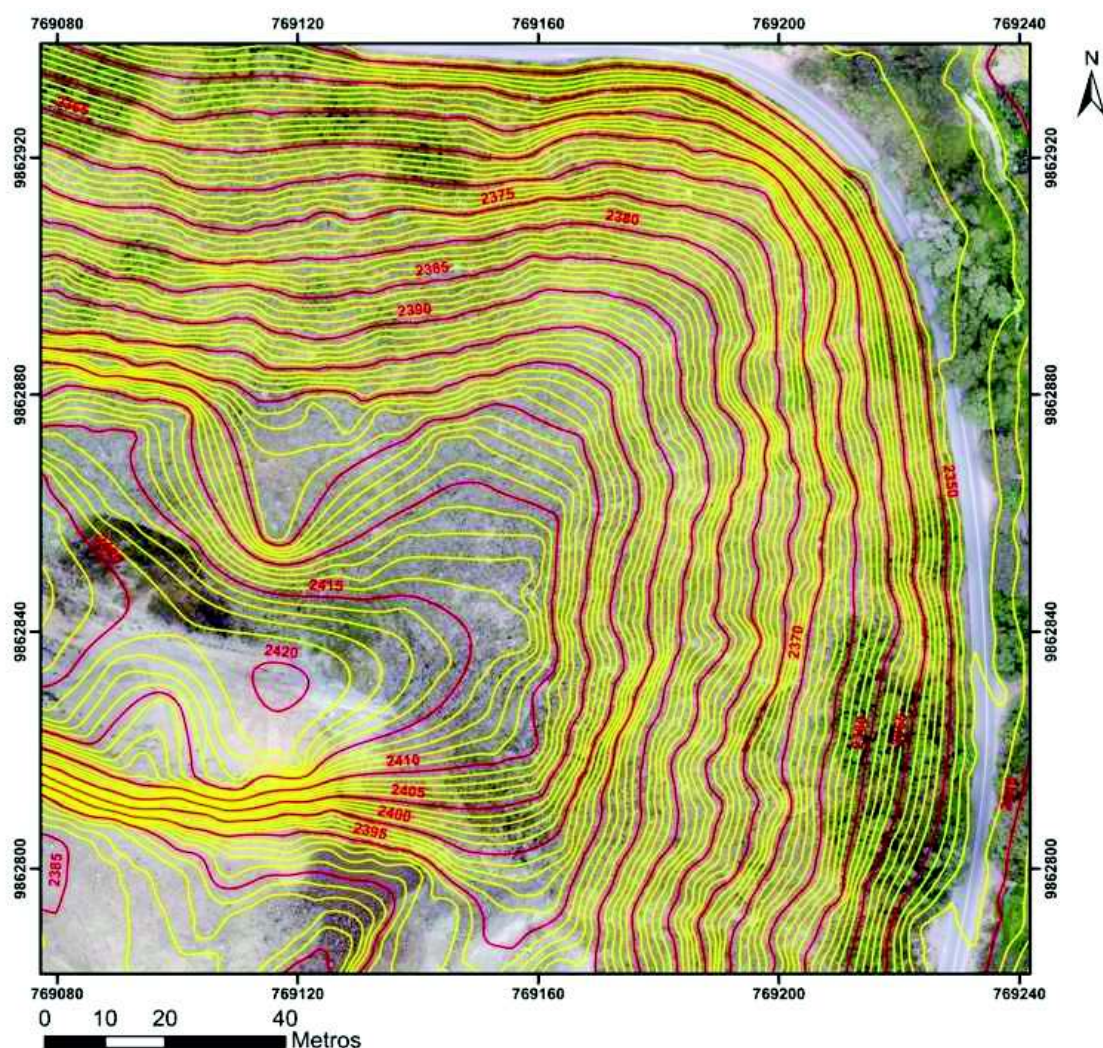


ELABORACIÓN: (Costales, 2018)

Se analizó el proyecto de la cantera extrayendo un mapa de la vista del lado norte y este de la misma con cada programa. La FIGURA 4.13 corresponde a las curvas de nivel

generadas por Pix4D, las cuales van desde la altitud de 2343 hasta 2422 msnm con una equidistancia de 1 metro. En este mapa se observaron líneas que mantienen una curvatura regular y un espaciamiento estrecho entre las mismas, lo que señala que se tratan de pendientes muy pronunciadas, y además se logra identificar con facilidad la cota más alta y más baja de la montaña sin existir ningún tipo de cruce o superposición de curvas, incluso en zonas con vegetación abundante.

FIGURA 4.13 VISTA DE CURVAS DE NIVEL DE LA CANTERA GENERADAS EN PIX4D

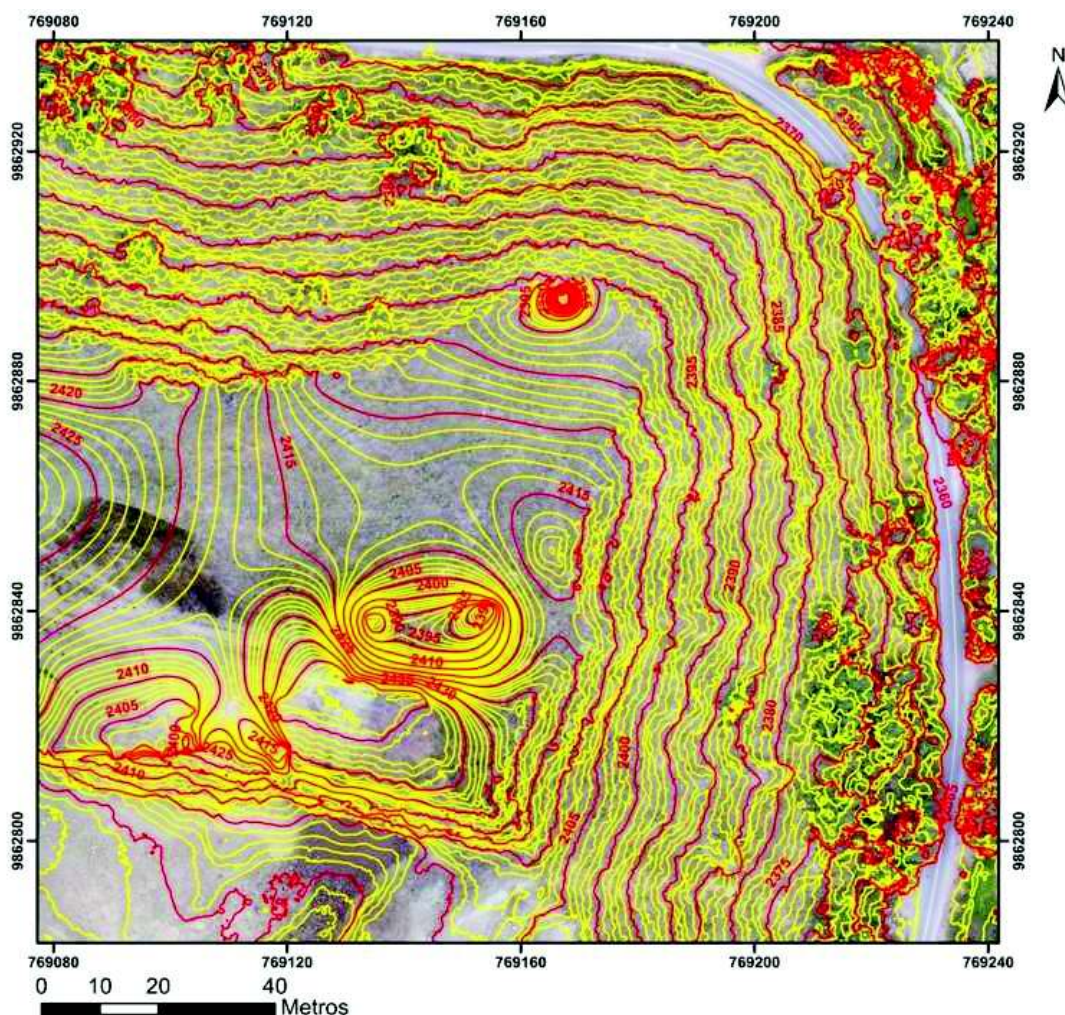


ELABORACIÓN: (Costales, 2018)

En la Figura 4.14 se presenta el mapa de la generación de curvas de nivel de la misma sección con Agisoft. Se observaron curvas irregulares que no siguen un patrón determinado, además se observa superposición de líneas en varios sectores de la

montaña por lo que no se pueden establecer la cota más alta ni la más baja de la zona pero se encuentran entre los 2360 y 2425 msnm.

FIGURA 4.14 VISTA DE CURVAS DE NIVEL DE LA CANTERA GENERADAS EN AGISOFT PHOTOSCAN



ELABORACIÓN: (Costales, 2018)

En ambos ejemplos se observa que Pix4D presenta mejores resultados en cuanto a representación de curvas de nivel. El resultado de Agisoft PhotoScan podría mejorar si es que se realiza el paso adicional de clasificar la nube de puntos densa durante el procesamiento, a pesar de que este es un proceso adicional que demanda mayor cantidad de tiempo, es una manera de excluir las zonas con vegetación abundante de la generación de las curvas, para que se considere solamente la superficie de suelo como base del modelo. Este procedimiento no se lo realizó ya que el objetivo de este estudio

es evaluar los resultados que genera cada programa bajo las mismas condiciones y parámetros, sin realizar procesos adicionales.

4.5 CÁLCULO DE ÁREAS

La metodología para determinar áreas en Pix4D toma un poco más de tiempo debido a que el programa brinda la opción de corregir los vértices del polígono creado, con el fin de generar un margen de error en la medición, lo que permite tener una idea de la exactitud del cálculo realizado. Esto no es algo que se puede realizar en Agisoft, ya que en este programa al delimitar el polígono los vértices del mismo son fijos y el cálculo del área se expresa como un solo valor sin error.

Por otro lado se presenta una diferencia en cuanto a visibilidad durante la delimitación del polígono en las zonas de interés. En Agisoft esta delimitación se la realiza en la vista de ortomosaico, mientras que en Pix4D se la efectúa en la vista de nube de puntos densificada. La vista de ortomosaico permite al usuario identificar los límites de las zonas de interés de una manera más clara y precisa, mientras que para tener la misma claridad de vista en la nube de puntos densificada es necesario ingresar a las imágenes de dicha sección para tener una mejor precisión.

Esto indica que para poder realizar el cálculo de áreas en Agisoft es necesario que primero sea generado el ortomosaico, por lo que se debe esperar todo el tiempo de procesamiento que le tome al programa generar el mismo para hacer uso de esta herramienta. En Pix4D el cálculo de áreas se lo puede realizar después de que se haya generado solamente el primer paso del procesamiento, es decir se pueden obtener resultados en un menor tiempo sin necesidad de esperar el procesamiento de los pasos dos y tres del programa.

A continuación en la Tabla 4.9 se presentan las áreas de los ocho terrenos calculados con ambos programas.

TABLA 4.9 RESULTADO DEL CÁLCULO DE ÁREAS CON AMBOS PROGRAMAS

LUGAR	PIX4D		AGISOFT PHOTOSCAN	DIFERENCIA (m ²)
	Área (m ²)	Error (m ²)	Área (m ²)	
Terreno 1	6896.81	± 5.46	6895.5	1.31
Terreno 2	7768.55	± 3.43	7761.3	7.25
Terreno 3	6591.20	± 3.81	6585.0	6.2
Terreno 4	7606.24	± 1.60	7599.5	6.74
Terreno 5	6663.39	± 16.11	6657.2	6.19
Terreno 6	6822.26	± 4.65	6815.9	6.36
Terreno 7	7166.81	± 1.26	7160.2	6.61
Terreno 8	7115.35	± 2.18	7108.8	6.55

ELABORACIÓN: (Costales, 2018)

En cuanto a la comparación del resultado del área de cada terreno obtenida por los programas, se observa que en Pix4D se obtuvieron dimensiones mayores a las obtenidas en Agisoft. Esta diferencia de áreas es mínima y se refleja en la TABLA 4.9. La misma puede deberse principalmente a que los vértices de los polígonos fueron marcados en el mismo lugar con la mayor aproximación posible que se podía lograr visualmente para que coincidan en cada programa.

En el caso de Pix4D, que reporta un margen de error en el cálculo de cada área, se observa que este error es menor al 1% en todos los casos.

Una vez finalizadas las mediciones, tanto Pix4D como Agisoft, permiten exportar los polígonos creados y sus vértices en formato *shp*, *dxf* o *kml* para que estos puedan ser visualizados en otros programas que sean compatibles con estos formatos.

Además Agisoft PhotoScan permite generar un reporte de los cálculos realizados y exportarlo en formato *pdf*, este reporte se puede observar en el Anexo 5.

4.6 CÁLCULO DE VOLUMEN

En el cálculo de volumen se presenta la misma diferencia que en el cálculo de áreas en cuanto a visibilidad, ya que la superficie sobre la que se trabaja en Agisoft es el ortomosaico y la superficie de Pix4D corresponde a la vista de la malla 3D texturizada.

Si bien es cierto la malla 3D texturizada tiene una mejor visibilidad en comparación con la nube de puntos densificada, que es con la que se trabaja para el cálculo de áreas en Pix4D, sin embargo la vista de ortomosaico siempre mostrará una mejor representación visual del terreno sobre el que se está trabajando.

Otro factor que se debe tomar en cuenta para realizar el cálculo de volúmenes es que tanto Pix4D como Agisoft requieren que sean generados todos los productos del procesamiento para hacer uso de esta herramienta.

Pix4D, al igual que en la determinación de dimensiones de superficie, calcula el volumen con su margen de error correspondiente, lo que incrementa la precisión del mismo.

Los resultados del cálculo del volumen de la cantera y de la pila de ripio con ambos programas se presentan en la TABLA 4.10.

TABLA 4.10 RESULTADO DEL CÁLCULO DE VOLUMENES CON AMBOS PROGRAMAS

LUGAR	PIX4D		AGISOFT PHOTOSCAN	DIFERENCIA (m ³)
	Volumen (m ³)	Error (m ³)	Volumen (m ³)	
Cantera	2 448 358.11	± 2 705.14	1 985 510	462 848.11
Ripio	1 170.87	± 23.39	1 026.1	144.77

ELABORACIÓN: (Costales, 2018)

Se puede observar que Pix4D presenta valores más altos que los calculados con Agisoft con diferencias significativas en ambos casos. Esta diferencia puede estar ligada al hecho de que Pix4D brinda más opciones de selección del plano base de cálculo que se asemejan de mejor manera al tipo de terreno sobre el que se está trabajando, y esto de igual manera le brinda mayor confianza y facilidad de trabajo al usuario.

Adicionalmente Pix4D reporta un margen de error en el cálculo del volumen de cada zona y se observa que este error es menor al 1% para la cantera y para la pila de ripio es aproximadamente del 2%.

De igual manera, tanto Pix4D como Agisoft, permiten exportar los polígonos creados y sus vértices en formato *shp*, *dxf* o *kml* para que estos puedan ser visualizados en otros programas que sean compatibles con estos formatos. También Agisoft PhotoScan genera un reporte de los cálculos realizados el cual es posible exportar en formato *pdf*. Este reporte se puede observar en el Anexo 6.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El plan de vuelo es el paso principal dentro de los proyectos de fotogrametría con vehículo aéreo no tripulado, ya que es aquí en donde se define la altura de vuelo, se delimita la zona de interés y se especifica el traslape de fotografías, todo esto en función del producto que se desea obtener. La altura de vuelo determina la resolución de detalle de las fotografías que se desea obtener, a medida que se aumenta la altura de vuelo, la resolución de la zona de interés va disminuyendo y viceversa. La delimitación del plan de vuelo se la debe realizar siempre unos metros por fuera de la zona de interés para que en el procesamiento de imágenes la construcción del modelo cubra toda la superficie de la zona sin dejar imperfecciones en sus límites. El traslape de fotografías influye en la calidad y en el detalle de construcción del modelo, zonas con densidad de vegetación alta o con gran cantidad de construcciones requieren de un porcentaje de traslape mayor que las zonas planas con pocos objetos sobre la superficie.

