

MANUAL PARA EL POSTPROCESO DE IMÁGENES OBTENIDAS A PARTIR DE UNA AERONAVE TRIPULADA REMOTAMENTE (DRONE) EN LOS SOFTWARE AGISOFT PHOTOSCAN Y PIX4D.

Yesid Zafra Granados
INVIAS – UNIVERSIDAD DISTRITAL FRNACISCO JOSÉ DE CALDAS

UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

INVIAS
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS



TABLA DE CONTENIDO.

1. INTRODUCCIÓN 6

2. ALCANCE 8

3. GENERALIDADES 10

3.1 CONCEPTOS 10

4. COMPONENTES Y TIPOS DE DRONES (RPA) 13

4.1 MARCO O CHASIS: 13
4.2 MOTORES: 13
4.3 REGULADORES O ESCS: 14
4.4 CONTROLADOR DE VUELO O UNIDAD DE CONTROL (IMU): 14
4.5 ACELERÓMETRO 3 EJES: 14
4.6 GIROSCOPIO: 15
4.7 MAGNETÓMETRO: 15
4.8 MODULO GPS: 15
4.9 HÉLICES: 16
4.10 BATERÍA: 16
4.11 DRONE HELICÓPTERO: 17
4.12 DRONE MULTIROTOR 18
4.13 DRONE ALA FIJA 19

5. CONCEPTO DE FOTOGRAMETRÍA. 20

5.1 ZONA DE CORRELACIÓN 20
5.2 DISTANCIA FOCAL 21
5.3 PIXEL 23
5.4 GSD 23
5.5 ESCALA 23
5.6 DETERMINACIÓN DE LA ALTURA DE VUELO SOBRE EL TERRENO (Z) 25
5.7 DETERMINACIÓN DE LA ALTURA ABSOLUTA DE VUELO 27

6. IMAGEN DIGITAL. 28

7. PUNTOS DE CONTROL 32

8. CONFIGURACIÓN DE VUELO ASISTIDO 36

8.1 SOFTWARE MISSION PLANNER 36
8.2 CONEXIÓN DEL RPAS CON MISSION PLANNER: 37
8.3 CREACIÓN DE LA RUTA EN MISSION PLANNER. 39

9. POSTPROCESO SOFTWARE AGISOFT PHOTOSCAN. 45

9.1 FLUJO DE TRABAJO. 46
9.2 IMPORTACIÓN DE IMÁGENES 49
9.3 ORIENTACIÓN DE IMÁGENES 51
9.4 PUNTOS DE CONTROL. 55
9.5 NUBE DENSA DE PUNTOS. 59
9.6 MALLA 62



9.7 TEXTURA 64
9.8 MDE 65
9.9 ORTHOMOSAICO. 66

10. POSTPROCESO SOFTWARE PIX4D 74

10.1 FLUJO DE TRABAJO: 75
10.2 IMPORTACIÓN DE IMÁGENES: 76
10.3 PROCESO INICIAL 80
10.4 PUNTOS DE CONTROL. 81
10.5 NUBE DE PUNTOS, MALLA, MDE Y ORTOMOSAICO. 85
10.6 RESULTADOS 85

11. APLICACIONES EN LA GESTIÓN DEL RIESGO 87

12. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS 88

12.1 REGLAMENTACIÓN. 88
12.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL DRONE. 92

13. BIBLIOGRAFÍA. 94



TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Chasis de un dron Multirotor. Fuente: (INGENIO TRIANA , 2015) 13
Ilustración 2 Motor Multiestar para Drone. Fuente: (INGENIO TRIANA , 2015) 13
Ilustración 3 Circuito regulador de velocidad ESCS. Fuente: (INGENIO TRIANA , 2015) 14
Ilustración 4 Unidad de control. Fuente: (INGENIO TRIANA , 2015) 14
Ilustración 5 Acelerómetro 3 ejes. Fuente: (INGENIO TRIANA , 2015) 14
Ilustración 6 Giroscopio. Fuente: (INGENIO TRIANA , 2015) 15
Ilustración 7 Sensor Magnetómetro. Fuente: (INGENIO TRIANA , 2015) 15
Ilustración 8 Modulo GPS. Fuente: (INGENIO TRIANA , 2015) 15
Ilustración 9 Hélices para un RPA Multirotor. Fuente : (INGENIO TRIANA , 2015) 16
Ilustración 10 Batería Litio-Polímero. Fuente: (INGENIO TRIANA , 2015) 16
Ilustración 11 RPA tipo Helicóptero 17
Ilustración 12 RPA tipo Multirotor 18
Ilustración 13 RPA tipo Ala Fija 19
Ilustración 14 Correlación de fotografías longitudinal y transversalmente. Fuente: Elaboración propia. 21
Ilustración 15 Diferencia de enfoque en una fotografía con respecto a la distancia focal. Fuente (Nikon inc., 2017) 22
Ilustración 16 Relación entre distancia focal y ángulo de visión. Fuente: (Domínguez Lavín, 2015) 22
Ilustración 17 Diferencia de escalas según metodología para la obtención de datos en campo. Adaptado de: (Fotogrametria Practica , 2015) 24
Ilustración 18 Escala de la fotografía aérea. Adaptado de: 25
Ilustración 19 Altura absoluta de vuelo. Fuente Adaptado de: (Centro Interamericano de Fotointerpretación C.I.A.F, 1981) 27
Ilustración 20 matriz de pixeles imagen digital. Fuente: Adaptado de: (Centro Interamericano de Fotointerpretación C.I.A.F, 1981) 28
Ilustración 21 Coordenadas de la imagen digital. Fuente: Adaptado de: (Centro Interamericano de Fotointerpretación C.I.A.F, 1981) 29
Ilustración 22 Ubicación puntos de control, Software Google Earth. Fuente: Elaboración propia. 32
Ilustración 23 Marca de un punto de control en campo. Fuente: Elaboración Propia. 33
Ilustración 24 Sistema MAGNA-SIRGAS: Red básica GPS y estaciones de funcionamiento. Fuente: (Rodriguez Sanchez , 2004) 34
Ilustración 25 Pantalla principal software Mission Planner. Fuente: Elaboración propia 36
Ilustración 26 controlador de vuelo Pixhawk conexión USB. Fuente (ardupilot, 2016) 37
Ilustración 27 Selección del dispositivo. Fuente (ardupilot, 2016) 38
Ilustración 28 Instalación del Firmware. Fuente: Elaboración propia. 38
Ilustración 29 Instalaciones de Hardware opcionales. Fuente: Elaboración propia. 39
Ilustración 30 Herramientas de la barra lateral derecha. Fuente: Elaboración propia. 40
Ilustración 31 Barra lateral herramientas de WAYPOINT. fuente: Elaboración propia 40
Ilustración 32 Ruta de vuelo con la cámara apuntando hacia la vía. Fuente Elaboración Propia. 41
Ilustración 33 Creación del polígono delimitando la zona de interés. Fuente: Elaboración Propia. 42
Ilustración 34 Generación de vuelo por polígono y grilla. Fuente: Elaboración Propia. 43
Ilustración 35. Shape ArcGIS - Importación shape en Mission Planner - Creación de la grilla. Fuente: Elaboración Propia 44
Ilustración 36 Herramientas de la interfaz principal Agisoft Photoscan. Fuente: Elaboración Propia. 47
Ilustración 37 visualización de la interfaz principal. Furente: Elaboración Propia. 48
Ilustración 38 botón add photos. Fuente elaboración propia. 49
Ilustración 39 Visualización de las fotografías importadas. Fuente elaboración propia. 49
Ilustración 40 calibración de la cámara. Fuente elaboración propia. 50



Ilustración 41 Calibración de la cámara. Fuente: elaboración propia. 51
Ilustración 42 importar coordenadas. fuente: elaboración propia. 52
Ilustración 43 cargar archivo para la geolocalización de las imágenes. fuente: Elaboración propia. 52
Ilustración 44 proceso #1 alinear fotos. Fuente: elaboración propia 53
Ilustración 45 Precisión de la alineación de fotos. Fuente elaboración propia. 53
Ilustración 46 Cantidad de fotos vs memoria requerida. Fuente: (Agisoft Photoscan, 2017) 54
Ilustración 47 Alineación de las fotografías. Fuente: elaboración propia 54
Ilustración 48 Importación de puntos de control. Fuente elaboración propia. 56
Ilustración 49 Sistema de coordenadas, delimitación de elementos, numero de columna. Fuente elaboración propia 56
Ilustración 50 identificación del punto de control en la imagen. Fuente: elaboración propia 57
Ilustración 51 ubicación del punto de control en la imagen. Fuente elaboración propia. 58
Ilustración 52 Imagen con punto de control e imagen con posible punto de control homologo. Fuente elaboración propia 58
Ilustración 53 optimización de cámaras. Fuente: elaboración propia. 59
Ilustración 54 Construir nube densa de puntos. Fuente: elaboración propia. 59
Ilustración 55 seleccionar calidad y filtrado de profundidad para la nube densa de puntos. Fuente: elaboración propia. 60
Ilustración 56 Vista planta nube densa de puntos (12´635.996). Fuente elaboración propia 60
Ilustración 57 vista perfil nube densa de puntos. Fuente elaboración propia. 61
Ilustración 58 información del proyecto en el flujo de trabajo. Fuente elaboración propia. 61
Ilustración 59 exportar nube densa de puntos. Fuente: elaboración propia. 62
Ilustración 60 Crear malla. fuente elaboración propia. 63
Ilustración 61 Parámetros para la calidad de la malla. Fuente elaboración propia. 63
Ilustración 62 creación de la malla. Fuente: elaboración propia. 64
Ilustración 63 crear textura. Fuente elaboración propia 64
Ilustración 64 construcción del MDE. Fuente: elaboración propia. 65
Ilustración 65 Resultado MDE. Fuente: elaboración propia 66
Ilustración 66 Creación del Orthomosaico. Fuente elaboración propia. 67
Ilustración 67 Líneas de costura para la creación del Orthomosaico. Fuente elaboración propia 67
Ilustración 68 Resultado Orthomosaico. fuente elaboración propia. 68
Ilustración 69 exportación del MDE. Fuente: elaboración propia. 68
Ilustración 70 Exportación del Orthomosaico. Fuente elaboración propia. 69
Ilustración 71 página inicial del reporte. Fuente informe Agisoft Photoscan 70
Ilustración 72 Datos del levantamiento. Fuente informe Agisoft Photoscan 71
Ilustración 73 Puntos de control terrestre. Fuente informe Agisoft Photoscan 72
Ilustración 74 MDE. Fuente informe Agisoft Photoscan 73
Ilustración 75 Añadir imágenes. fuente elaboración propia. 76
Ilustración 76 Geolocalización del proyecto. Fuente elaboración propia. 77
Ilustración 77 Proyecto geolocalizado. fuente elaboración propia. 78
Ilustración 78 Geolocalización del proyecto en mapa base de pix4D. Fuente elaboración propia. 79
Ilustración 79 Interfaz del software pix4D. Fuente elaboración propia. 79
Ilustración 80 Opciones de procesamiento. Fuente elaboración propia. 80
Ilustración 81 Proceso inicial. Fuente: elaboración propia. 80
Ilustración 82 Resultado proceso inicial (Imágenes orientadas). Fuente elaboración propia 81
Ilustración 83 Herramienta "Gestor GCP/MTP" para agregar puntos de control. Fuente: elaboración propia. 81
Ilustración 84 Importar puntos de control. Fuente: elaboración propia. 82
Ilustración 85 ubicación de los puntos de control. Fuente elaboración propia 83



Ilustración 86 marcado automático de puntos de control. Fuente elaboración propia. _____ *83*
Ilustración 87 Reoptimizar proyecto. Fuente elaboración propia. _____ *84*
Ilustración 88 Generar informe de calidad. Fuente elaboración propia. _____ *84*
Ilustración 89 Crear nube de puntos, malla, MDE, ortomosaico. Fuente elaboración propia _____ *85*
Ilustración 90 Nube densa de puntos. Fuente: elaboración propia. _____ *86*
Ilustración 91 MDE y Ortomosaico. Fuente: elaboración propia. _____ *86*



1. INTRODUCCIÓN

La tecnología DRONE (RPA[1]) nace a mediados del siglo XIX con aplicaciones meramente bélicas, prototipos grandes tripulados por medio de radio control y señales de satélite, con una cámara incrustada en su parte inferior para lograr visualizar sus objetivos. A través del tiempo los drones fueron evolucionado a prototipos más pequeños y con fines totalmente diferentes a los que fueron creados originalmente. Actualmente las aplicaciones de los drones son muy amplias y sin duda alguna están ligadas al futuro inmediato de la humanidad, hoy en día encontramos que sus aplicaciones son muy diversas y van desde: publicidad y televisión (creación de medios audiovisuales), agricultura (monitoreo de cultivos y riego de insecticidas), domicilios de diferentes productos, fines geológicos…Etc. Hasta nuestros temas de interés como la cartografía, topografía y gestión del riesgo.

Debido a la rapidez y precisión con la que los Drones permiten obtener información geográfica, esta tecnología está avanzando a un nivel medio y muchas empresas privadas, instituciones educativas, como entidades públicas están optando por implementar los DRONES como medio de captura de información para la creación de Cartografía, nubes densas de puntos, SIG (sistemas de información geográfica), MDT (Modelos Digitales de Terreno), MDE (Modelos Digitales de Elevación), Ortofotos, productos que nos permiten realizar medidas lineales, volumétricas, modelamientos 3D entre otros.

En la subdirección de prevención y atención de emergencias del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), La tecnología Drone (RPA) es de gran importancia, ya que por este medio podemos: acceder rápidamente a sitios críticos en caso de una emergencia, sobrevolar zonas para búsqueda de personas perdidas, monitorear zonas de mayor vulnerabilidad, y generar mediciones de área y volumen para análisis y toma de decisiones sobre cualquier tipo de acción bien sea de prevención, mitigación o atención de emergencias sobre la red nacional de vías de Colombia.

[1] RPA: Aeronave piloteada a distancia.



El siguiente manual es el resultado de la investigación y la consulta de varios textos, los conocimientos obtenidos durante el periodo de formación de la carrera Ingeniería Topográfica de la universidad distrital Francisco José de Caldas, y los aportes del docente ING William Barragán. Todo esto con el fin de generar una serie de procesos y procedimientos que se deben llevar acabo a la hora de postprocesar[2] imágenes obtenidas a partir de una aeronave tripulada remotamente (RPA). Además, aquí encontrara los lineamientos o parámetros para la configuración inicial del vuelo, ubicación de puntos de control, georreferenciacion de las imágenes. Este conjunto de conceptos y procedimientos encontrados en el manual generan como resultado productos de la mejor calidad y precisión, derivados del postproceso de imágenes Drone.

[2] Postproceso: procedimiento continuo a la adquisición de algún dato.



2. ALCANCE

Este manual está diseñado por la necesidad de implementación de nuevas tecnologías en la subdirección de prevención y atención de emergencias del instituto nacional de vías (INVIAS) las cuales apoyen de una manera eficaz y eficiente la prevención, monitoreo y mitigación de zonas de riesgo en las vías de Colombia. por esta razón y teniendo en cuenta los beneficios que nos proporciona la tecnología Drone, el documento tiene como finalidad plasmar una serie de parámetros y procedimientos que sirvan de base a la hora de realizar un proyecto utilizando dicha tecnología.

Aunque este manual está dirigido principalmente al postproceso de imágenes Drone, en él no solo se abarcan temas anteriores al proceso de fotografías. Si no, que además se tratan temas que son necesarios en la obtención de las imágenes en campo. esto quiere decir que la persona que disponga del manual para procesar las imágenes se encontrará con los siguientes lineamientos:

- Generalidades (conceptos y reglamentación): es de gran importancia conocer los conceptos unificados para tener una fácil comunicación con cualquier persona que interactúe en el proceso de un trabajo con tecnología Drone. Además, el manual también plantea la reglamentación por parte de la entidad encargada del uso y aplicación de esta tecnología.
- Tipos de drones: se relaciona al usuario con los diferentes tipos de drones, sus componentes y características.
- Configuración de vuelo: generación del plan de vuelo diseñado en el software libre Mission Planner.
- Puntos de control: también se encontrará en el manual una serie de parámetros para ubicar los puntos de control en el terreno de la mejor manera, con el fin de obtener mejores resultados.
- Georreferenciación: a partir de los puntos de control situados en campo debemos generar la georreferenciacion de las imágenes para obtener precisión de posición y altura.
- Postproceso: el postproceso Se realizará en dos programas diferentes generando productos como MDT, MDE, cálculo de volúmenes, entre otros.



- Finalmente se plantean aplicaciones de la tecnología analizada, las cuales están dirigidas a generar herramientas para gestionar el riesgo en la red vial nacional a cargo del INVIAS.
- Especificaciones técnicas y requerimientos de un Drone Multirotor que cumpla con las necesidades requeridas por el la subdirección y prevención de emergencias.



3. GENERALIDADES

3.1 CONCEPTOS

El uso de términos concretos y consensuados por todos los agentes que los utilizan dentro de un sector favorece la fluidez y precisión del proceso de comunicación, ahorrando en muchas ocasiones recursos a la hora de transmitir la información de forma eficaz (Hernadez de la Rosa, 2009). Por esta razón es de gran importancia manejar los términos adecuados a la hora de hablar de tecnología Drone.

En este capítulo se encontrarán las definiciones expuestas por la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (UAEAC) entidad que de igual forma que el INVIAS hacen parte del Ministerio de transporte de Colombia. Estas definiciones facilitarán como se mencionó, la comunicación entre el INVIAS y sus proveedores a la hora de requerir un servicio.

TERMINOLOGÍA Y DEFINICIONES:

- RPA: Aeronave piloteada a distancia, piloteada desde una estación de pilotaje a distancia. – Remotely-piloted aircraft
- RPAS: Sistema de Aeronave Piloteada a Distancia. – Remotely-piloted aircraft system.
- AERONAVE: Toda máquina que pueda sustentarse en la atmosfera por reacciones del aire que no sean las reacciones del mismo contra la superficie de la tierra.
- UAEAC: Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica civil.
- EXPLOTADOR de RPAS: Persona (natural o jurídica) que ostenta la propiedad de una aeronave RPA, que se dedica por cuenta propia a la explotación de aeronaves RPA. *Nota: en el contexto de las aeronaves piloteadas a distancia, la explotación de una aeronave incluye al sistema de aeronave piloteada a distancia.*
- AERÓDROMO: Área definida de tierra o de agua (que incluye todas sus edificaciones, instalaciones y equipos) destinado total o parcialmente a la llegada, salida y movimiento en superficie de aeronaves.



- ALTITUD: Distancia vertical entre un nivel, punto u objeto considerado como punto y el nivel medio del mar (MSL)
- ALTURA: Distancia vertical entre un nivel, punto u objeto considerado como punto y una referencia específica.
- AREA CONGESTIONADA: En relación con una ciudad, aldea o población, toda área muy utilizada para fines residenciales comerciales o recreativos.
- AUTORIZACIÓN DEL CONTROL DE TRANSITO AÉREO: Autorización para que una aeronave proceda en condiciones específicas por una dependencia de control de tránsito aéreo.
- CONDICIONES METEOROLÓGICAS DE VUELO VISUAL (VMC): Condiciones meteorológicas expresadas en términos de visibilidad, distancia desde las nubes y techo de nubes, iguales o mejores que los mínimos especificados.
- DETECTAR Y EVITAR: Capacidad de ver, captar o detectar tránsito en conflicto u otros peligros y adoptar las medidas apropiadas para cumplir con las reglas de vuelo aplicables.
- ENLACE DE MANDO Y CONTROL (C2): Enlace de datos entre la aeronave pilotada a distancia y la estación de pilotaje a distancia para fines de dirigir el vuelo.
- ESTACIÓN DE PILOTAJE A DISTANCIA (RPS): El componente del sistema de aeronave pilotada a distancia (RPAS) que contiene el equipo que se utiliza para pilotar una aeronave a distancia.
- INFORMACIÓN DE TRÁNSITO: Información expedida por una dependencia de servicios de tránsito aéreo para alertar al piloto sobre otro tránsito conocido u observado que pueda estar cerca de la posición o ruta previstas de vuelo y para ayudar al piloto a evitar una colisión.
- INFORMACIÓN METEOROLÓGICA: Informe meteorológico, análisis, pronostico y cualquier otra declaración relativa a condiciones meteorológicas existentes o previstas.



- OBSERVADOR RPA: Una persona capacitada y competente, designada por el explotador de RPAS, quien, mediante observación visual de la aeronave pilotada a distancia, ayuda al piloto a distancia en la realización segura del vuelo.
- OPERACIÓN AUTÓNOMA: Una operación durante la cual se vuela sin intervención de piloto en la gestión del vuelo.
- OPERACIÓN CON VISIBILIDAD DIRECTA VISUAL (VLOS): Operación en el cual el piloto a distancia u observador RPA mantiene contacto visual directo sin ayudas con la aeronave pilotada a distancia.
- PILOTO A DISTANCIA: Persona designada por el explotador de RPAS para desempeñar funciones esenciales para la operación de una aeronave pilotada a distancia y para operar los controles de vuelo, según corresponda, durante el tiempo de vuelo.
- SISTEMA DE AERONAVE PILOTADA A DISTANCIA (RPAS): Aeronave pilotada a distancia (RPA), su estación o sus estaciones conexas de pilotaje a distancia, los enlaces requeridos de mando y control, y cualquier otro componente según lo especificado en el diseño de tipo.
- ZONA PROHIBIDA: Espacio aéreo de dimensiones definidas sobre el territorio o las aguas jurisdiccionales de un estado, dentro del cual está prohibido el vuelo de las aeronaves.
- ZONA RESTRINGIDA: Espacio aéreo de dimensiones definidas sobre el territorio olas aguas jurisdiccionales de un estado, dentro del cual está restringido el vuelo de las aeronaves, de acuerdo con determinadas condiciones especificadas.