- La aplicación para dispositivos móviles Maps Made Easy es una herramienta útil para elaborar planes de vuelo de UAVS ya que permite definir los parámetros de altura y velocidad de vuelo, porcentaje de traslape de fotografías, guardar y editar planes de vuelo para trabajar sin conexión a internet, establecer el mayor uso posible de cada batería durante el vuelo, y además cuenta con un indicador de la calidad de señal entre el control remoto y el dron para que este no pierda la conexión. Todos estos atributos contribuyen a un fácil manejo de la aplicación y a que esta sea amigable con el usuario para realizar cualquier tipo de trabajo.

- La toma de puntos de control es un procedimiento necesario que se debe efectuar cuando se realizan proyectos técnicos de fotogrametría con UAV en donde se deseen obtener datos de distancias, áreas, volúmenes u ortomosaicos georreferenciados, ya que a través de estos se incrementa la precisión geográfica de las reconstrucciones del trabajo, algo que no se puede lograr solamente con el sistema de posicionamiento incorporado en el UAV. La toma de estos puntos

se la debe realizar con equipos GPS de alta precisión como el utilizado en este proyecto, que brinden coordenadas geográficas exactas y reales de toda la zona de interés. Para manejar estos equipos de posicionamiento se requieren ciertos conocimientos específicos de topografía, caso contrario se pueden generar errores en la obtención de los datos o en su interpretación.

- Se establecieron los mismos parámetros de procesamiento de imágenes para cada proyecto, tanto en Pix4D como en Agisoft PhotoScan, y se determinó que el programa que generó resultados en un menor tiempo total de proceso para ambos proyectos fue Pix4D. Particularmente para el proyecto de los Terrenos Quinta Santa Rosa Amelia Agisoft procesó la información en un tiempo 3.3 veces mayor al de Pix4D, mientras que para el proyecto de la Cantera en el sector de Las Viñas el resultado del tiempo de procesamiento con Agisoft fue 2.4 veces superior al tiempo con Pix4D.
- A nivel general el procedimiento que más tiempo le toma a cada programa procesar es el de la nube de puntos densificada, ya que este es el primer paso y la base para generar los productos posteriores que se desean obtener en cada proyecto.
- El resultado de la precisión lograda en cada programa con el ingreso de los puntos de control para ambos proyectos, muestra que Pix4D presenta un error menor en la corrección de posicionamiento en los tres ejes (x y z) frente a Agisoft. Este ajuste en las coordenadas geográficas implica que los proyectos procesados con Pix4D presentan una georreferenciación de mejor precisión.
- La calidad visual de los ortomosaicos generados para cada proyecto con los programas Pix4D y Agisoft PhotoScan no presentan ninguna diferencia significativa que haga prevalecer la elección de un programa sobre otro para la obtención de este producto. En estos se observa la misma nitidez y detalle de imagen, lo que permite exportarlos a otros programas para poder realizar sobre estos medidas de longitud y superficie, ordenamiento territorial, planimetría de terrenos, inspección de zonas específicas de interés e incluso se puede dar un monitoreo continuo a bosques protegidos, cuencas hidrográficas o glaciares a

través de la generación de cartografía con la ayuda de los sistemas de información geográfica.

- El análisis de las curvas de nivel generadas por los programas para los dos proyectos muestra que con Pix4D se obtienen curvas suaves y uniformes que se asemejan a las superficies observadas en campo. Mientras que las curvas de nivel de Agisoft son irregulares y se superponen unas con otras en zonas con vegetación abundante, algo que no tiene relación con lo que se observó en cada zona. La diferencia del resultado en este producto fue bastante evidente, siendo muy superior la calidad de generación de Pix4D frente a la de Agisoft PhotoScan.
- La herramienta de cálculo de áreas permite realizar representaciones planimétricas a partir de fotografías aéreas. Los atributos y facilidad de manejo que presentan Pix4D y Agisoft PhotoScan para el uso de esta herramienta son bastante similares, y la diferencia en los resultados obtenidos con cada programa no es significativa. A pesar de esto Pix4D tiene un valor agregado ya que realiza los cálculos de áreas presentando un margen de error, el cual sirve como referencia de la precisión con la que trabaja el programa para realizar mediciones.
- El manejo de los programas para aplicar la herramienta de cálculos volumétricos es un tanto más compleja que la del cálculo de áreas, ya que se requiere de una interpretación técnica para seleccionar el plano base para cálculo del volumen de la zona sobre la que se desea trabajar. Las diferentes opciones de plano base que presenta Pix4D permiten al usuario seleccionar el plano que mejor se ajuste al resultado específico que se desea obtener, brindando opciones cálculo de volúmenes de llenado, sobre superficie, sobre pendientes planas o pronunciadas e incluso volúmenes parcial o totalmente rodeados por muros. Por otra parte Agisoft dispone de menos opciones de selección de plano base para el cálculo de volumen, que limitan al usuario a solo poder obtener resultados para ciertos proyectos con este programa.
- Esta investigación permite a los usuarios de fotogrametría comprender como se comparan los atributos que poseen estos programas para realizar el

procesamiento de imágenes aéreas levantadas con UAV aplicado a proyectos técnicos de ingeniería.

- En función de todos los parámetros evaluados en esta investigación se determinó que Pix4D presenta mejores resultados que Agisoft en tiempo de procesamiento, corrección de coordenadas geográficas mediante puntos de control y en cálculos de áreas y volúmenes.

5.2 RECOMENDACIONES

- Un factor adicional que se puede tomar en cuenta en la elección entre un programa u otro para el procesamiento de fotogrametría aérea es el costo de la licencia de uso de cada uno de ellos, ya que la licencia de uso de Pix4D se la debe renovar anualmente y la licencia de Agisoft PhotoScan es de un solo pago sin un límite de tiempo de uso determinado. En este estudio no fue considerado ese factor ya que el análisis se lo realizó con las versiones de prueba que ofrecen los mismos con la finalidad de analizar únicamente los productos generados y sus atributos de procesamiento.
- Los puntos de control deben ser marcados sobre el terreno con la mayor visibilidad posible para que sean fácilmente identificables en las fotografías aéreas.
- Se recomienda para futuras investigaciones realizar un análisis de la relación que existe entre la cantidad de puntos de control tomados, su distribución sobre el terreno y el nivel de precisión alcanzado en los levantamientos con cada punto, ya que si bien estos puntos contribuyen a una mejor georreferenciación de los proyectos en algún momento el incremento de los puntos de control puede resultar innecesario o incluso contraproducente cuando la variación de la precisión llegue a ser mínima.
- El tiempo de procesamiento con cada programa es un factor que puede ser reducido si es que se utiliza una estación de trabajo de mejores características técnicas en cuanto a procesador y memoria.

- En esta investigación se utilizaron para el procesamiento la mayoría de configuraciones predeterminadas de cada programa, para futuras investigaciones sería beneficioso identificar los efectos que tendrían en los productos generados la modificación de estos parámetros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aliendre, R. (2017). Puntos de control para levantamientos topográficos con drones [online]. ISSUU: Digital Publishing Platform for Magazines, Catalogs, and more. Disponible en https://issuu.com/rubendarioaliendremartinez/docs/puntos_de_control_para_levantamiento. Recuperado el 08 de Mayo de 2018.
- Barrientos, A., Del Cerro, J., Gutiérrez, P., San Martín, R., Martínez, A., & Rossi, C. (2007). Vehículos aéreos no tripulados para uso civil. Tecnología y aplicaciones. En *II Congreso Español de Informática*. En Zaragoza, España, del 11 al 19 de Septiembre. (p. 29).
- Carretero, S. (2015). *Modelos digitales del terreno mediante fotogrametría aérea realizada con un vehículo aéreo no tripulado*. Tesis para el título de Ingeniero en Energía. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. (p.70).
- CONACYT. (2017). Drones para el cuidado ambiental [online]. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México. Disponible en <http://conacytprensa.mx/index.php/ciencia/ambiente/16862-drones-cuidado-ambiental>. Recuperado el 20 de abril de 2018.
- Cuerno, C. (2015). Origen y desarrollo de los sistemas de aeronaves pilotadas por control remoto. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. *Los Drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil* (pp. 15–32). Madrid, España: Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid.
- Dávila, E. (2018). Los drones despegan en Ecuador [online]. Grupo El Comercio C. A. Disponible en <https://www.elcomercio.com/guaifai/tecnologia-drones-despegan-ecuador.html>. Recuperado el 22 de abril de 2018.
- DAC. Resolución No.251: Operación de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS) (2015). Ecuador: Dirección General de Aviación Civil.
- Hernández, D. (2006). Introducción a la fotogrametría digital (1ra Ed., pp. 1–30). Ciudad Real, España: Universidad de Castilla - La Mancha.
- Hernández, J., Espinel, E., Jácome, L., & Herrera, J. (2016). Uso De Vehículos Aéreos No Tripulados “Drones”, En La Enseñanza Académica Profesional: Caso Ingeniería Ambiental Y Civil. En *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI*. En Cartagena de Indias, Colombia, del 4 al 7 de Octubre de 2016. (p. 10).

- López, A. (2014). *Planificación de vuelos fotogramétricos para U.A.V. para cliente QGIS*. Tesis para el título de Master en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica. Universidad de Oviedo, Mieres, España. (p. 32 más anexos).
- Martínez, J. (2015). Los drones y el medio ambiente [online]. Universidad de Valencia. Disponible en <http://drones.uv.es/los-drones-y-el-medio-ambiente/>. Recuperado el 21 de enero de 2018.
- Martínez, P., Ojeda, D., Pérez, E., & Bravo, F. (2015). Vehículos aéreos no tripulados (VANT) en Cuba, aplicados a la geomática. Estado actual, perspectivas y desarrollo. En *XV Encuentro de Geógrafos de América Latina*. En La Habana, Cuba, del 6 al 10 de Abril de 2015. (p. 9).
- Martorell, A. (2017). Comparativa de programas para fotogrametría [online]. Geoinnova. Disponible en <https://geoinnova.org/blog-territorio/comparativa-de-programas-para-fotogrametria/>. Recuperado el 15 de enero de 2018.
- MEP. (2014). China uses drones to check pollution [online]. Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. Disponible en http://english.mee.gov.cn/News_service/media_news/201403/t20140313_269142.shtml. Recuperado el 18 de abril de 2018.
- Mitsikostas, E. (2017). *Monitorización y Optimización de Tierras con Drones y Fotogrametría Aérea para Aplicaciones de Precisión en Agricultura*. Tesis para el título de Ingeniero en Geomática y Topografía. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España. (p. 87 más anexos).
- Oñate, M. (2015). Tipología de Aeronaves Pilotadas por Control Remoto. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. *Los Drones y sus Aplicaciones en Ingeniería Civil* (pp. 49–57). Madrid, España: Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid.
- Pinto, R. (2016). Drones: La tecnología, ventajas y sus posibles aplicaciones [online]. Sociedad Nacional de Minería. Disponible en <http://www.sonami.cl/site/wp-content/uploads/2016/03/09.-Drones-La-tecnologia-ventajas-y-sus-posibles-aplicaciones.pdf>. Recuperado del 22 de Enero de 2018.
- Quirós, E. (2014). Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil (1ra Ed., pp. 45–57). Cáceres, España: Servicio de Publicaciones Universidad de Extremadura.
- Rossi, A., Rhody, H., Salvaggio, C., & Walvoord, D. (2012). Abstracted Workflow Framework with a Structure from Motion Application. En *Image Processing*

- Workshop (WNYIPW)*. En New York, Estados Unidos, el 09 de Noviembre de 2012. (p. 4).
- Ruiz, M. (2003). *Nociones de Topografía y Fotogrametría Aérea* (1ra Ed., pp. 273–293). Granada, España: Editorial Universidad de Granada.
- Saenz, D., & Beltrán, A. (2015). *Aplicaciones Cartográficas*. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. *Los Drones y sus Aplicaciones a la Ingeniería Civil* (pp. 67–76). Madrid, España: Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid.
- Sánchez, M., Domínguez, E., Iturbe, A., & Nava, J. (2013). Experiencias, programas de capacitación y transferencia de tecnología para la obtención de fotografías y videos a partir de VANT. En *XX Reunión Nacional SELPER, Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial*. En San Luis Potosí, México, del 25 al 31 de Octubre de 2013. (p. 9).
- Sani, J. (2015). *Vehículos aéreos no tripulados - UAV para la elaboración de cartografía escalas grandes referidas al marco de referencia SIRGAS-ECUADOR*. Tesis para el Título de Ingeniero Geógrafo y del Medio Ambiente. Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí, Ecuador. (p. 80 más anexos).
- Schwind, M. (2016). *Comparing and Characterizing Three-Dimensional Point Clouds Derived by Structure from Motion Photogrammetry*. Tesis para el título de Master en Ingeniería de Topografía Geoespacial. Texas A&M University-Corpus Christi, Texas, Estados Unidos. (p. 115).
- Tapia, I. (2017). *Análisis topográfico a detalle de un tramo de la quebrada Shanshayacu, sur del DMQ, usando técnicas aerofotogramétricas, como información base para el análisis de estabilidad de laderas*. Tesis para el título de Ingeniero Civil. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. (p. 64 más anexos).

ANEXOS

**ANEXO 1: MONOGRAFÍAS DE PUNTO DE CONTROL GEODÉSICO INSTITUTO
GEOGRÁFICO MILITAR**



MONOGRAFÍA DE PUNTO DE CONTROL GEODÉSICO



Proyecto	Nomenclatura del Punto	Monumentación	Urbanidad	Accesibilidad
SINGAS	63 01 C109	Placa	Urbana	Vehículo
Dátum Horizontal	SINGAS 95 (ITER 94)	Época de Referencia:	1955 A	Datado:
			005 EE	Dátum Vertical:
				Nivel Medio del Mar

País	Provincia	Cantón	Parroquia	Municipio
Ecuador	Chimborazo	Chimbo	Loto	Elche PANTAÑO

Coordenadas Geográficas:		Coordenadas UTM:		Fecha de Determinación:	Altura Nivelada (m):
Latitud (° ' '')	81° 43' 13.7402" S	Zona:	17 S	04/04/2015	1580.3374
Longitud (° ' '')	78° 13' 18.1343" W	Norte (m):	9897609.856	Orden:	Tercera
Altura Elipsoidal (m):	2688.781	Este (m):	764858.050	Equipo Utilizado:	GPS TRIMBLE
				Modelo:	CNS5 E3
					Tipo de Nivelación:
					Geométrica



Ubicación: El punto se encuentra al pie de un cerro en la zona rural "Pantaño".

Accesibilidad: Partiendo del HOSPITAL PROVINCIAL DOCENTE "Miguel Alemán Cordero" se toma el camino conocido como la "Y de la Virgen", de aquí se prosigue 1.9 km hasta el punto que se encuentra sobre el río Chiburga, luego por sendero y hasta la finca "El Loto" hasta llegar a la finca PANTAÑO allí donde se encuentra el PAT.