NOTA: las definiciones anteriores son extraídas de la circular reglamentaria No 002, de los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia (RAC), expedidos por la entidad encargada, Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica civil (UAEAC).



4. COMPONENTES Y TIPOS DE DRONES (RPA)

Como se ha mencionado anteriormente los Drones son instrumentos que pueden ser utilizados en diferentes campos de acción, ya sea por su facilidad de acceso a diferentes tipos de zonas o por su rapidez en la captura de información en terreno. Además, no pone en riesgo la vida de ninguna persona al momento de realizar un trabajo de campo. No obstante, es importante cumplir con la normativa impuesta por la UAEAC para evitar tener contratiempos a la hora de realizar un vuelo.

Los RPAS se componen de diferentes elementos que trabajan en conjunto para realizar la función de vuelo, toma de fotografías o cualquier otro tipo de acción que se requiera.

En general los componentes de un Drone son los siguientes:

4.1 MARCO O CHASIS:

Es la estructura base o esqueleto del Drone encargado de dar estabilidad y soportar todos los componentes del mismo para su correcto funcionamiento entre ellos motores, sistema eléctrico, baterías, cámara… etc.



Ilustración 1 Chasis de un dron Multirotor. Fuente: (INGENIO TRIANA , 2015)

4.2 MOTORES:

Son los componentes fundamentales para mantener el Drone en el aire, ya que generan el movimiento de las hélices. La elección del motor adecuado es importante para un buen rendimiento de cualquier DRONE.





Ilustración 2 Motor Multiestar para Drone. Fuente: (INGENIO TRIANA , 2015)



4.3 REGULADORES O ESCS:

Los reguladores de velocidad o ESC (*Electronic Speed Control*) son los encargados de proporcionar electrónicamente las revoluciones necesarias a cada motor-hélice de manera individual, de tal forma que permitan maniobrar el RPA (Elevaciones, rotaciones, translaciones, acrobacias).



Ilustración 3 Circuito regulador de velocidad ESCS. Fuente: (INGENIO TRIANA , 2015)

4.4 CONTROLADOR DE VUELO O UNIDAD DE CONTROL (IMU):

El controlador de vuelo es el cerebro de todo Drone, su función es automatizar los procesos necesarios para sincronizar todas las partes electrónicas del Drone para su correcto funcionamiento (reguladores, sensor, etc.)



Ilustración 4 Unidad de control. Fuente: (INGENIO TRIANA , 2015)

4.5 ACELERÓMETRO 3 EJES:

Este sensor mide la aceleración estática (en el eje vertical, como la gravedad) y la aceleración dinámica e inclinación (en el eje horizontal, en un plano X, Y)

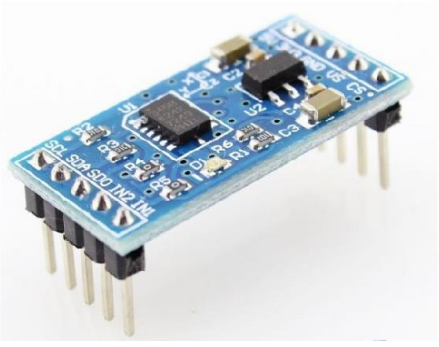


Ilustración 5 Acelerómetro 3 ejes. Fuente: (INGENIO TRIANA , 2015)



4.6 GIROSCOPIO:

Este sensor tiene la capacidad de medir los ángulos de ubicación del dron en el aire. En la mayoría de casos el giroscopio viene incorporado en la misma unidad que el acelerómetro de tres ejes, de esta manera, el acelerómetro calcula la posición y el giroscopio el ángulo en que se encuentra.

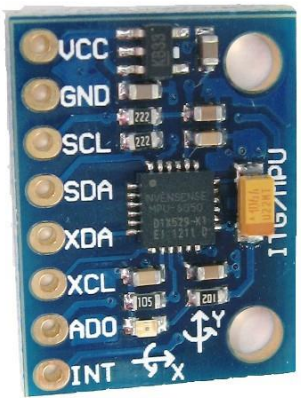


Ilustración 6 Giroscopio. Fuente: (INGENIO TRIANA , 2015)

4.7 MAGNETÓMETRO:

Este sensor tiene la función de medir la fuerza y la dirección de un campo magnético. En un Drone se utiliza para orientar el equipo respecto a los puntos cardinales, tomando como referencia (el polo norte) a estilo de brújula digital.

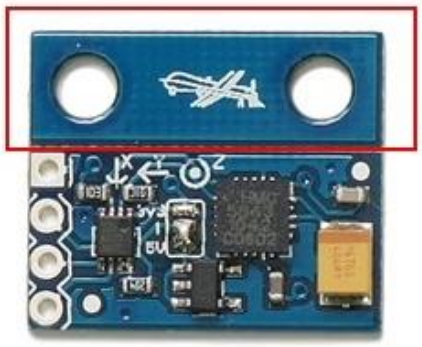


Ilustración 7 Sensor Magnetómetro. Fuente: (INGENIO TRIANA , 2015)

4.8 MODULO GPS:

Sistema de navegación y localización mediante satélite. Este sistema es de vital importancia para crear una ruta de vuelo la cual va a ser seguida por el Drone. A demás, tiene otras funciones como bloqueo de posición y vuelta a casa.



Ilustración 8 Modulo GPS. Fuente: (INGENIO TRIANA , 2015)



4.9 HÉLICES:

Son las encargadas de mantener al RPA en el aire, a través del movimiento generado por los motores, en el caso de los RPA es importante que cada hélice gire en un sentido diferente para garantizar la estabilidad y maniobrabilidad del equipo.



Ilustración 9 Hélices para un RPA Multirotor. Fuente : (INGENIO TRIANA , 2015)

4.10 BATERÍA:

La batería es la encargada de proporcionar la energía a todo el RPAS, en la mayoría de equipos la batería que se utiliza es de litio-polímero, este tipo de baterías son habituales en todo tipo de aparatos de radiocontrol; en los Drones se emplean principalmente por su ligereza y versatilidad y particularmente por su rápida capacidad de descarga, dada la alta demanda de energía que necesitan los motores.



Ilustración 10 Batería Litio-Polímero. Fuente: (INGENIO TRIANA , 2015)



4.11 DRONE HELICÓPTERO:



Ilustración 11 RPA tipo Helicóptero (ardupilot, 2016)

Nota: los drones tipo helicóptero son la herramienta más polivalente a la hora de realizar diferentes tipos de operación, posee una gran capacidad de carga y autonomía, debido a que solo posee un motor y una hélice de gran tamaño. sin embargo, los helicópteros son complejos a nivel mecánico, también es bastante complicado a la hora de ser piloteado y dominarlo suele llevar bastantes años de práctica.



4.12 DRONE MULTIROTOR



Ilustración 12 RPA tipo Multirotor (ardupilot, 2016)

multirotores son la herramienta más extendida actualmente y la que todos al pensar en drones tenemos en nuestra mente. Proporciona una gran versatilidad y eficacia en las operaciones por su simpleza a la hora de ser pilotados y por la velocidad de montaje. Es una plataforma estable por naturaleza, debido a que los motores se encuentran a la misma distancia del centro de gravedad de la aeronave.

Para tener en cuenta, cuantos más brazos tendremos más estabilidad y más seguridad, mientras que cuantos más motores tengamos más propulsión y consumo.

4.13 DRONE ALA FIJA



Ilustración 13 RPA tipo Ala Fija (ardupilot, 2016)

NOTA: El ala fija es el claro ganador en lo que a autonomía se refiere. Según esté equipado con motor eléctrico o de explosión, puede permanecer en el aire varias horas. Es la plataforma perfecta para trabajos que abarquen una gran extensión de terreno. Por otra parte, es el más eficiente aerodinámicamente hablando, ya que, con la configuración adecuada, puede permanecer bastante tiempo sin necesidad de utilizar el motor gracias al planeo. Por otra parte, el hecho de poder planear hace que sea una plataforma mucho más segura, ya que en un supuesto fallo de motor puede planear hasta llegar al punto de aterrizaje



5. CONCEPTO DE FOTOGRAMETRÍA.

La palabra fotogrametría se deriva de tres raíces griegas:

FOTO - Que significa luz.
GRAMA - Que significa dibujar.
METRO - Que significa medir.
“Mediciones graficas por medio de luz”

La fotogrametría es una ciencia o técnica que se encarga de determinar las propiedades geométricas y espaciales de los objetos en una zona determinada, a partir de la intersección de un par de fotografías las cuales deben tener una zona de correlación o zona en común. Utilizando el principio de visión estereoscópica es posible realizar medidas y tener una visión 3D de dicha zona.

Antes de entrar al tema de fotogrametría es necesario definir los siguientes conceptos:

5.1 ZONA DE CORRELACIÓN

El vuelo de una aeronave tripulada remotamente (Drone) se realiza a una altitud que debe calcularse teniendo en cuenta la escala deseada y la distancia focal de la cámara, pero además se debe tener en cuenta el parámetro de “correlación” el cual indica que se debe cubrir con imágenes un cierto territorio y es preciso que cada foto tenga una zona en común con la fotografía tomada anteriormente, para cumplir con esto el (RPAS) debe contar con una altura absoluta de vuelo y una velocidad constante, esto con el fin de realizar disparos con intervalos regulares que correspondan a recorridos iguales y de esta manera garantizar un porcentaje de correlación entre la sucesión de imágenes.