Materialización: El punto se ha materializado a través de una placa de aluminio de 12 cm de diámetro, sobre la cual se ha grabado el nombre del punto 63_01_C109, el año y otros datos de coordenadas y se correspondencia incorpora del IGM como institución ejecutora del presente trabajo.

Elaborado: 
Geom. Narraza José
TÉCNICO DE GEODESIA



INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR
Monografía de Punto de Control Geodésico

Unidad Operativa:		Registro en el IGM:					
Proyecto: PILLARO		Nombre del Punto: PE 13507-X					
Código del Punto: 182155303		4235					
LOCALIZACIÓN DEL PUNTO							
Pais:	Provincia:	Cantón:	Parroquia:				
Ecuador	Tungurahua	Ambato	Uamba				
Sitio: CEMENTERIO							
CONTROL HORIZONTAL							
Datum Horizontal: SGR85 95		Época de referencia: 1985.4					
Coordenadas Geográficas:		Coordenadas UTM:					
Latitud (" ' "):	5 31 13.42.4511	Zona:	17 S				
Longitud (" ' "):	W 078 35 10.6262	Norte (m):	885496.542				
Altura Elipsoidal (m):	2581.345	Este (m):	755694.673				
		Orden: TERCERO					
		Fecha de determinación: 07-12-2000					
CONTROL VERTICAL							
Datum Vertical: NIVEL MEDIO DEL MAR		Manoógrafo: LA LIBERTAD					
Línea Nivelación:		Fecha de determinación:					
Código de la Línea:		07-12-2000					
Elevación (m): 2554.2140		Orden: TERCERO					
Tipo Nivelación: GEOMETRICA		Zona:					
		Norte (m):					
		Este (m):					
GRAVIMETRIA							
Datum Gravimétrico:		Valor de Gravedad en Gal:					
		Orden:					
		Fecha de determinación:					
CROQUIS		FOTOGRAFIA PANORÁMICA					
		<table border="1"> <tr> <td>DESCRIPCIÓN:</td> <td>PLACA</td> </tr> <tr> <td> <p>Este punto de la esquina W del cruce de las calles Revolución y Voluntad de este, en todo el territorio de la localidad de Uamba.</p> </td> <td></td> </tr> </table>		DESCRIPCIÓN:	PLACA	<p>Este punto de la esquina W del cruce de las calles Revolución y Voluntad de este, en todo el territorio de la localidad de Uamba.</p>	
DESCRIPCIÓN:	PLACA						
<p>Este punto de la esquina W del cruce de las calles Revolución y Voluntad de este, en todo el territorio de la localidad de Uamba.</p>							
ACCESIBILIDAD		INSCRIPCIÓN EN LA PLACA					
<p>INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR</p> <p>CENTRO DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA</p> <p>ATENCIÓN CLIENTE GEOGRÁFICO MILITAR</p> <p>ENTREGADO</p> <p>13 MAR. 2018</p>		<p>INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR - SE PROHIBE DESTRUIR - PROYECTO PILLARO - PE 13507-X - XII-2000</p>					
		MATERIALIZACION					
		Placa de aluminio:					
		ESTADO					
		BUENO					
		Fecha de Última Visita:					
		07-12-2000					
OBSERVACIONES							
Las coordenadas SGR85 95 de la PCWAGE, se garantiza su consistencia hasta el 15 de abril de 2016 (Coordenadas Pre-Sinólicas), el uso de esta información será de responsabilidad exclusiva del Usuario.							
Elaborado por:		Ingresado:					
MEDRANO FLORES JACINTO NICANDR		ZAMBRANO BRAVO MIRIAN ALEXANDRA					
		Supervisado:					
		ING. ALEXANDER ROBAJO					

**ANEXO 2: REPORTE DE PROCESAMIENTO DE PIX4D Y AGISOFT
PHOTOSCAN**

Quality Report



Generated with PhotoMapper Professional 4.2.25

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	TESB_RIOBAMBA
Processed	2018-03-29 00:28:46
Camera Model Name(s)	FC6310_B.8_5472x6648 (RCB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	1.57 cm / 0.62 in
Area Covered	0.316 km ² / 31.6326 ha / 0.12 sq. mi. / 78.2068 acres

Quality Check

Images	median of 65706 keypoints per image	
Dataset	997 out of 997 images calibrated (100%), all images enabled	
Camera Optimization	2.00% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
Matching	median of 7962.2 matches per calibrated image	
Georeferencing	yes, 3 GCPs (3 3D), mean RMS error = 0.075 m	

Preview

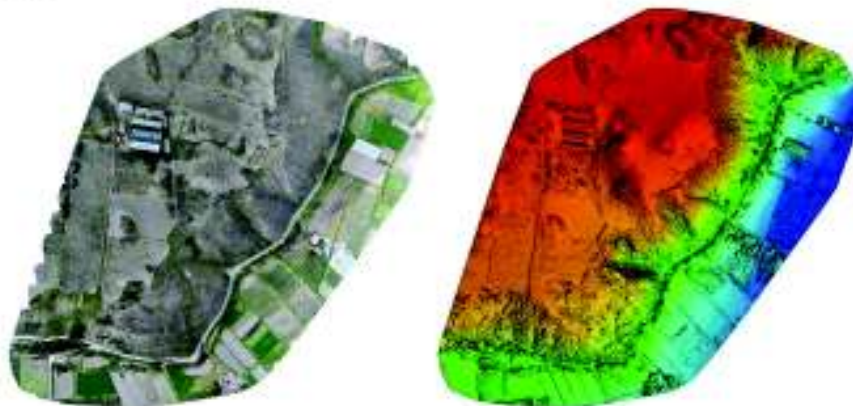


Figure 1. Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details

Number of Calibrated Images	997 out of 997
-----------------------------	----------------

Number of Geolocated Images

997 out of 997

1 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.

2 Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions

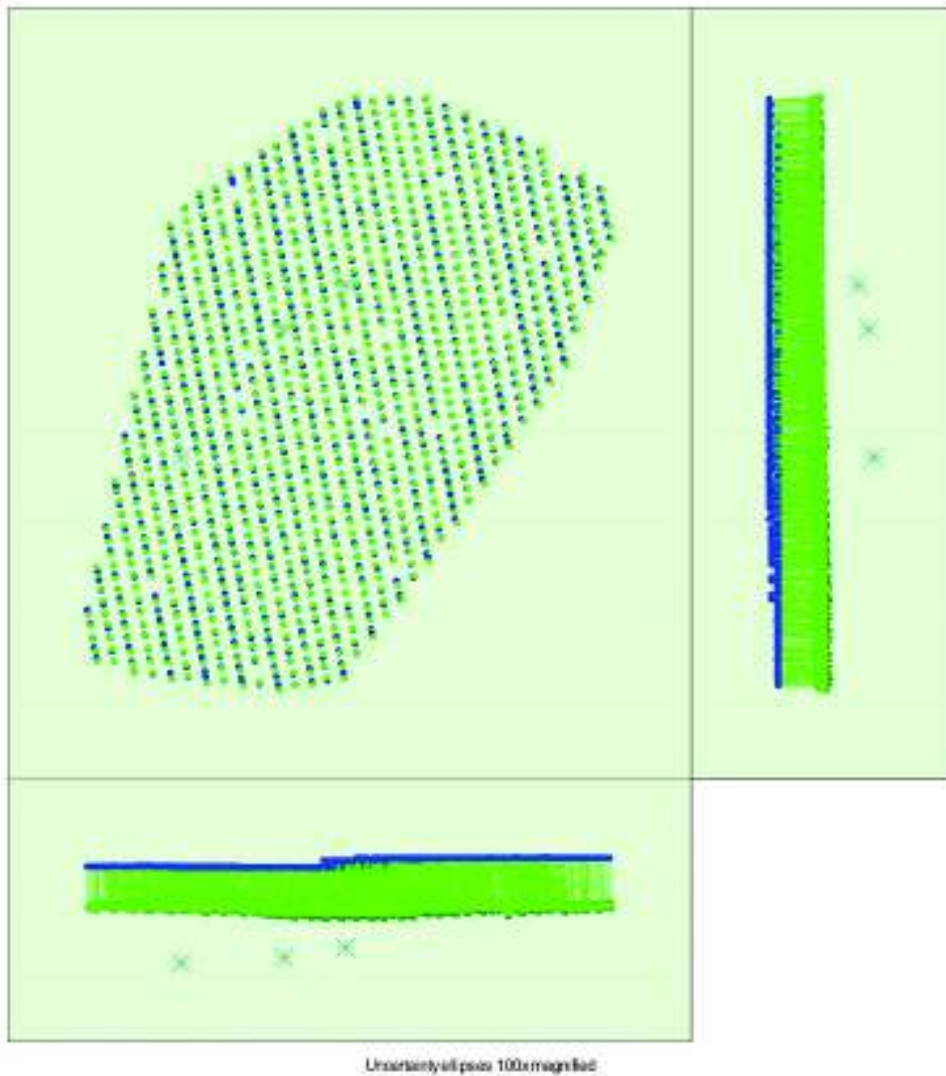


Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses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

1 Absolute camera position and orientation uncertainties

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.015	0.015	0.043	0.020	0.009	0.003
Sigma	0.003	0.002	0.015	0.002	0.001	0.001

2 Overlap

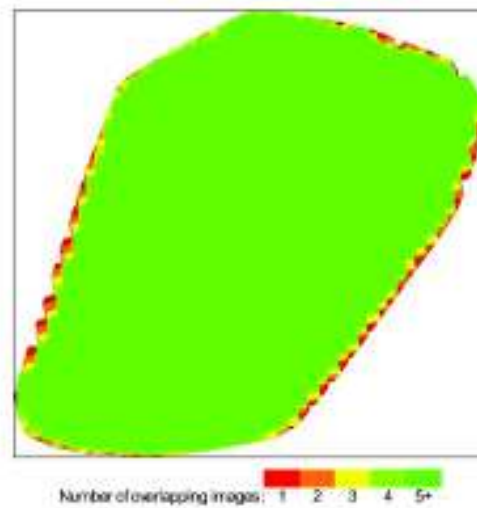


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which pair results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 3 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details

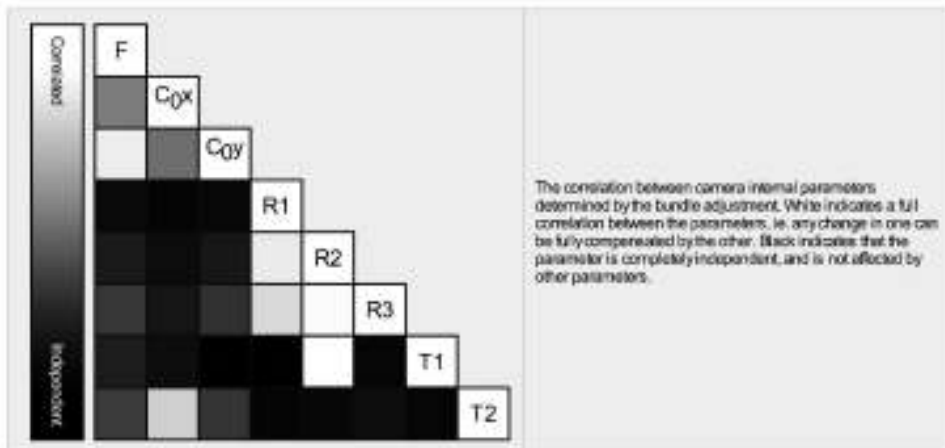
Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	9079009
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	2965277
Mean Reprojection Error (pixels)	0.117

Internal Camera Parameters

FC6316_8.8_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.833 [mm] x 8.556 [mm]

EXIF ID: FC6316_8.8_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	3658.759 [pixel] 8.604 [mm]	2736.001 [pixel] 6.417 [mm]	1823.989 [pixel] 4.278 [mm]	0.003	-0.003	0.000	-0.000	0.000
Optimized Values	3744.587 [pixel] 8.752 [mm]	2764.564 [pixel] 6.464 [mm]	1825.162 [pixel] 4.290 [mm]	0.004	-0.014	0.013	-0.001	0.002
Uncertainties (Sigma)	2.240 [pixel] 0.005 [mm]	0.042 [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	85706	7962
Min	33478	199
Max	80901	31902
Mean	64786	9105

3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	1891060
In 3 Images	507086
In 4 Images	212558
In 5 Images	111914
In 6 Images	68135
In 7 Images	44306
In 8 Images	30348
In 9 Images	22261
In 10 Images	15928
In 11 Images	11890
In 12 Images	9005
In 13 Images	6726
In 14 Images	5367
In 15 Images	4367
In 16 Images	3458
In 17 Images	2746
In 18 Images	2389
In 19 Images	2045
In 20 Images	1706
In 21 Images	1464
In 22 Images	1274
In 23 Images	1061

In 24 Images	829
In 25 Images	838
In 26 Images	775
In 27 Images	632
In 28 Images	597
In 29 Images	551
In 30 Images	503
In 31 Images	485
In 32 Images	389
In 33 Images	317
In 34 Images	315
In 35 Images	296
In 36 Images	258
In 37 Images	201
In 38 Images	203
In 39 Images	199
In 40 Images	174
In 41 Images	142
In 42 Images	131
In 43 Images	119
In 44 Images	122
In 45 Images	90
In 46 Images	88
In 47 Images	72
In 48 Images	51
In 49 Images	45
In 50 Images	44
In 51 Images	41
In 52 Images	33
In 53 Images	18
In 54 Images	31
In 55 Images	20
In 56 Images	17
In 57 Images	4
In 58 Images	7
In 59 Images	10
In 60 Images	8
In 61 Images	10
In 62 Images	4
In 63 Images	8
In 64 Images	3
In 65 Images	3
In 66 Images	1
In 67 Images	3
In 68 Images	3
In 69 Images	3
In 71 Images	1
In 72 Images	1
In 73 Images	1
In 76 Images	1

2D Keypoint Matches



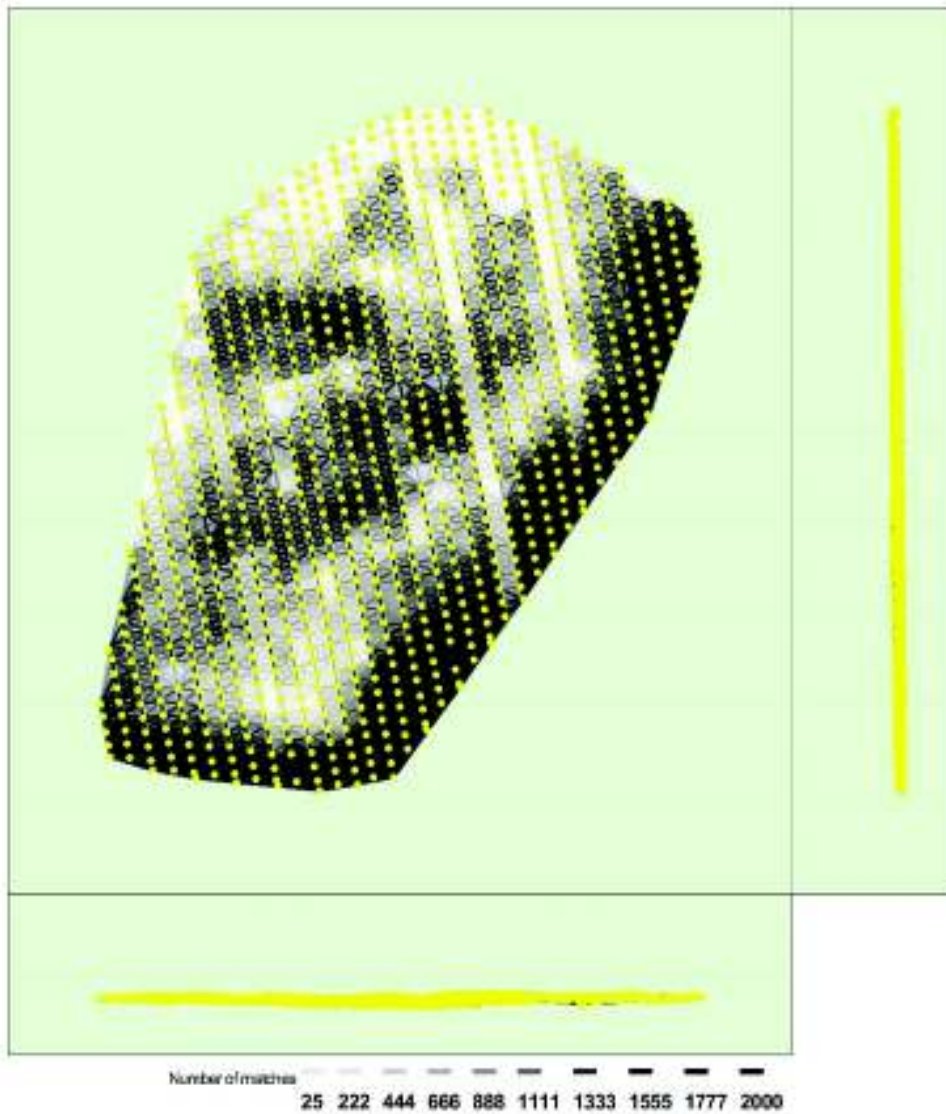


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images.

Geolocation Details

Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
PRC01 (3D)	0.030/0.020	0.121	0.049	0.021	0.414	4/4
PRC02 (3D)	0.030/0.020	-0.178	-0.081	-0.058	0.146	3/3
PRC03 (3D)	0.030/0.020	0.050	0.039	0.035	0.220	3/3
Mean [m]		-0.002100	-0.001161	-0.01855		

Sigma [m]	0.127695	0.063571	0.034220	
RMS Error [m]	0.127714	0.063581	0.033900	

Localization 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 v.s. manually marked.

7 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	0.60	2.01
-6.00	-3.00	0.00	14.04	27.18
-3.00	0.00	50.65	34.20	21.87
0.00	3.00	49.35	36.61	21.16
3.00	6.00	0.00	14.64	22.07
6.00	9.00	0.00	0.00	5.42
9.00	12.00	0.00	0.00	0.30
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		-0.359031	0.183213	44.216444
Sigma [m]		1.146346	2.028079	3.796064
RMS Error [m]		1.201254	2.035355	44.379171

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]	-0.359031	0.183213	44.216444

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

8 Relative Geolocation Variance

Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	100.00	95.89	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 Orientation Variance	RMS [degree]
Omega	1.134
Phi	0.873
Kappa	5.113

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

Initial Processing Details

System Information

Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-7700 CPU @ 3.60GHz RAM: 16GB GPU: NVIDIA GeForce GTX 1060 6GB (Driver: 21.21.13.7578)
Operating System	Windows 10 Pro, 64-bit

Coordinate Systems

Image Coordinate System	WGS84 (epsg:4326)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	WGS 84 / UTM Zone 17S (epsg:31471)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTM Zone 17S (epsg:31471)

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 Ransac: Auto, no

Point Cloud Densification details

Processing Options

Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
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
Time for Point Cloud Densification	04h:00m:50s
Time for Point Cloud Classification	15m:40s
Time for 3D Textured Mesh Generation	27m:50s

Results

Number of Processed Clusters	4
Number of Generated Tiles	5
Number of 3D Densified Points	123903905
Average Density (per m ³)	691.85

DSM, Orthomosaic and Index Details

Processing Options

DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (1.57 (m/px))
DSM Files	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 HTML: no
Grid DSM	Generated: yes, Spacing (m): 100
Raster DTM	Generated: yes Merge Tiles: yes
DTM Resolution	5 x GSD (1.57 (m/px))
Contour Lines Generation	Generated: yes Contour Base (m): 0 Elevation Interval (m): 1 Resolution (m): 100 Minimum Line Size (vertices): 20
Time for DSM Generation	01h:30m:43s
Time for Orthomosaic Generation	03h:33m:23s
Time for DTM Generation	53m:05s
Time for Contour Lines Generation	00s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s

TESIS RIOBAMBA

Processing Report
11 July 2018



Survey Data

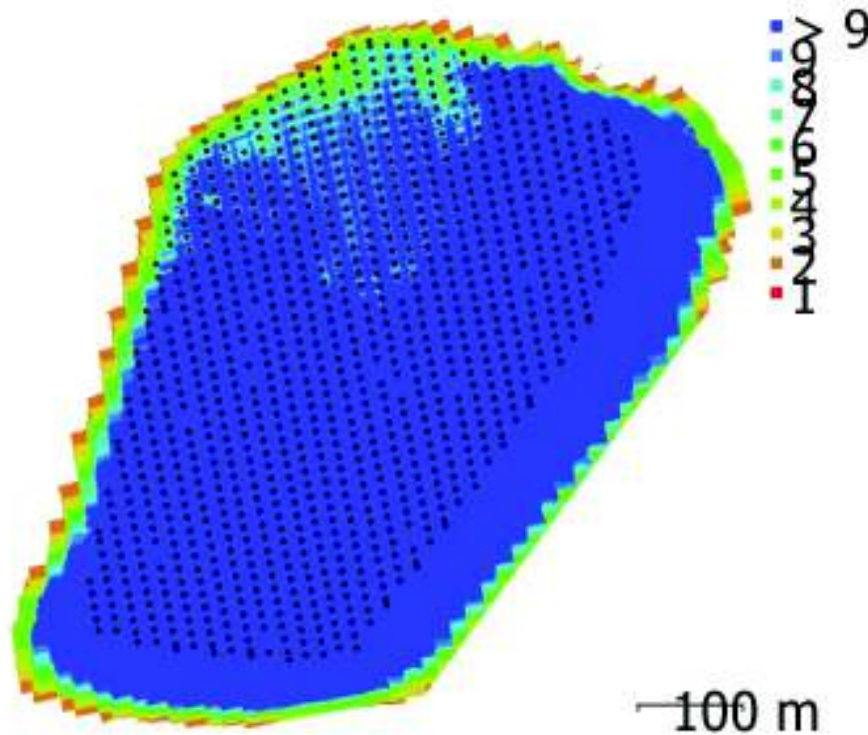


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	997	Camera stations:	996
Flying altitude:	75.4 m	Tie points:	736,468
Ground resolution:	1.84 cm/pix	Projections:	2,587,668
Coverage area:	0.313 km ²	Reprojection error:	0.404 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC6310 (8.8mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 μ m	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

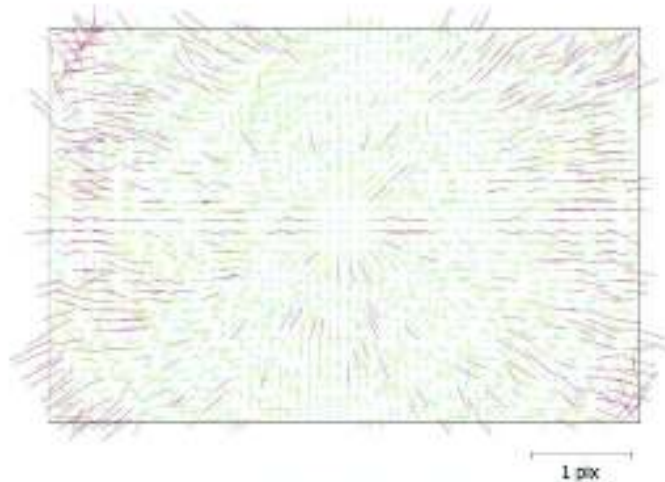


Fig. 2. Image residuals for FC6310 (8.8mm).

FC6310 (8.8mm)

997 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 μm

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
F	3689.32	0.63	1.00	0.61	0.95	0.02	-0.05	0.24	-0.43	0.55	-0.62	0.41	-0.27
Cx	28.887	0.01		1.00	0.57	0.03	0.01	0.15	-0.26	0.33	-0.37	0.82	-0.16
Cy	0.0121744	0.021			1.00	0.01	-0.05	0.23	-0.41	0.53	-0.59	0.38	-0.06
B1	-0.574027	0.017				1.00	0.07	0.01	-0.02	0.02	-0.03	0.02	-0.02
B2	0.221189	0.017					1.00	-0.02	0.02	-0.03	0.03	-0.01	0.00
K1	0.0155491	2.3e-05						1.00	-0.94	0.87	-0.80	0.11	-0.05
K2	-0.0774577	0.00012							1.00	-0.98	0.94	-0.18	0.12
K3	0.136809	0.00025								1.00	-0.99	0.22	-0.15
K4	-0.0008348	0.00018									1.00	-0.25	0.17
P1	0.00215846	8e-07										1.00	-0.10
P2	-0.000902951	5.7e-07											1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Ground Control Points

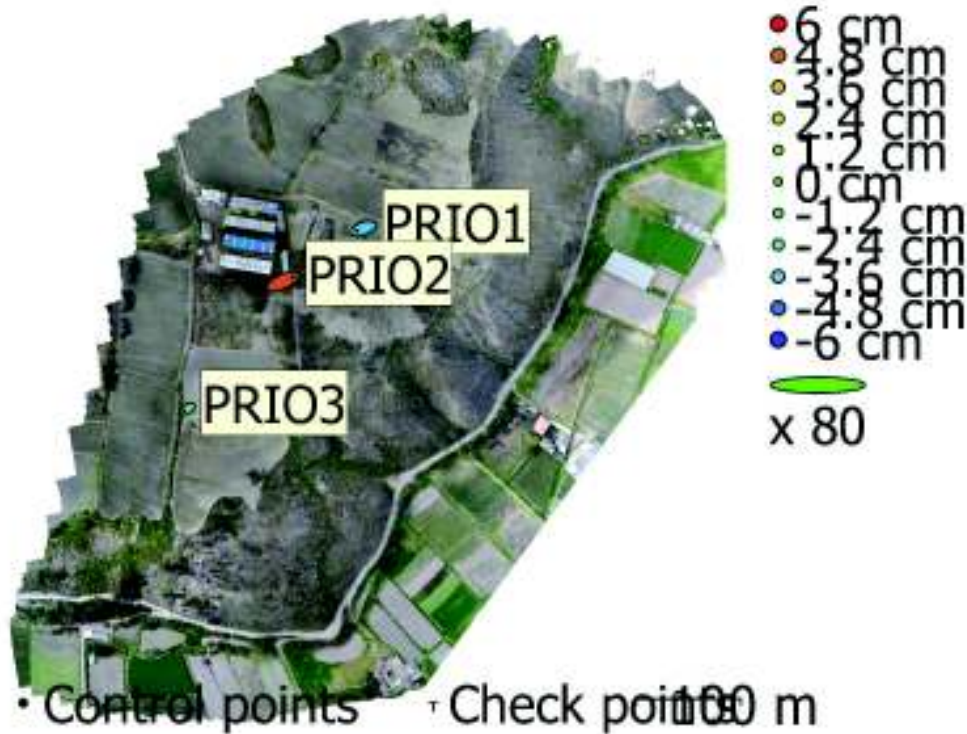


Fig. 3. GCP locations and error estimates.

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

Estimated GCP locations are marked with a dot or crossing.

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
3	16.6432	7.40278	3.73496	18.2153	18.5942

Table 3. Control points RMSE.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
PRI01	-16.2183	-5.74806	-3.86288	17.635	0.093 (13)
PRI02	22.8829	10.4543	5.05585	25.6609	0.072 (14)
PRI03	-6.65773	-4.69805	-1.16897	8.23186	0.066 (14)
Total	16.6432	7.40278	3.73496	18.5942	0.077

Table 4. Control points.
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Digital Elevation Model

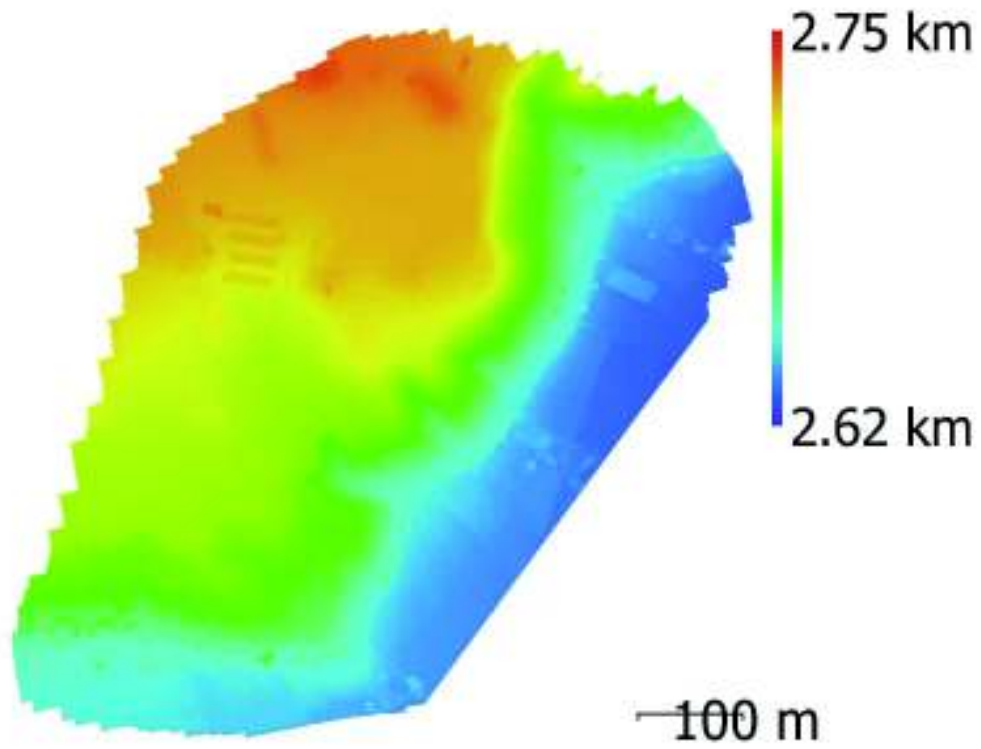


Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 3.68 cm/pix
Point density: 740 points/m²

Enable hole filling	Yes
Enable ghosting filter	No
UV mapping time	16 minutes 15 seconds
Blending time	1 hours 57 minutes
Tiled Model	
Texture	3 bands, uint8
Reconstruction parameters	
Source data	Dense cloud
Tile size	256
Enable ghosting filter	No
Processing time	6 hours 0 minutes
DEM	
Size	25,562 x 27,521
Coordinate system	WGS 84 / UTM zone 17S (EPSG::32717)
Reconstruction parameters	
Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Processing time	6 minutes 52 seconds
Orthomosaic	
Size	45,067 x 43,190
Coordinate system	WGS 84 / UTM zone 17S (EPSG::32717)
Colors	3 bands, uint8
Reconstruction parameters	
Blending mode	Mosaic
Surface	DEM
Enable hole filling	Yes
Processing time	38 minutes 23 seconds
Software	
Version	1.4.3 build 6488
Platform	Windows 64