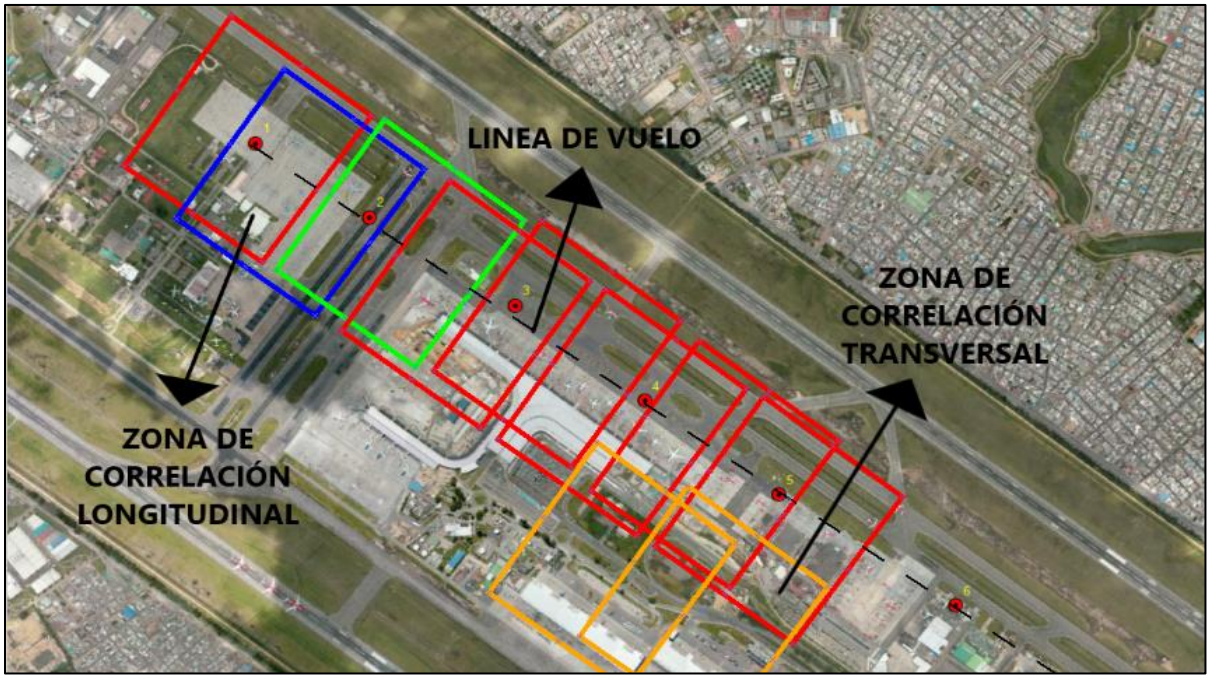


Ilustración 14 Correlación de fotografías longitudinal y transversalmente. Fuente: Elaboración propia.

Cada fotografía tiene una parte en común con la anterior, a la que llamamos zona de "correlación". Dicha zona se expresa en porcentaje de la superficie de la foto. Con el fin de que el software pueda reconocer puntos homólogos y generar excelentes resultados. que el recubrimiento longitudinal sea mayor del 80% y un recubrimiento transversal mayor al 60% para que en cada foto aparezcan los puntos centrales de las dos contiguas. Son frecuentes los recubrimientos del 90%.

5.2 DISTANCIA FOCAL

La distancia focal como muchos piensan no es la distancia real de un lente, sino que es "un cálculo de la distancia óptica desde el punto en donde los rayos convergen hasta formar una imagen nítida de un objeto para el sensor digital de la película en el plano focal de la cámara". (Nikon inc., 2017).

La distancia focal indica el ángulo de visión en una fotografía, es decir, cuánto se capturará de la escena, y el aumento, qué tan grande serán los elementos individuales.

Mientras más larga sea la distancia focal, más estrecho será el ángulo de visión y mayor será el aumento. Mientras más corta sea la distancia focal, más ancho será el ángulo de visión y menor será el aumento.

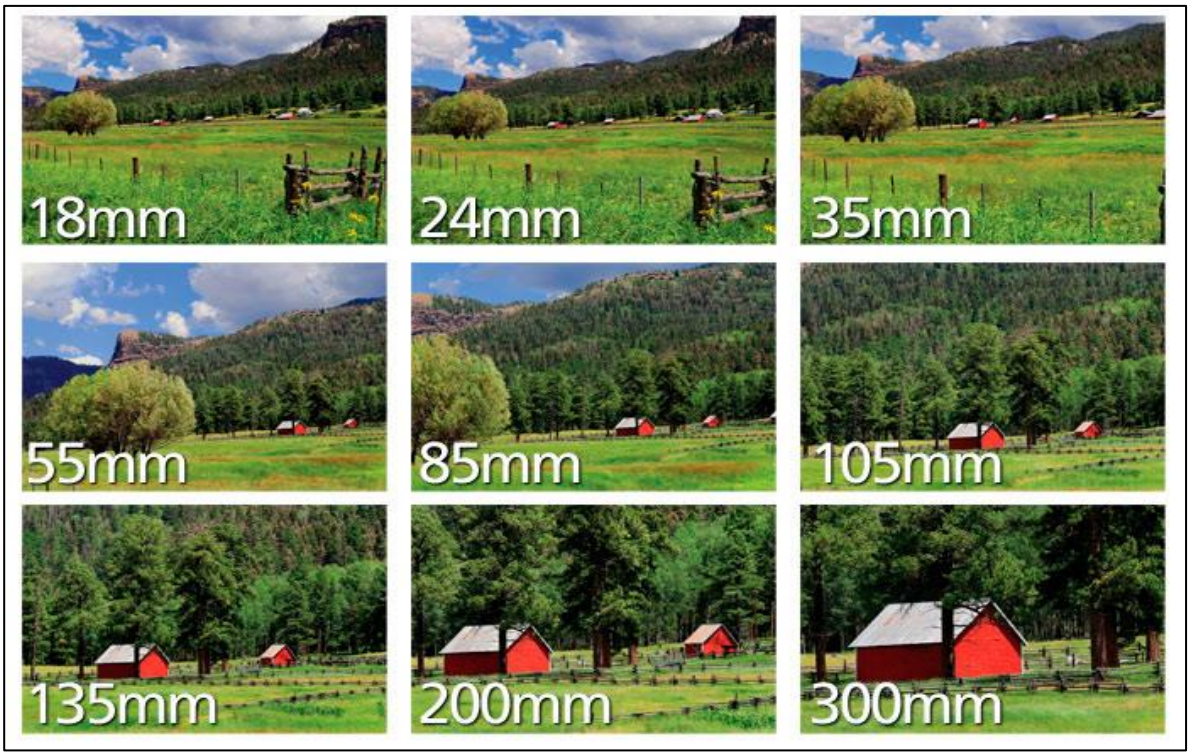


Ilustración 15 Diferencia de enfoque en una fotografía con respecto a la distancia focal. Fuente (Nikon inc., 2017)

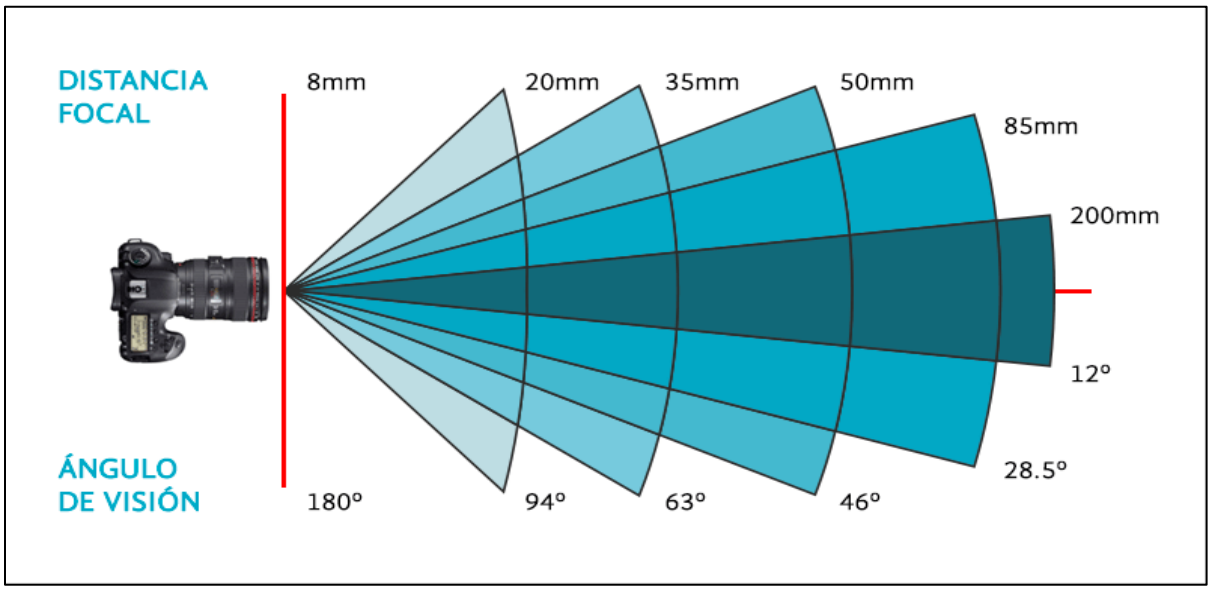


Ilustración 16 Relación entre distancia focal y ángulo de visión. Fuente: (Domínguez Lavín, 2015)



5.3 PIXEL

Es la unidad de los elementos pictóricos que constituyen una imagen digital. Es comparable a la resolución puntual de una película fotográfica. La dimensión física del elemento captor (en la actualidad de 9 a 15 µm) y la longitud focal del sistema óptico empleado, determinan un ángulo sólido, que se prolonga hasta la superficie del terreno. La altitud a la cual se utiliza el dispositivo de captación de la imagen determina entonces el tamaño del área del terreno que el pixel representa. El ángulo sólido determinado por el transistor y el sistema óptico es mejor conocido con el nombre de IFOV, por sus siglas en inglés (Instantaneous Field Of View, campo de vista instantáneo). En una pantalla de computadora o en un dispositivo de entrada, como un escáner o una cámara digital, un pixel es la mínima e individualizada información visual que puede capturar o mostrar un elemento.

“Cuantos más pixeles contenga una imagen mayor será su resolución”

5.4 GSD

por sus siglas en inglés (Ground Sample Distance), es la distancia que puede tener un pixel en el terreno. Conociendo el GSD de un proyecto es posible calcular la escala, y con la escala de un proyecto es posible conocer el GSD o distancia del pixel en el terreno.

5.5 ESCALA

La escala es un parámetro de gran importancia en la fotogrametría y en la realización de vuelos con Drone, es un dato que en la mayoría de casos es conocido antes de realizar el vuelo, pero también es un dato que puede ser conocido después de realizar el vuelo.

Cuando conocemos la escala en la que requerimos un producto, lo que necesitamos hallar es la altura de vuelo adecuada en la que nuestro Drone debe proceder a tomar las fotografías, en el caso contrario en el que no conocemos la escala, la podemos hallar por medio de un cálculo entre la distancia focal y altura de vuelo. (En el siguiente capítulo se muestra con más detalle la manera de calcular las alturas de vuelo.)



A continuación, se presenta una imagen que muestra las diferencias de escalas que se pueden obtener utilizando diferentes tipos de metodologías para recolección de datos.

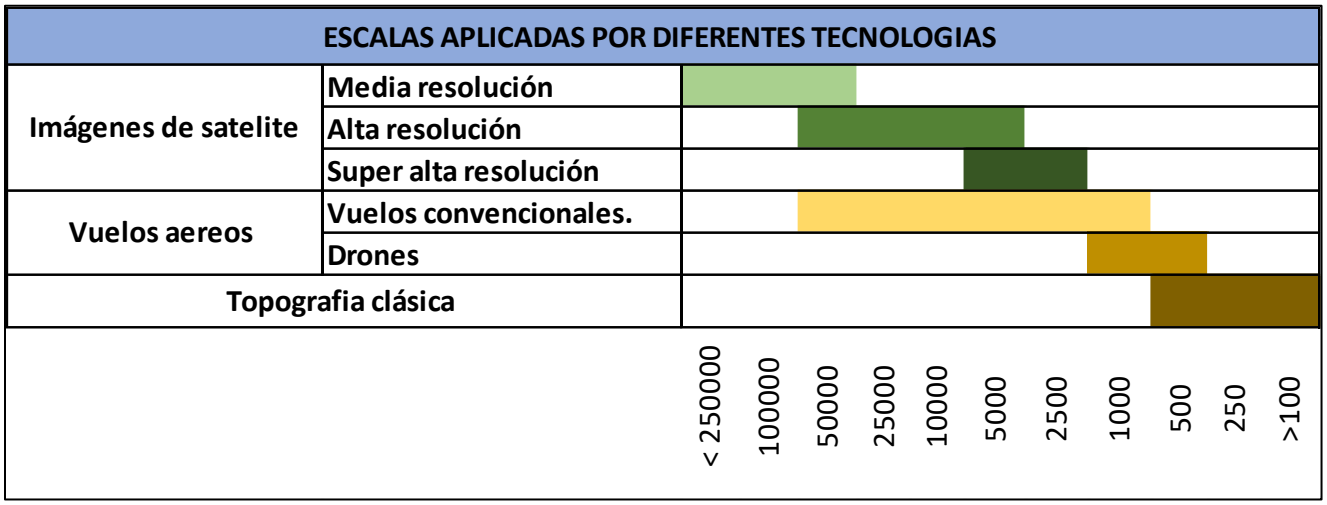


Ilustración 17 Diferencia de escalas según metodología para la obtención de datos en campo. Adaptado de: (Fotogrametria Practica , 2015)

De la anterior imagen podemos analizar que las escalas en las que podemos esperar productos con excelentes resultados utilizando la tecnología Drone varía entre escala 1:2500 y 1:500.

El concepto de fotogrametría es un tema muy importante en la tecnología DRONE ya que las fotografías obtenidas a partir de una aeronave tripulada remotamente (RPA) utilizan el mismo principio de la fotogrametría con la diferencia de las características de las cámaras; ya que las cámaras que se utilizan en el DRONE no son cámaras métricas, son cámaras convencionales, las cuales tienen diferentes parámetros como distancia focal, resolución y distorsión diferentes a las cámaras métricas.

Por medio de los conceptos de fotogrametría es posible calcular un diseño geométrico de un vuelo, en donde podemos definir parámetros como: determinación de las líneas de vuelo, determinación de la separación entre líneas de vuelo, determinación de la altura de vuelo sobre el terreno, determinación de la altura absoluta de vuelo, entre otras.

Gracias a las nuevas tecnologías y los grandes avances en software que se han desarrollado en los últimos tiempos, el diseño de vuelo Drone se puede realizar de manera muy sencilla en un programa especializado para este fin.



(en el próximo ítem de este manual se muestra de manera detallada la forma de diseñar un vuelo asistido para un Drone. En un software libre llamado Mission Planner).

El tema principal en este capítulo es la determinación de la altura de vuelo necesaria, para obtener un producto a una escala definida. A demás de encontrar el tamaño del GSD (tamaño de pixel) teniendo en cuenta los parámetros de la cámara que vamos a utilizar.

5.6 DETERMINACIÓN DE LA ALTURA DE VUELO SOBRE EL TERRENO (Z)

Por definición de escala se conoce la siguiente formula.

$$\frac{1}{E} = \frac{\mathrm{df}}{DT}$$

En donde:

- E = Escala del producto esperado (fotografía)
- df = distancia medida en la fotografía.
- Dt = la misma distancia medida en el terreno.

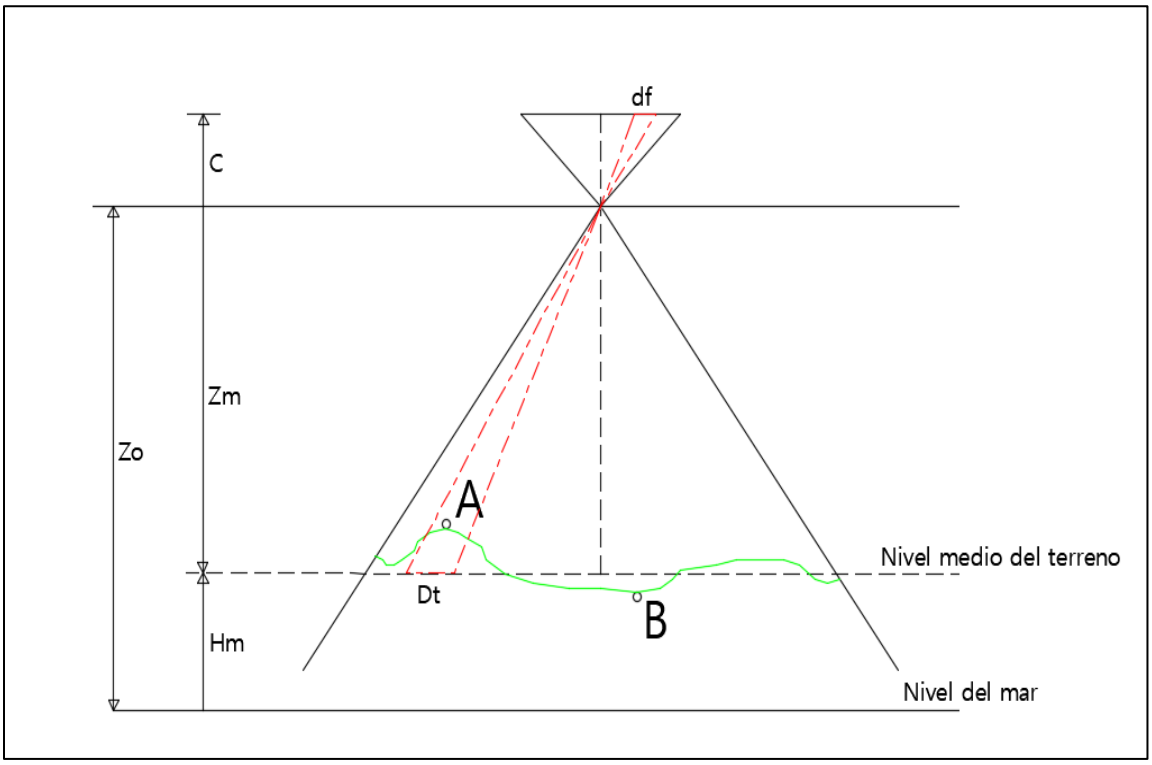


Ilustración 18 Escala de la fotografía aérea. Adaptado de:



De acuerdo con la ilustración 18, se tiene lo siguiente:

$$\frac{\mathrm{df}}{DT} = \frac{c}{z}$$

Combinado las anteriores formulas:

$$\frac{1}{E} = \frac{c}{z}$$

Por lo tanto:

$$Zm = c * Em$$

En donde:

- Zm = Altura media de vuelo.
- Em = escala de la imagen.

Ejemplo:

C = 90 mm Em = 1500

Aplicando la fórmula:

Zm = 0.09 * 1500

Zm = 135m.



5.7 DETERMINACIÓN DE LA ALTURA ABSOLUTA DE VUELO (Zo)

La altura absoluta de vuelo hace referencia a la altura de vuelo teniendo en cuenta la elevación del terreno a levantar.

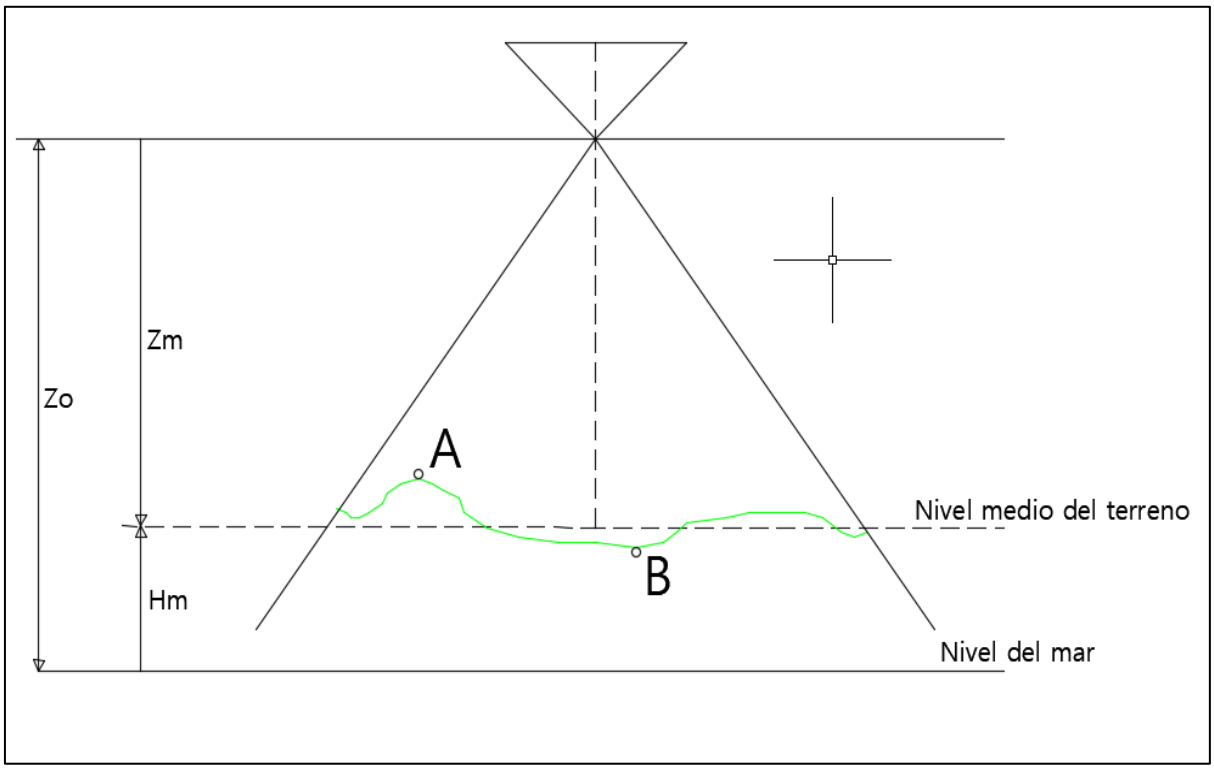


Ilustración 19 Altura absoluta de vuelo. Fuente Adaptado de: (Centro Interamericano de Fotointerpretación C.I.A.F, 1981)

Por definición se establece la siguiente formula:

$$Zo = Zm + Hm$$



6. IMAGEN DIGITAL.

Una imagen digital es un arreglo de números enteros (denominados comúnmente como pixeles) los cuales están ubicados en forma de matriz, donde el primer elemento (pixel) de la imagen digital se encuentra ubicado en la primera posición de fila y columna. “En la parte superior izquierda de la imagen”.