Processing Parameters

General	
Cameras	997
Aligned cameras	995
Markers	3
Shapes	
Polylines	490
Polygons	168336
Coordinate system	WGS 84 / UTM zone 17S (EPSG::32717)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll
Point Cloud	
Points	735,468 of 780,126
RMS reprojection error	0.2132 (0.403853 pix)
Max reprojection error	0.761668 (26.1524 pix)
Mean key point size	1.86556 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	3.83032
Alignment parameters	
Accuracy	Highest
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Yes
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Adaptive camera model fitting	Yes
Matching time	33 minutes 36 seconds
Alignment time	4 minutes 32 seconds
Optimization parameters	
Parameters	f, b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1, p2
Adaptive camera model fitting	No
Optimization time	24 seconds
Dense Point Cloud	
Points	342,752,732
Point colors	3 bands, uint8
Reconstruction parameters	
Quality	High
Depth filtering	Moderate
Depth maps generation time	3 hours 17 minutes
Dense cloud generation time	20 hours 1 minutes
Model	
Faces	22,747,695
Vertices	11,381,745
Vertex colors	3 bands, uint8
Texture	4,096 x 4,096, 4 bands, uint8
Reconstruction parameters	
Surface type	Height field
Source data	Dense
Interpolation	Enabled
Quality	High
Depth filtering	Moderate
Face count	22,850,168
Processing time	29 minutes 25 seconds
Texturing parameters	
Mapping mode	Generic
Blending mode	Mosaic
Texture size	4,096 x 4,096

Quality Report



Generated with PhotoMapper Professional 4.2.25

- 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	TESIS_AMBATO
Processed	2018-03-28 16:37:04
Camera Model Name(s)	FC6310_B8_5472x6648 (RCB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	2.82 cm / 1.11 in
Area Covered	0.245 km ² / 24.5456 ha / 1.09 sq. mi. / 60.6846 acres

Quality Check

Images	median of 49903 keypoints per image	
Dataset	222 out of 222 images calibrated (100%), all images enabled	
Camera Optimization	5.1% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
Matching	median of 11739.7 matches per calibrated image	
Georeferencing	yes, 2 GCPs (2 3D), mean RMS error = 0.001 m	

Preview

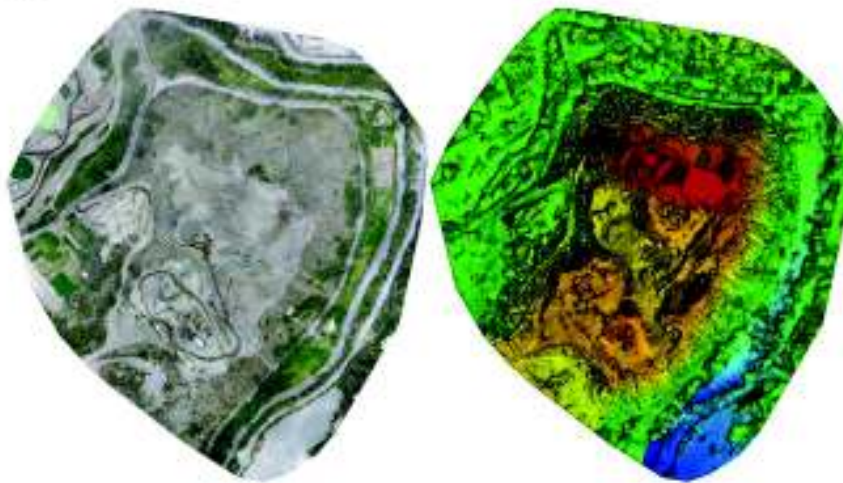


Figure 1. Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details

Number of Calibrated Images	222 out of 222
Number of Geolocated Images	222 out of 222

1 Initial Image Positions

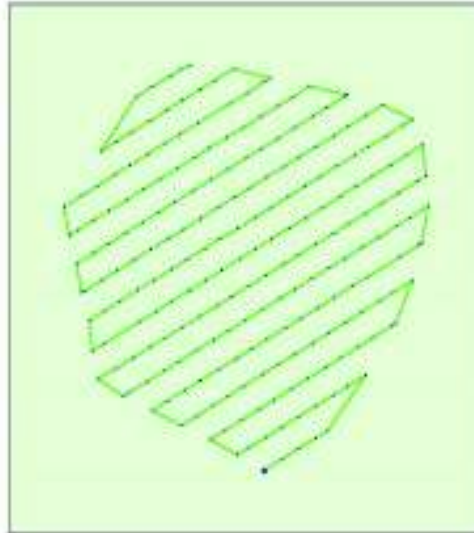


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

2 Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions

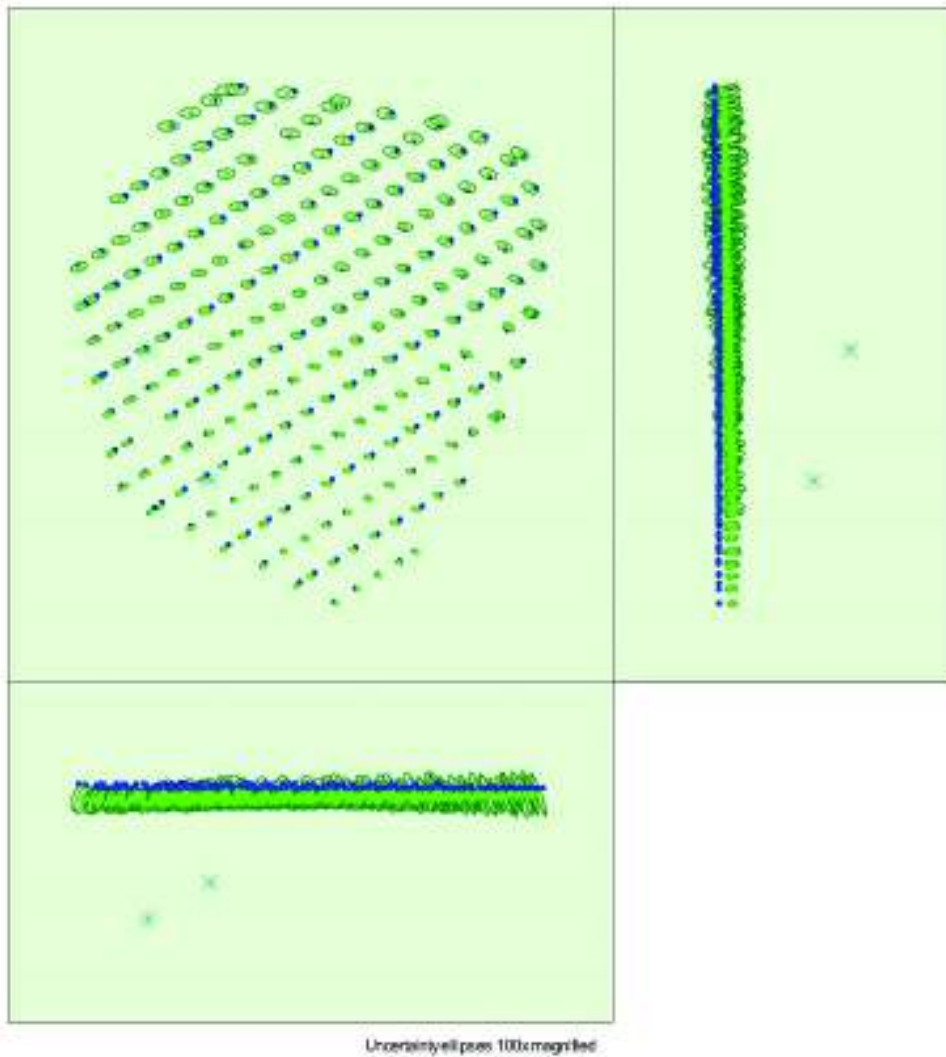


Figure 3. Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses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

⑤ Absolute camera position and orientation uncertainties

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.090	0.034	0.117	0.029	0.022	0.008
Sigma	0.017	0.010	0.008	0.001	0.001	0.000

⑥ Overlap

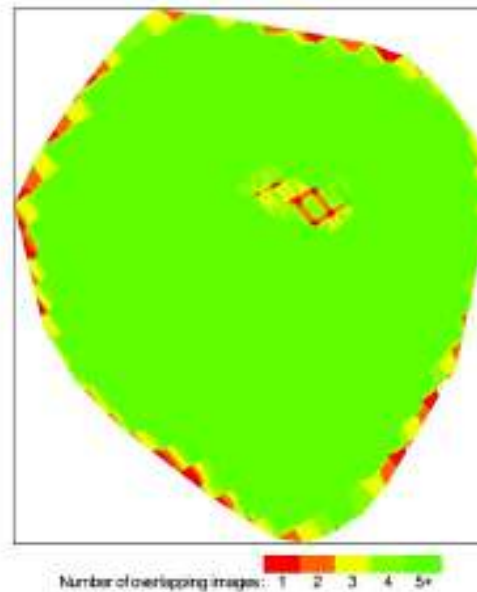


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the calibration area. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 (images for every pixel). Good quality results will be generated as long as the number of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

Bundle Block Adjustment Details

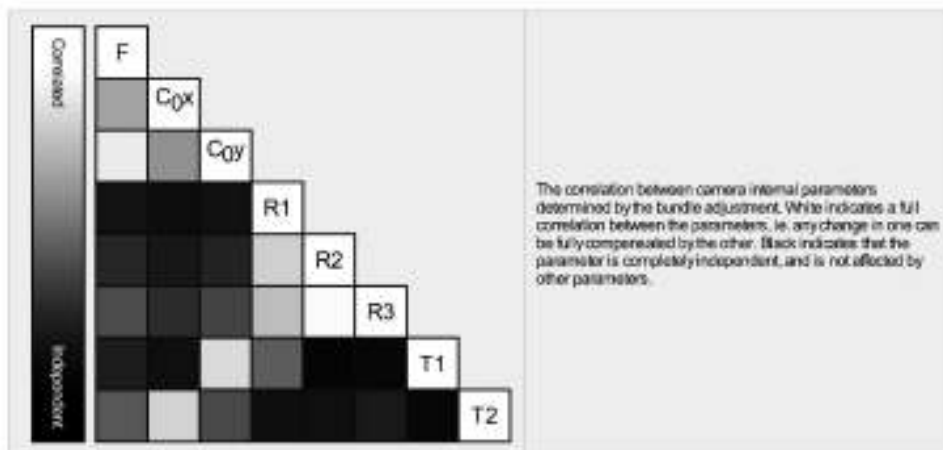
Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	2570195
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	672946
Mean Reprojection Error (pixels)	0.155

Internal Camera Parameters

FC6310_8.8_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.833 [mm] x 8.556 [mm]

DEF ID: FC6310_8.8_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	3958.759 [pixel] 6.604 [mm]	2736.001 [pixel] 6.417 [mm]	1823.999 [pixel] 4.278 [mm]	0.003	-0.008	0.008	-0.000	0.000
Optimized Values	3896.108 [pixel] 8.044 [mm]	2766.265 [pixel] 6.488 [mm]	1827.435 [pixel] 4.296 [mm]	-0.005	-0.018	0.017	-0.001	0.002
Uncertainties (Sigma)	3.999 [pixel] 0.009 [mm]	0.076 [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	49903	11740
Min	30242	212
Max	65402	31773
Mean	49138	11577

3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	583337
In 3 Images	122672
In 4 Images	51715
In 5 Images	29664
In 6 Images	19395
In 7 Images	14090
In 8 Images	10885
In 9 Images	8917
In 10 Images	6110
In 11 Images	4421
In 12 Images	3304
In 13 Images	2437
In 14 Images	1824
In 15 Images	1367
In 16 Images	917
In 17 Images	665
In 18 Images	500
In 19 Images	318
In 20 Images	248
In 21 Images	168
In 22 Images	138
In 23 Images	98

In 24 Images

8

2D Keypoint Matches

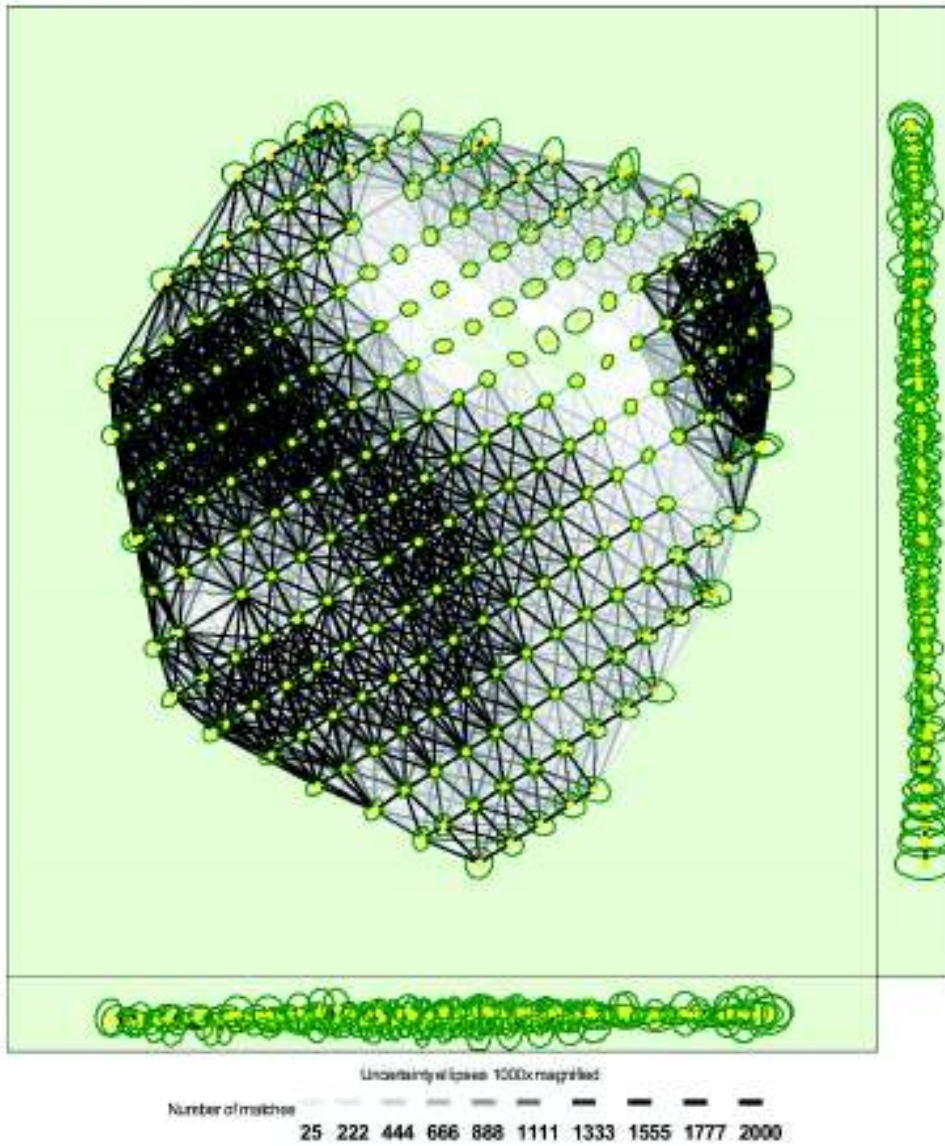


Figure 8: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual fix points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.006	0.006	0.008	0.006	0.007	0.002
Sigma	0.002	0.002	0.004	0.003	0.003	0.000

Geolocation Details

1 Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
PANB1 (3D)	0.020/0.020	-0.000	-0.003	-0.001	0.472	4/4
PANB2 (3D)	0.020/0.020	-0.001	0.001	-0.003	0.489	4/4
Mean [m]		-0.000548	-0.000709	-0.001807		
Sigma [m]		0.000320	0.002122	0.000702		
RMS Error [m]		0.000634	0.002237	0.001909		

Localization 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 v.s. manually marked.

2 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	21.17	21.17	0.00
0.00	3.00	37.84	52.61	0.00
3.00	6.00	36.49	16.22	3.60
6.00	9.00	4.50	0.00	34.68
9.00	12.00	0.00	0.00	42.34
12.00	15.00	0.00	0.00	19.37
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		2.250032	1.349865	9.705124
Sigma [m]		2.276622	1.999140	2.354053
RMS Error [m]		3.204542	2.095577	9.982641

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.

3 Relative Geolocation Variance

Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	87.39	100.00	99.90
[-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 Orientation Variance	RMS [Degree]
Omega	1.372
Phi	0.773
Kappa	5.129

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

Initial Processing Details

System Information

Hardware	CPU: Intel (R) Core(TM) i7-7700 CPU @ 3.60GHz RAM: 16GB GPU: NVIDIA GeForce GTX 1080 6GB (Driver: 21.21.13.7578)
Operating System	Windows 10 Pro, 64-bit

Coordinate Systems

Image Coordinate System	WGS84 (epsg:9001)
Output Coordinate System	WGS 84 / UTM zone 17S (epsg:9001)

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 Remesh: Auto, yes

Point Cloud Densification details

Processing Options

Image Scale	multiscale, 1G (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Meshes	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: no
LCD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	37m:32s
Time for Point Cloud Classification	05m:30s
Time for 3D Textured Mesh Generation	12m:58s

Results

Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	31035785
Average Density (per m ³)	136.71

DSM, Orthomosaic and Index Details

Processing Options



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (2.62 cm/pixel)
DSM Filter	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 HTML: no
Grid DSM	Generated: yes, Spacing (m): 100
Raster DTM	Generated: yes Merge Tiles: yes
DTM Resolution	5 x GSD (13.10 cm/pixel)
Contour Lines Generation	Generated: yes Contour Base (m): 0 Elevation Interval (m): 1 Resolution (m): 100 Minimum Line Size (vertices): 20
Time for DSM Generation	21m:48s
Time for Orthomosaic Generation	36m:06s
Time for DTM Generation	08m:53s
Time for Contour Lines Generation	02s
Time for Reflectance Mip Generation	00s
Time for Index Mip Generation	00s

TESIS AMBATO

Processing Report
10 July 2018



Survey Data

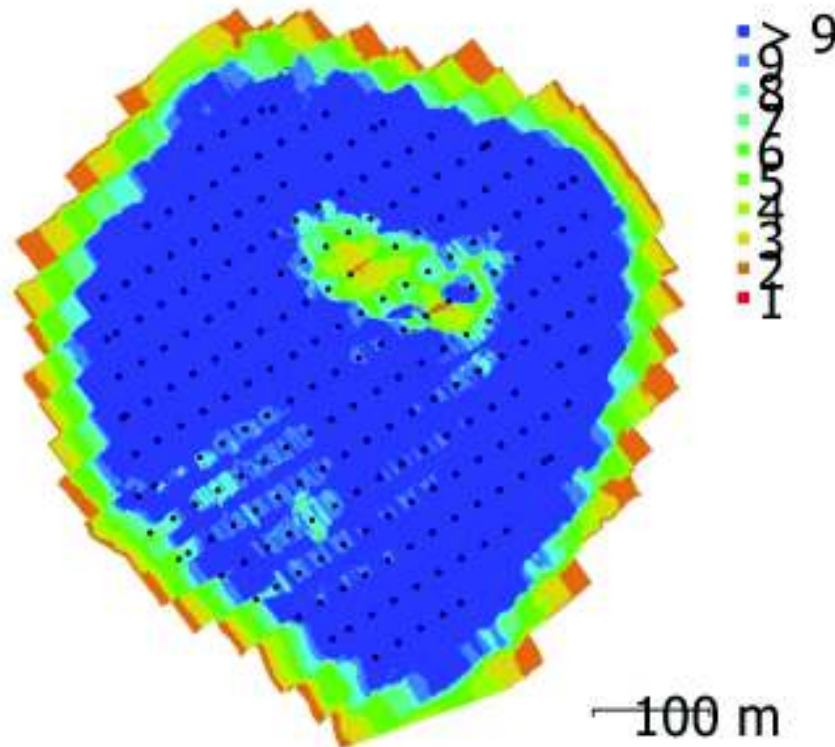


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	222	Camera stations:	221
Flying altitude:	106 m	Tie points:	191,006
Ground resolution:	2.53 cm/pix	Projections:	614,051
Coverage area:	0.25 km ²	Reprojection error:	0.39 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC6310 (8.8mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 μm	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

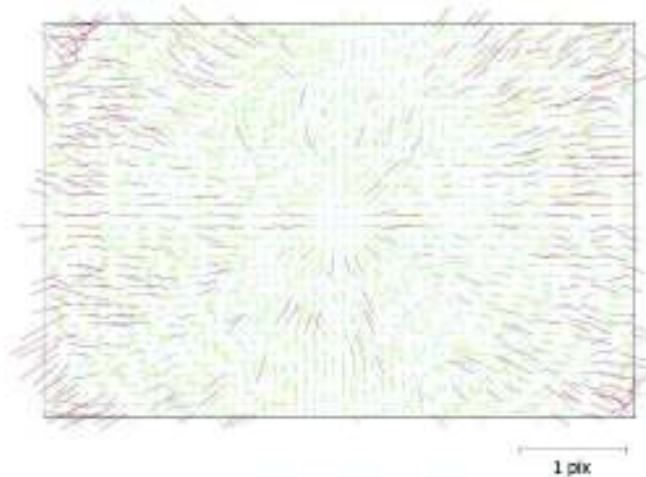


Fig. 2. Image residuals for FC6310 (8.8mm).

FC6310 (8.8mm)

222 images

Type Resolution Focal Length Pixel Size
Frame 5472 x 3648 8.8 mm 2.41 x 2.41 μ m

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
F	3665.88	2.2	1.00	0.82	0.96	-0.00	0.00	0.40	-0.65	0.76	-0.81	0.65	-0.39
Cx	28.8283	0.034		1.00	0.79	-0.01	0.02	0.33	-0.54	0.63	-0.67	0.83	-0.33
Cy	-0.717683	0.055			1.00	-0.03	-0.00	0.38	-0.63	0.73	-0.78	0.62	-0.23
B1	-0.581751	0.028				1.00	-0.04	0.01	0.00	-0.01	0.01	-0.03	-0.01
B2	0.247565	0.028					1.00	-0.00	-0.00	0.00	-0.00	0.01	-0.04
K1	0.0171831	5.4e-05						1.00	-0.88	0.81	-0.76	0.31	-0.09
K2	-0.0798922	0.0003							1.00	-0.98	0.95	-0.43	0.25
K3	0.138388	0.00066								1.00	-0.99	0.50	-0.30
K4	-0.0802593	0.00048									1.00	-0.52	0.32
P1	0.00218246	2.1e-06										1.00	-0.25
P2	-0.000894618	1.3e-06											1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Ground Control Points

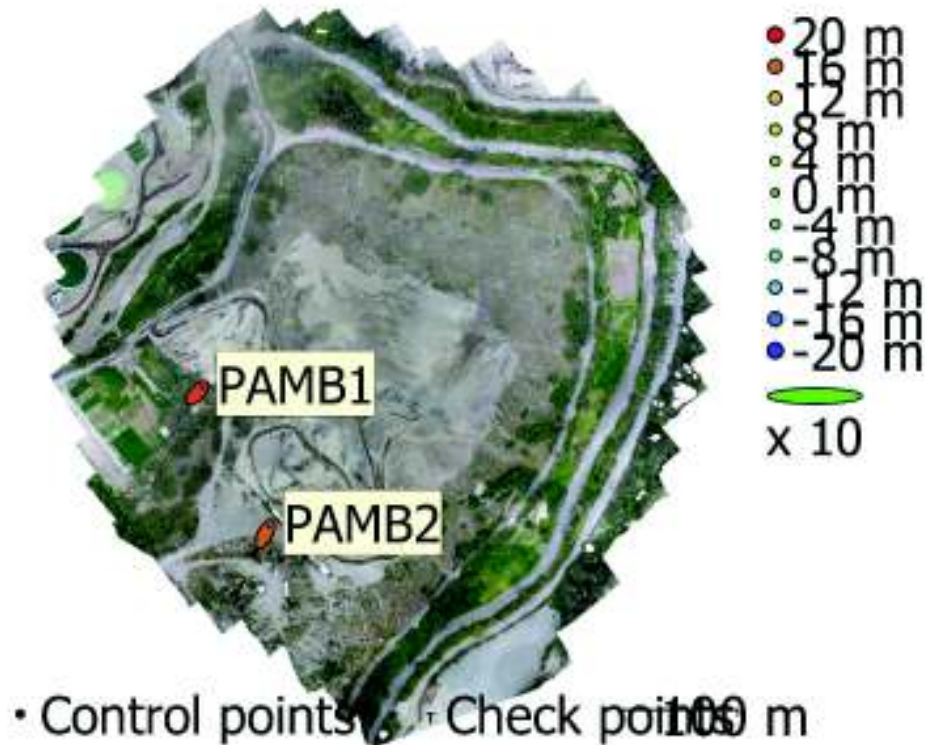


Fig. 3. GCP locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
Estimated GCP locations are marked with a dot or crossing.

Count	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total (m)
2	0.792156	1.11407	17.0506	1.36699	17.1053

Table 3. Control points RMSE.
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Total (m)	Image (pix)
PAMB1	0.891765	0.904883	17.7363	17.7817	0.095 (16)
PAMB2	0.678068	1.28977	16.3361	16.401	0.177 (9)
Total	0.792156	1.11407	17.0506	17.1053	0.130

Table 4. Control points.
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Digital Elevation Model

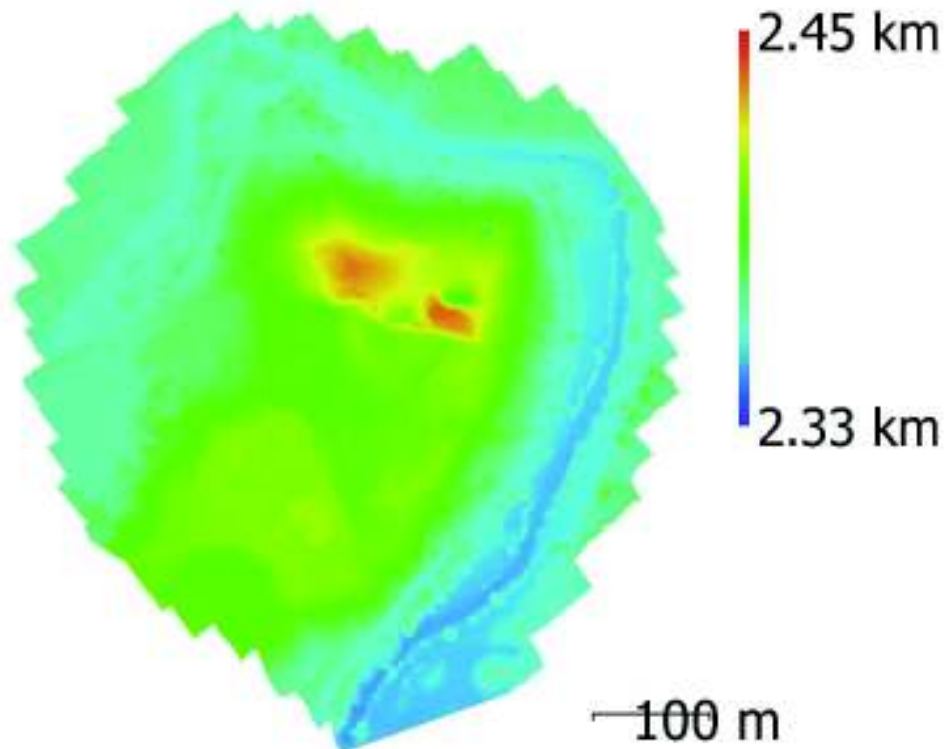


Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

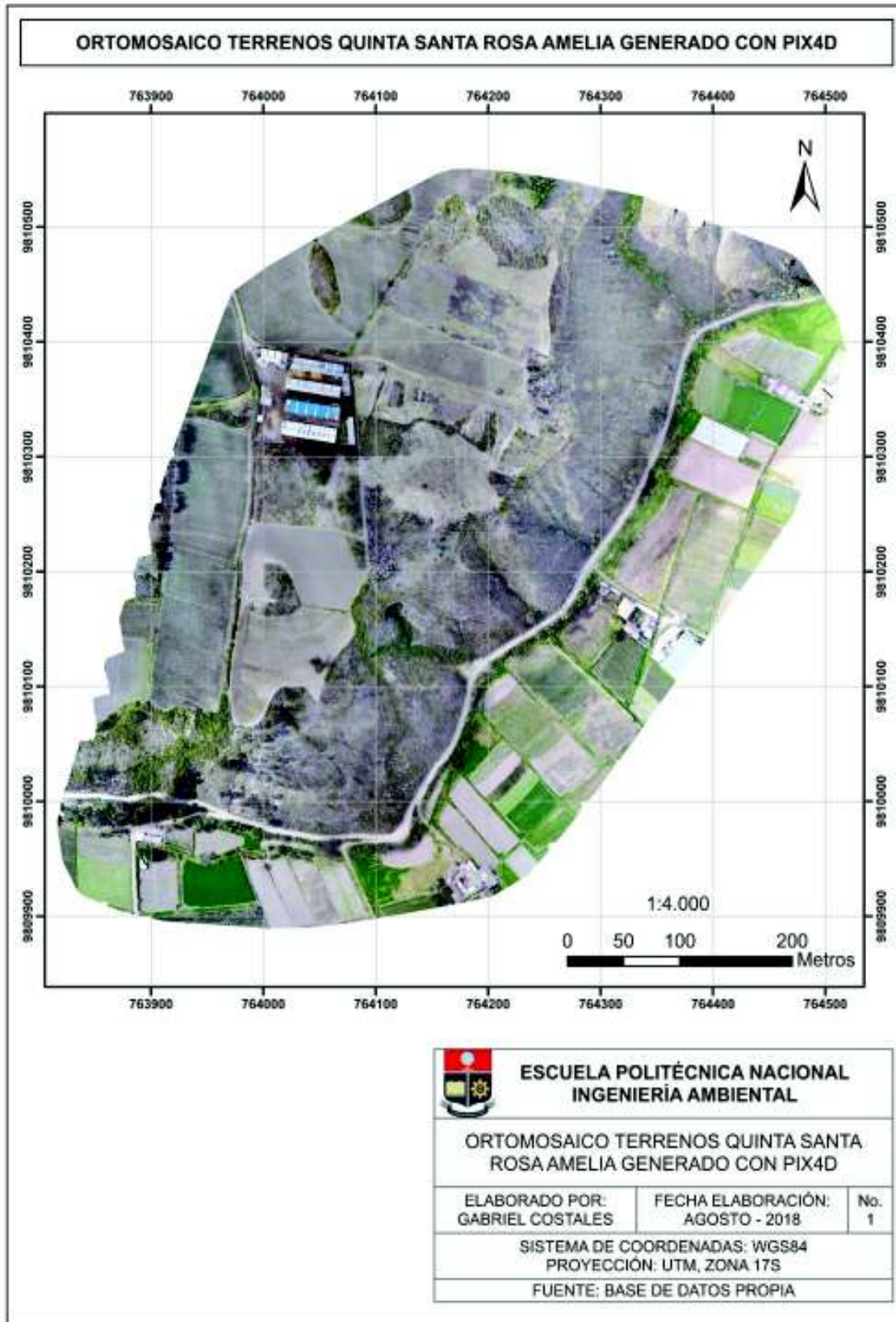
Resolution: 5.05 cm/pix
Point density: 392 points/m²