Para cada valor del arreglo, es decir, a cada pixel, se le asocia un tono de gris correspondiente al nivel de intensidad promedio reflejada por el escenario original. El tono esta dado por valores binarios cuya forma es 2^n. (Universidad de los Andes Venezuela).

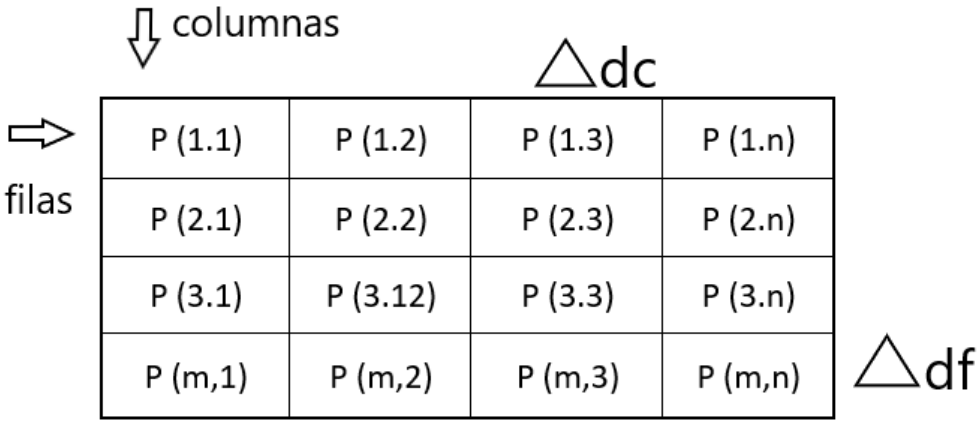


Ilustración 20 matriz de pixeles imagen digital. Fuente: Adaptado de: (Centro Interamericano de Fotointerpretación C.I.A.F, 1981)

Cada elemento de la matriz tiene un tamaño finito de muestreo Δdf * Δdc (normalmente Δdf = Δdc) como se muestra en la ilustración 21. el rango de la matriz oscila entre

Filas: f = 0,1,2,3…m
Columnas: c = 0,1,2,3…n

La diferencia entre obtener una imagen digital a una fotográfica radica en la facilidad de análisis que puede realizarse en una imagen digital mediante el uso de una computadora, es decir puede ser manipulada radiométricamente y geométricamente mediante



diferentes tipos de software, los cuales son mucho más económicos que los dispositivos ópticos y químicos usados en la fotografía.

Aunque la imagen digital tiene ventajas sobre la imagen analógicas como, su visualización inmediata, su capacidad de ser editada por programas adecuados. Se tiene como desventaja, su baja resolución geométrica respecto a la fotografía analógica y su exigencia de gran cantidad de memoria para ser almacenada. Sin embargo, estas desventajas se reducen cada día más, a medida que la tecnología avanza.

El sistema de coordenadas de la imagen digital difiere del sistema cartesiano en que su origen se ubica en el primer píxel del sensor, por lo que se encuentre a la izquierda y en la parte superior. Esta diferencia entre ambos sistemas se debe al propio carácter numérico de la imagen, lo que hace que el primer píxel sea el primer elemento (p(1, 1)) de la matriz p.

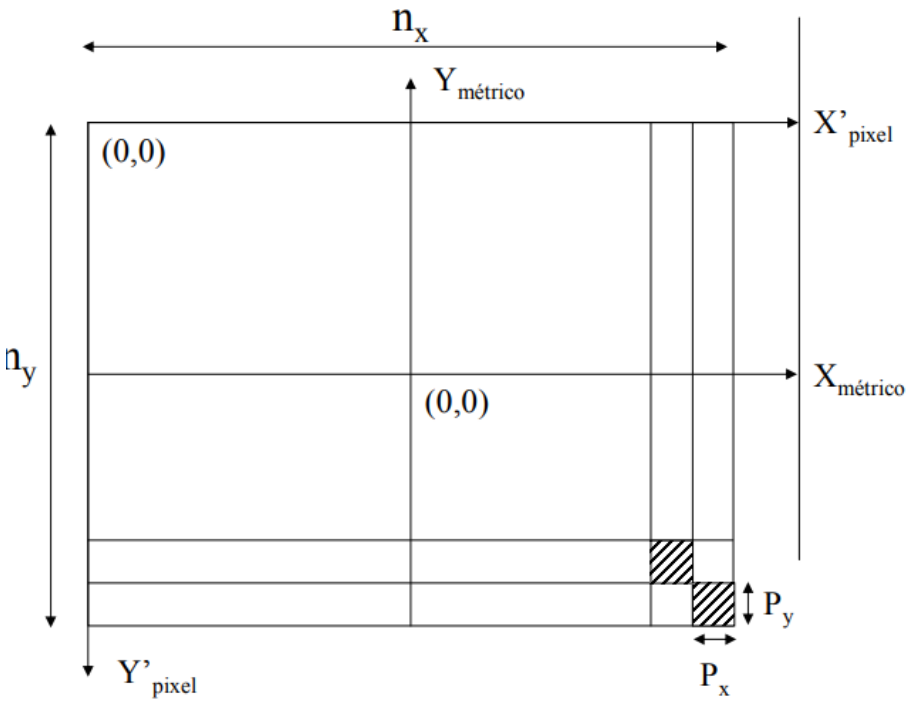


Ilustración 21 Coordenadas de la imagen digital. Fuente: Adaptado de: (Centro Interamericano de Fotointerpretación C.I.A.F, 1981)



Las imágenes digitales son producidas mediante muestreo discreto. En este proceso una pequeña área en el plano focal es tomada para determinar cuanta energía electromagnética es recibida por la correspondiente superficie del objeto.

La resolución espacial se refiere al tamaño físico que un pixel de la imagen representa en el terreno; cuanto mayor sea la cantidad de pixeles que cubren un área determinada, mayor resolución geométrica de la imagen, ya que el píxel representará una menor superficie del objeto.

La resolución radiométrica implica la conversión de la amplitud de la energía electromagnética original en un número de niveles discretos. Mayores niveles de cuantización resultan en mejores representaciones de la señal análoga, y por lo tanto mayor resolución radiométrica, por cuanto se discriminan diferencias más pequeñas de la energía que llega al sensor.

La imagen digital es de carácter binario, es decir, está constituida por bites, los cuales sólo pueden tener dos estados: alto o bajo, representados respectivamente como 1 ó 0. El número de bites disponibles para registrar la imagen determina su resolución radiométrica.

De este modo, una imagen de 4 bites dará una resolución de 24 es decir, 16 tonos diferentes. Una imagen de 8 bites dará una resolución de 28 es decir, 256 tonos diferentes. Estos tonos son desplegados como grises, donde su mínimo valor (0) se representará pictóricamente como negro, y su máximo valor 255 (en el caso de una imagen de 28 bites).

FORMATOS MAS COMUNES DE IMAGEN DIGITAL:

- BMP (Bit MaP) Es un formato creado para windows, aunque puede usarse en todos los programas que despliegan y editan imágenes.

- JPEG (Joint Photographic Experts Group) Es un formato que permite alcanzar elevados niveles de compresión, manteniendo una calidad adecuada.



- GIF (Graphic Interchange Format) La imagen GIF son de pequeño tamaño, y tienen la posibilidad de transparencia y animación. Los programas que manipular este formato deben pagar royaltis a Unisys, propietaria del algoritmo de compresión LZW.

- PNG (Portable Network Graphic) Es un formato basado en las características del GIF, aunque mejorado y posee el inconveniente de que no es soportado por todos los programas que manipulan imágenes.

- TIFF (Tagged Image File Format) Es un formato creado por Aldus (Actualmente propiedad de Adobe) y Microsoft; el formato TIFF fue creado para adquirir y crear imágenes optimizadas para la impresión.

	SOFTWARE	
	AGISOFT PHOTOSCAN	PIX4D
TIPOS DE IMAGEN QUE SON COMPATIBLES CON EL SOFTWARE	JPEG (*.jpg *.jpeg), TIFF (*.tif *.tiff), PNG (*.png), BMP (*.bmp), OpenEXR (*.exr) , Portable Bit Map (*.pgm *.ppm), Digital Navigate (*.dng), Multi-Picture Object (*.mpo), Norpix Sequence File (*.seq).	JPEG (*.jpg *.jpeg *.JPG *.JPGE) TIFF (*.tif *.tiff *.TIF *.TIFF)



7. PUNTOS DE CONTROL

Un punto de control es un sitio físico ubicado en la superficie terrestre del cual se conoce su posición (X, Y o X, Y, Z.) respecto a un sistema de coordenadas. los puntos de control en los vuelos tripulados y no tripulados son de vital importancia, ya que de ellos depende la georreferenciacion del proyecto y son los que me garantizan que nuestros productos como modelos digitales de terreno no van a estar desconfigurados ni en posición ni en altura.

La ubicación de los puntos se debe planear con anticipación al vuelo y se puede realizar en un software como google Earth, la cantidad de puntos de control no deberá ser menor a tres (3) y por experiencias de diferentes profesionales, se recomiendan cinco (5) o seis 6.

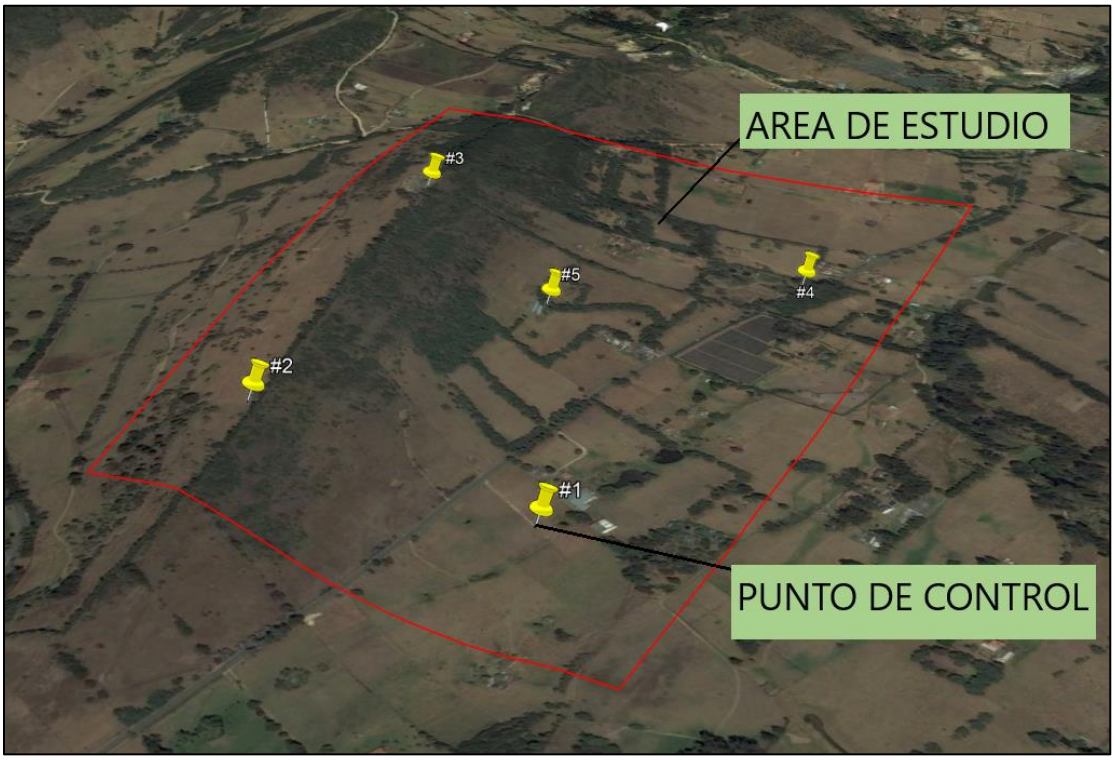


Ilustración 22 Ubicación puntos de control, Software Google Earth. Fuente: Elaboración propia.

En el campo al momento del posicionamiento GPS es necesario marcar los puntos de control de una manera que sean identificables a la hora de visualizar las fotografías, es recomendable utilizar tela o pintura, de un color diferente al que existe en el suelo,

formando una cruz en el punto de control. Debe ser identificable debido a que, la coordenada de precisión milimétrica que se registró en campo será asignada al pixel que representa el punto de control en la imagen.

Otros factores que se deben tener en cuenta a la hora de ubicar nuestros puntos de control son: no deben existir obstáculos que me interfieran la señal entre el satélite y el GPS (vegetación alta, montañas muy grades, edificios etc.), no debe estar cerca de transformadores de energía ni antenas de señales de celular.



Ilustración 23 Marca de un punto de control en campo. Fuente: Elaboración Propia.

La medición con GPS es un método diferencial, el cual consiste en observar y calcular una línea base entre dos receptores. Cuando estos dos receptores observan el mismo conjunto de satélites en forma simultánea, los efectos atmosféricos se anulan en gran parte. Por lo tanto, entre más corta sea la línea base, mayor será la probabilidad de que la transmisión de señales a los dos receptores resulte en condiciones atmosféricas idénticas. (Leica Geosystems, 2003). La red permanente que se utiliza de base en

Colombia es la estación cors de la red MAGNA - ECO o de la red de operación continua del Instituto Geológico Colombiano.

De igual forma el cálculo de tiempo para la recepción de GPS modo estático se calcula teniendo en cuenta la distancia que exista entre nuestro punto de control y la antena de recepción continua cors, en ese orden de ideas el tiempo de recepción será igual a 25 minutos iniciales del GPS, mas 5 minutos por cada kilómetro de distancia entre el punto y la antena de recepción continua.

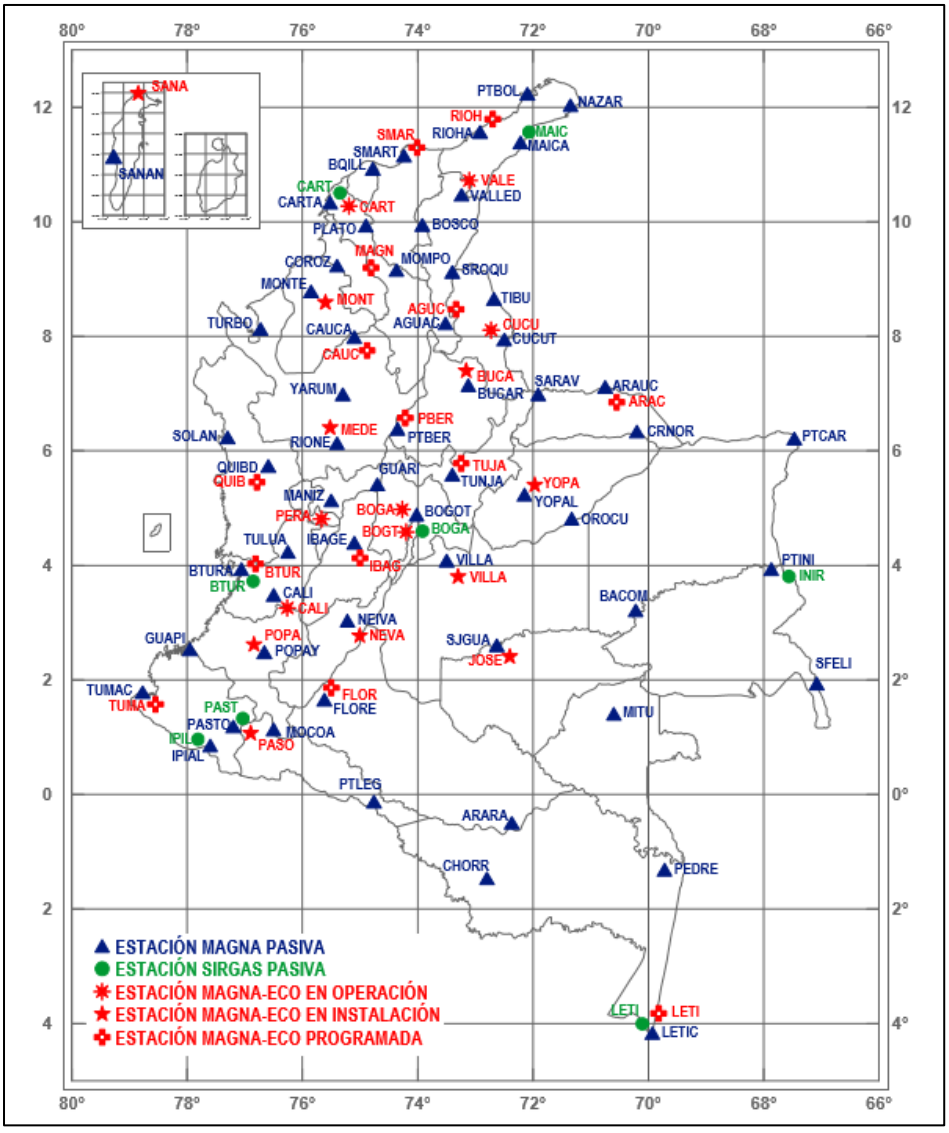


Ilustración 24 Sistema MAGNA-SIRGAS: Red básica GPS y estaciones de funcionamiento. Fuente: (Rodriguez Sanchez , 2004)



El resultado del posicionamiento GPS de los puntos de control es un archivo crudo, el cual debe ser post-procesado en oficina por un profesional con conocimiento en geodesia. Con el fin de determinar las coordenadas con una precisión milimétrica, las cuales ocuparán un lugar espacial en el pixel de nuestras fotografías y georreferenciarán todo el proyecto.



8. CONFIGURACIÓN DE VUELO ASISTIDO

8.1 SOFTWARE MISSION PLANNER

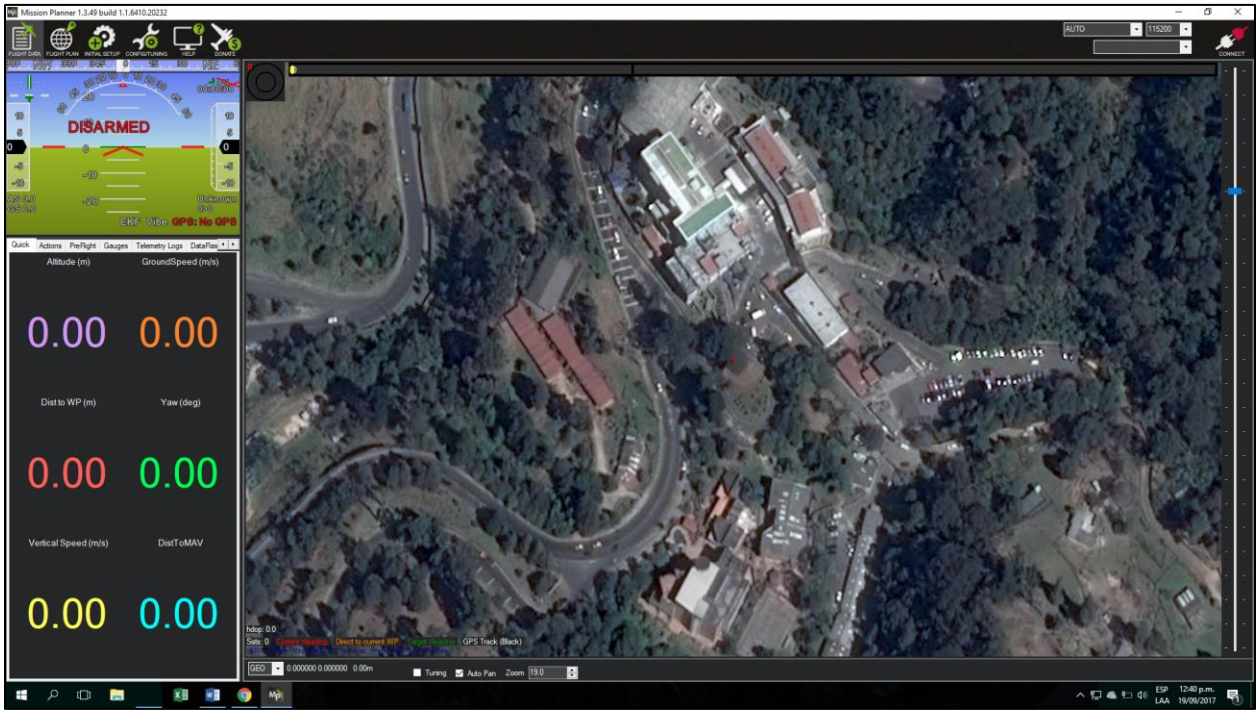


Ilustración 25 Pantalla principal software Mission Planner. Fuente: Elaboración propia

Mission Planner es una completa aplicación de estación terrestre la cual nos permite crear un proyecto de piloto automático, en dicho proyecto se puede crear una ruta de coordenadas y alturas. El software utiliza mapas base de diferentes fuentes y trabaja con coordenadas geográficas, planas UTM. La estación de control terrestre Mission planner es compatible con Plane, Copter y Rover. Solo es ejecutable en Windows.

A continuación, algunas funciones que nos permite realizar:

- Cargar el software en el piloto automático (APM, PX4…)
- Configure y ajuste su vehículo para un rendimiento óptimo (velocidad, altura…)
- Planifique, guarde y cargue misiones autónomas en su piloto automático con una entrada sencilla WAY-POINT.
- Descargue y analice los registros de misión creados por su piloto automático.