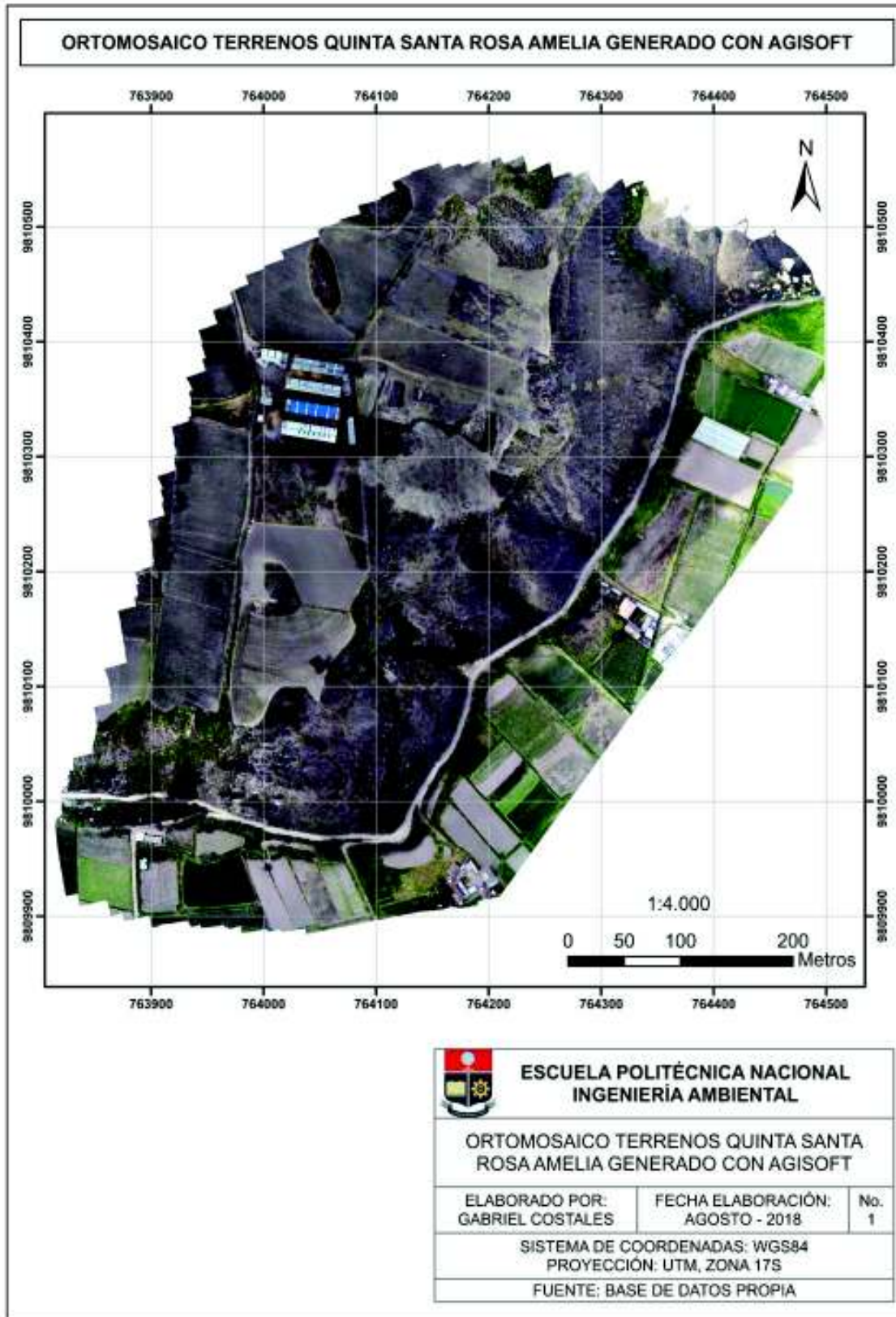
Processing Parameters

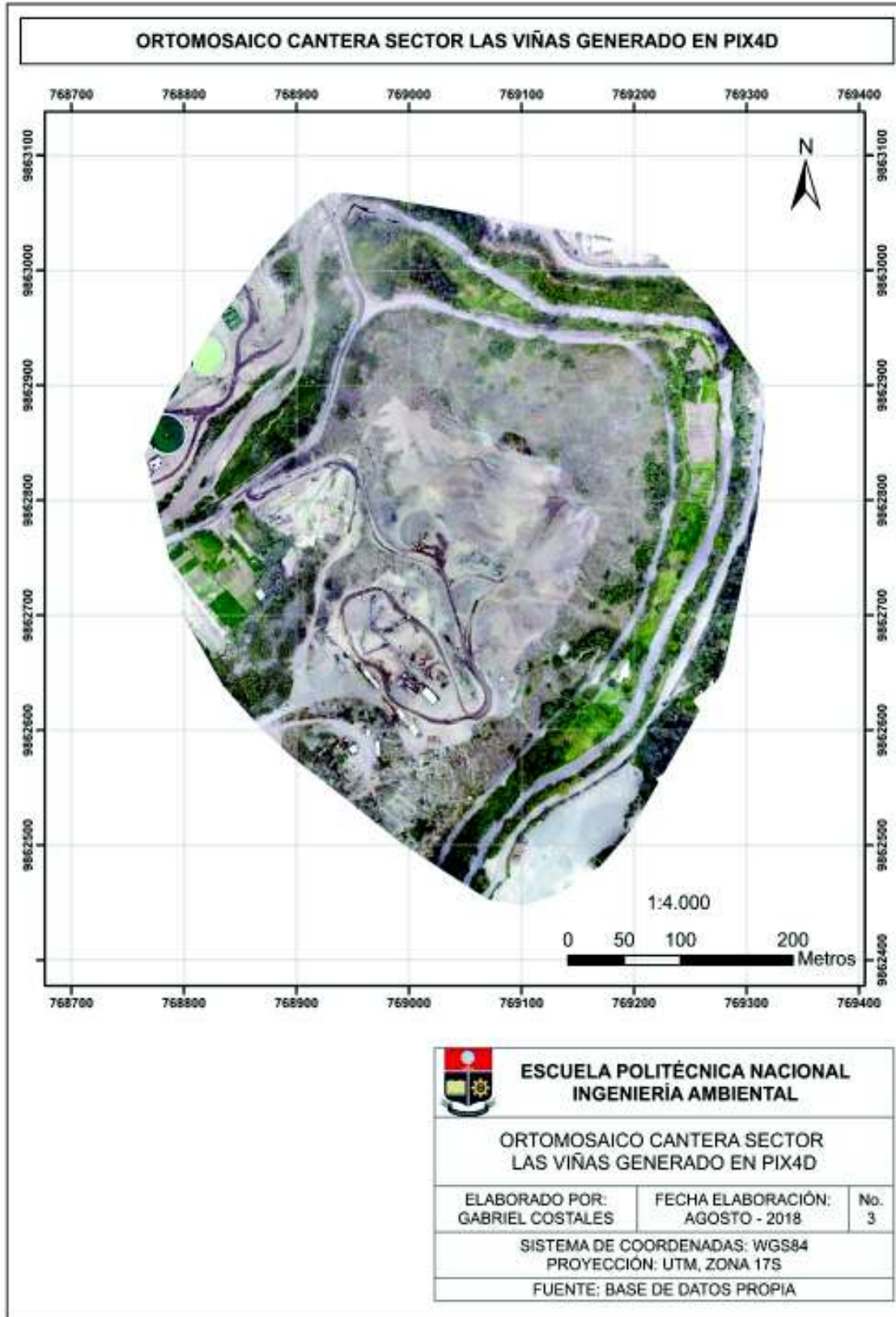
General	
Cameras	222
Aligned cameras	221
Markers	2
Coordinate systems	WGS 84 / UTM zone 17S (EPSG::32717)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll
Point Cloud	
Points	191,006 of 200,474
RMS reprojection error	0.215737 (0.390166 pix)
Max reprojection error	0.738291 (29.0236 pix)
Mean key point size	1.89073 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	3.34239
Alignment parameters	
Accuracy	Highest
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Yes
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Adaptive camera model fitting	Yes
Matching time	5 minutes 56 seconds
Alignment time	41 seconds
Optimization parameters	
Parameters	f, b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1, p2
Adaptive camera model fitting	No
Optimization time	3 seconds
Dense Point Cloud	
Points	125,646,950
Point colors	3 bands, uint8
Reconstruction parameters	
Quality	High
Depth filtering	Moderate
Depth maps generation time	28 minutes 36 seconds
Dense cloud generation time	56 minutes 36 seconds
Model	
Faces	8,323,763
Vertices	4,160,511
Vertex colors	3 bands, uint8
Texture	4,096 x 4,096, 4 bands, uint8
Reconstruction parameters	
Surface type	Height field
Source data	Dense
Interpolation	Enabled
Quality	High
Depth filtering	Moderate
Face count	8,376,457
Processing time	14 minutes 16 seconds
Texturing parameters	
Mapping mode	Generic
Blending mode	Mosaic
Texture size	4,096 x 4,096
Enable hole filling	Yes
Enable ghosting filter	No
UV mapping time	8 minutes 5 seconds

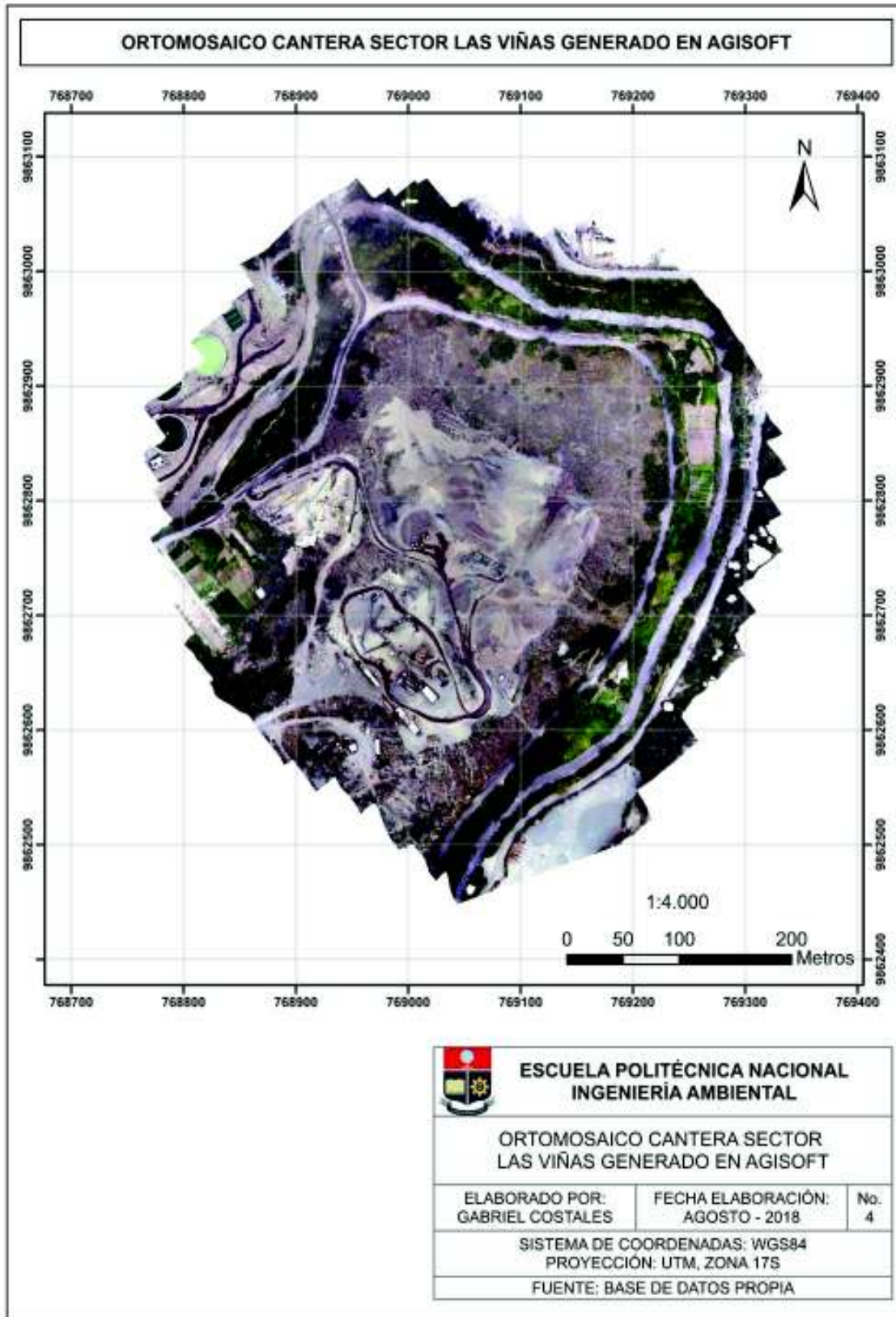
Blending time	26 minutes 55 seconds
Tiled Model	
Texture	3 bands, uint8
Reconstruction parameters	
Source data	Dense cloud
Tile size	256
Enable ghosting filter	No
Processing time	2 hours 7 minutes
DEM	
Size	15,415 x 15,934
Coordinate system	WGS 84 / UTM zone 17S (EPSG::32717)
Reconstruction parameters	
Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Processing time	2 minutes 38 seconds
Orthomosaic	
Size	20,380 x 22,469
Coordinate system	WGS 84 / UTM zone 17S (EPSG::32717)
Colors	3 bands, uint8
Reconstruction parameters	
Blending mode	Mosaic
Surface	DEM
Enable hole filling	Yes
Processing time	6 minutes 28 seconds
Software	
Version	1.4.3 build 6488
Platform	Windows 64

**ANEXO 3: ORTOMOSAICOS DE LOS PROYECTOS GENERADOS CON CADA
PROGRAMA**

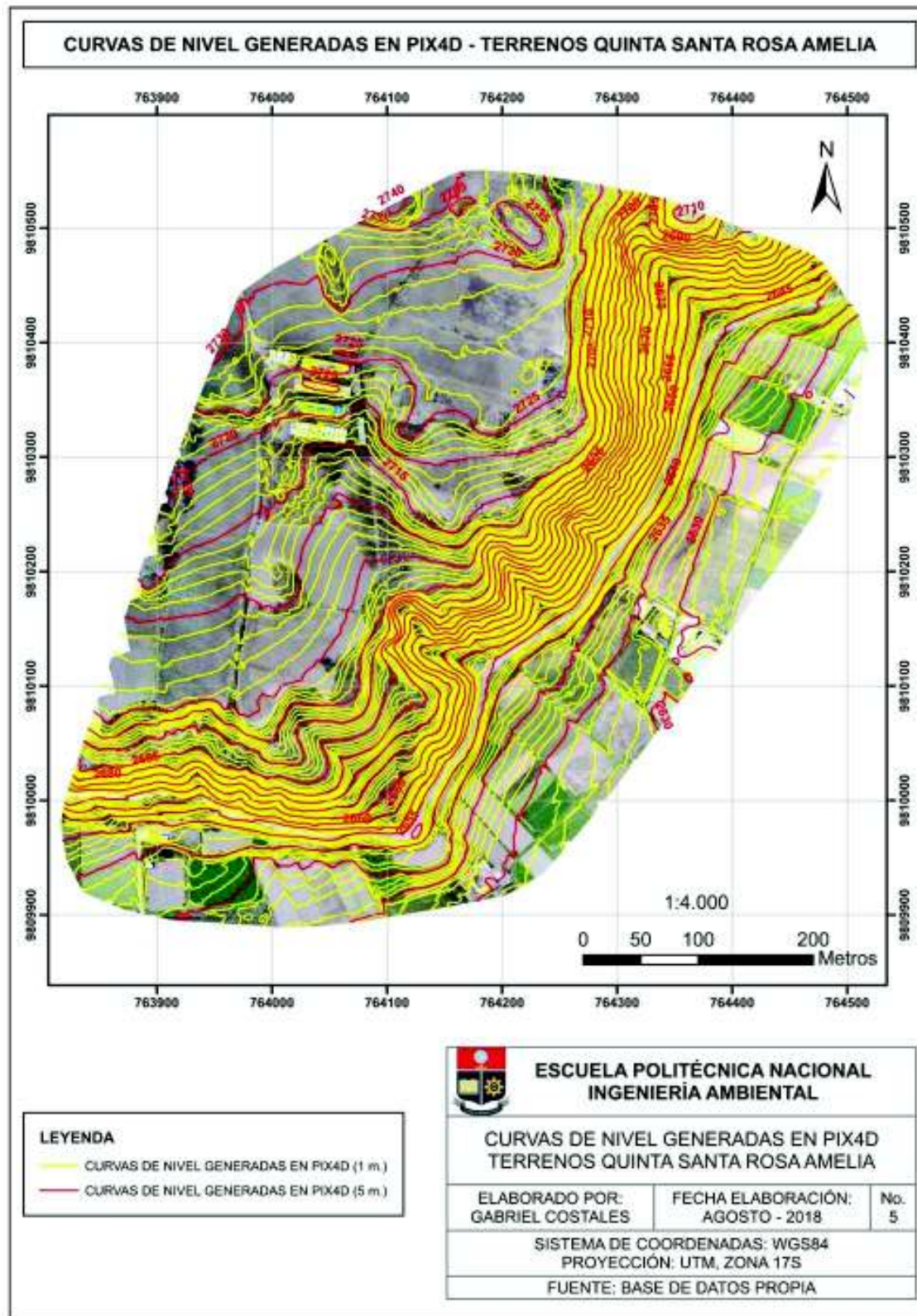


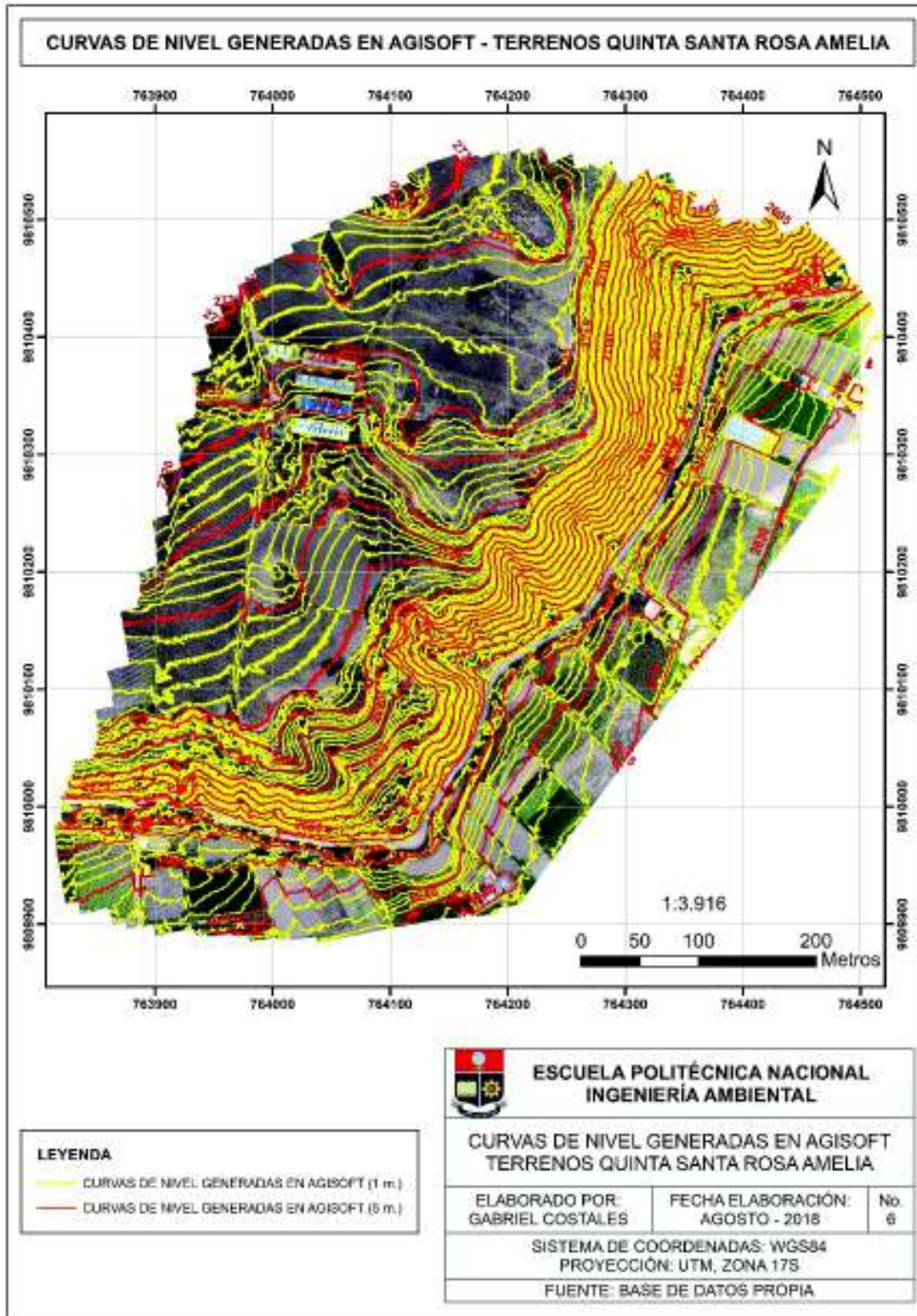


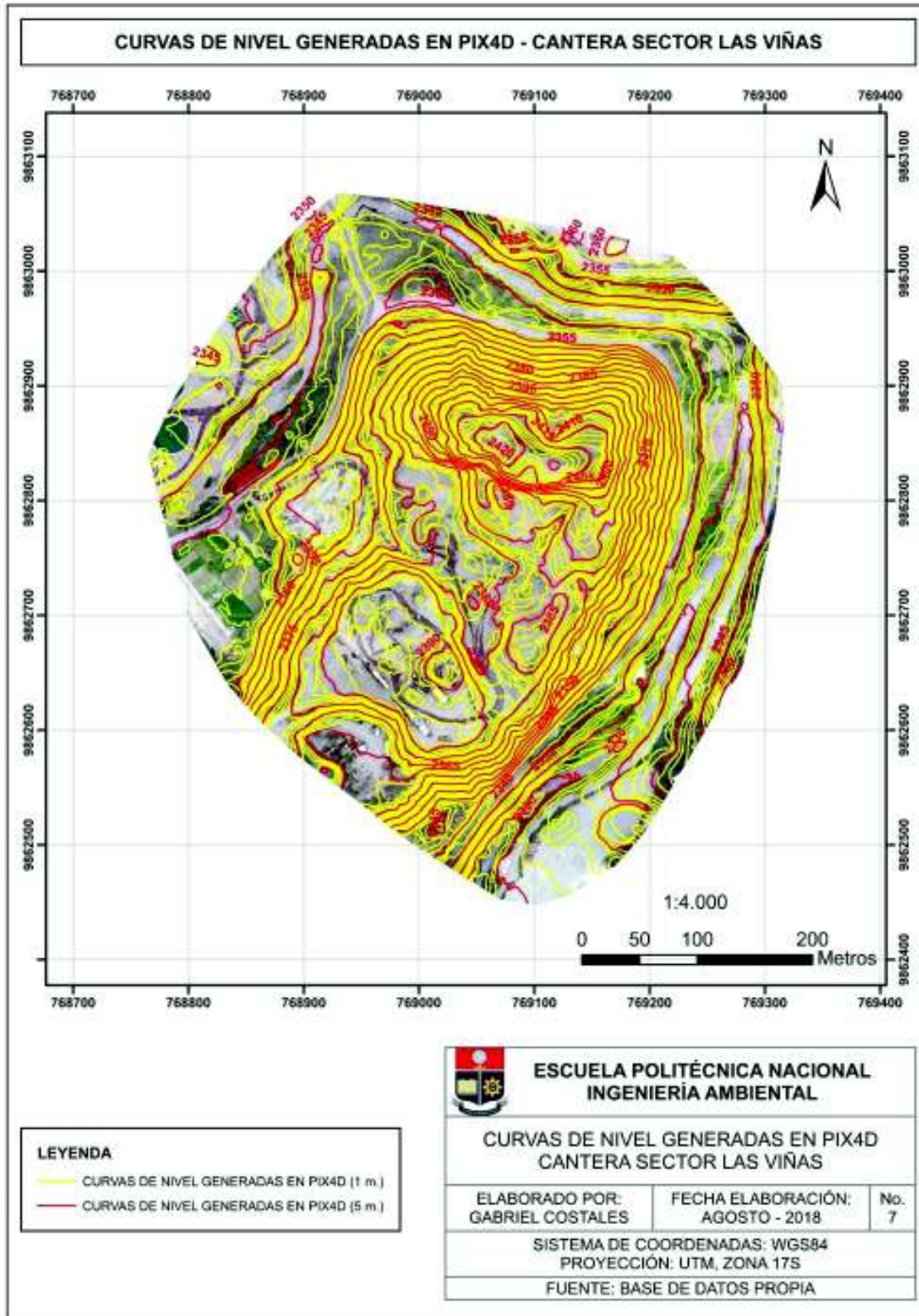


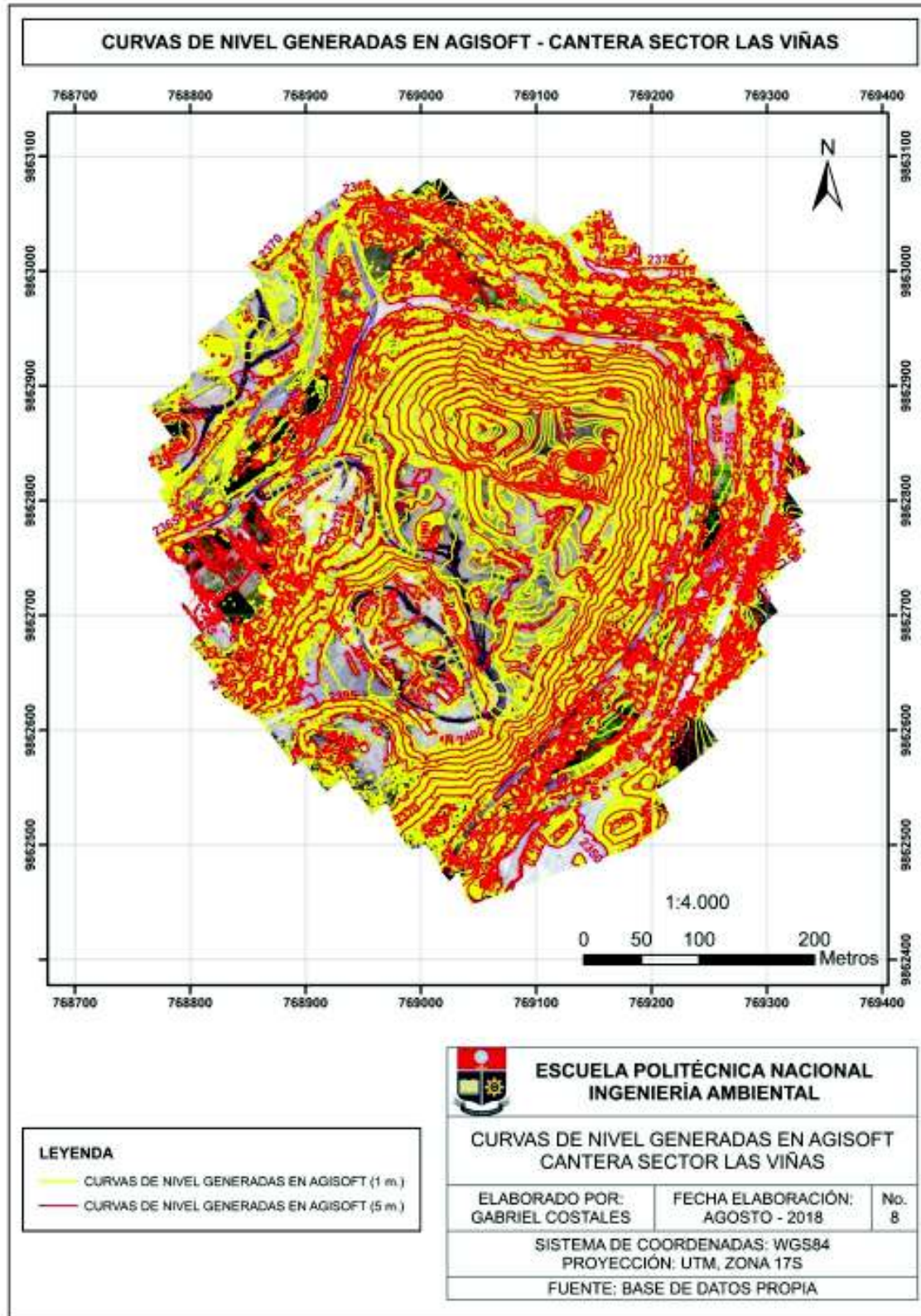


ANEXO 4: MAPAS DE CURVAS DE NIVEL DE LOS PROYECTOS GENERADOS
CON CADA PROGRAMA









ANEXO 5: REPORTE DE CÁLCULO DE ÁREAS CON AGISOFT PHOTOSCAN

AREAS AGISOFT PHOTOSCAN

Shape Report
18 July 2018



#	Perimeter (m)	Area (m ²)	Volume above (m ³)	Volume below (m ³)	Volume total (m ³)
1	355.224	6889.5	5977.5	3222.8	2754.8
2	400.988	7761.3	573.656	2615.6	-2041.9
3	446.224	6585.0	9565.2	306.728	9258.5
4	464.764	7599.2	27739.8	12.236	27727.6
5	343.861	6657.2	4482.3	5595.1	-1112.8
6	335.249	6815.9	1074.7	7720.2	-6645.6
7	338.475	7160.2	2576.6	2815.1	-238.479
8	356.424	7108.8	1484.9	1087.7	397.141
Total	3051.2	56577.1	53474.7	23375.5	30099.2

Measurements

Base plane for volume calculation: best fit plane

ANEXO 6: REPORTE DE CÁLCULO DE VOLUMEN CON AGISOFT PHOTOSCAN

VOLÚMENES AGISOFT PHOTOSCAN

Shape Report
19 July 2018



#	Perimeter (m)	Area (m ²)	Volume above (m ³)	Volume below (m ³)	Volume total (m ³)
1	992.316	63600.7	1.98596e+06	447.672	1.98551e+06
2	85.278	539.001	1041.8	15.689	1026.1
Total	1077.6	64139.7	1.987e+06	463.361	1.98654e+06

Measurements

Base plane for volume calculation: best fit plane