- Interfaz con un simulador de vuelo de PC para generar un simulador completo de RPA de hardware en el bucle.
- Con el hardware de telemetría adecuado puede:
  - Controlar el estado de su vehículo mientras está en funcionamiento.
  - Guardar los registros de telemetría que contienen mucha más información que los registros del piloto automático a bordo.
  - Ver y analizar los registros de telemetría
  - Operar su vehículo en FPV (Vista en Primera Persona)

8.2 CONEXIÓN DEL RPAS CON MISSION PLANNER:

Para establecer una conexión entre el RPAS y el software Mission Planner existen diferentes métodos de comunicación, dichos métodos pueden ser: configurar el hardware físico y los controles de dispositivo de Windows, conectar el PC y el piloto automático mediante cables USB, radios de telemetría, vía Bluetooth, conexiones IP, entre otras.

CONEXIÓN ENTRE EL CONTROLADOR DE VUELO Y LA COMPUTADORA.

Una vez instalado el software Mission Planner en la computadora conecte el piloto automático por medio de un cable micro USB para el piloto automático y entrada USB para la computadora.



Ilustración 26 controlador de vuelo Pixhawk conexión USB. Fuente (ardupilot, 2016)

CONEXIÓN CON MISSION PLANNER.

Abra el software Mission Planner y seleccione el menú despegable (parte superior derecha, cerca del botón conectar) seleccione el puerto que corresponda con su equipo, selecciónelo. Establezca la velocidad en baudios en 115200 (por defecto), no pique todavía la conexión.

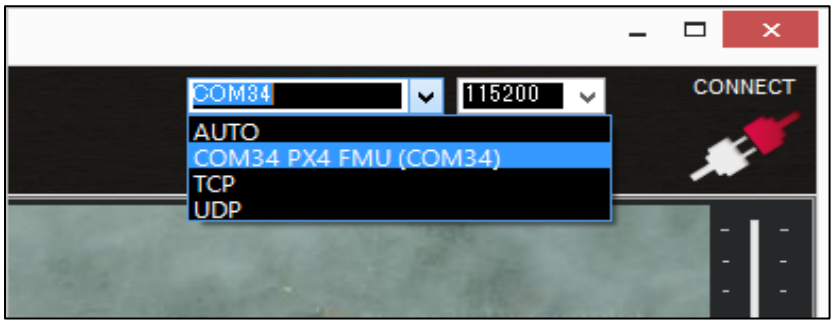


Ilustración 27 Selección del dispositivo. Fuente (ardupilot, 2016)

INSTALACIÓN DEL FIRMWARE.

En la configuración inicial (parte superior izquierda) seleccione “INITAIL SETUP”, después “INSTALL FIRMWRE” seleccione el icono apropiado que corresponda con su equipo. Cuando seleccione el icono aparecerá un recuadro preguntando si está seguro, clic en aceptar.

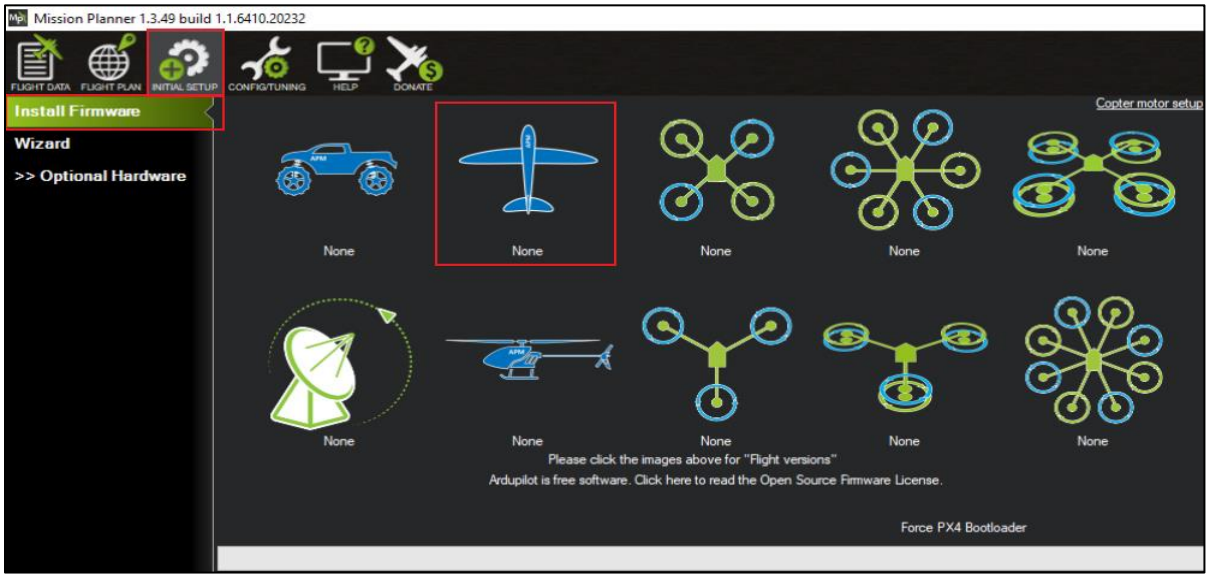


Ilustración 28 Instalación del Firmware. Fuente: Elaboración propia.

Después de que el Mission Planner detecte el dispositivo que se está utilizando, le pedirá que desenchufe la tarjeta, vuelva a enchufarla y presione la AUTORIZACION.

Si todo sale bien aparcera nuevos campos en la parte inferior derecha que incluye palabras como: “borrar, programar, verificar, cargar terminado”.

INSTALACIONES OPCIONALES

En el mismo recuadro que desplegó para conectar el FIRWARE existe un campo “OPTIONAL HARDWARE” el cual nos muestra otros tipos de conexión diferentes al de la conexión con el controlador de vuelo.

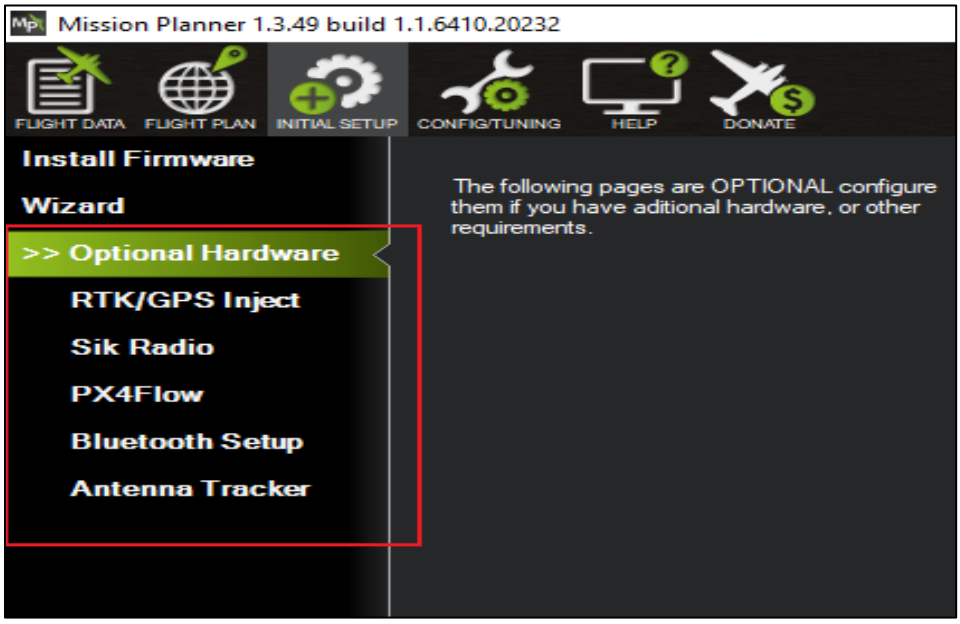


Ilustración 29 Instalaciones de Hardware opcionales. Fuente: Elaboración propia.

8.3 CREACIÓN DE LA RUTA EN MISSION PLANNER.

La creación de nuestra ruta o plan de vuelo se realizará en la opción de “FLIGHT PLAN” la cual se encuentra en la barra principal (parte superior derecha).

Como primera medida se hará un breve reconocimiento de las herramientas que nos brinda la opción de “FLIGHT PLAN” o plan de vuelo. Al elegir la opción “FLIGHT PLAN” se abre una venta con un mapa base, una barra lateral de herramientas en la parte derecha la cual nos permite (modificar el sistema de coordenadas, seleccionar los



diferentes tipos de mapas base, guardar y cargar rutas creadas anteriormente y nos muestra las coordenadas de localización o casa), y una barra horizontal en la parte inferior de la pantalla. La cual nos permite modificar los comandos WAYPOINT que vamos seleccionando en la ruta de vuelo.

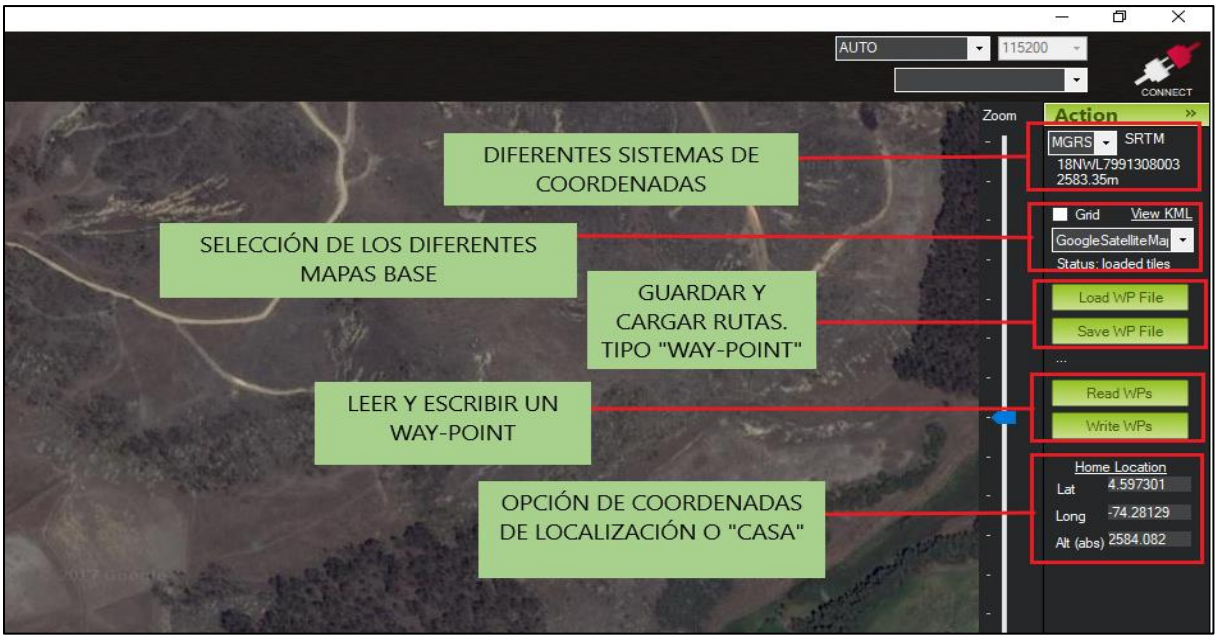
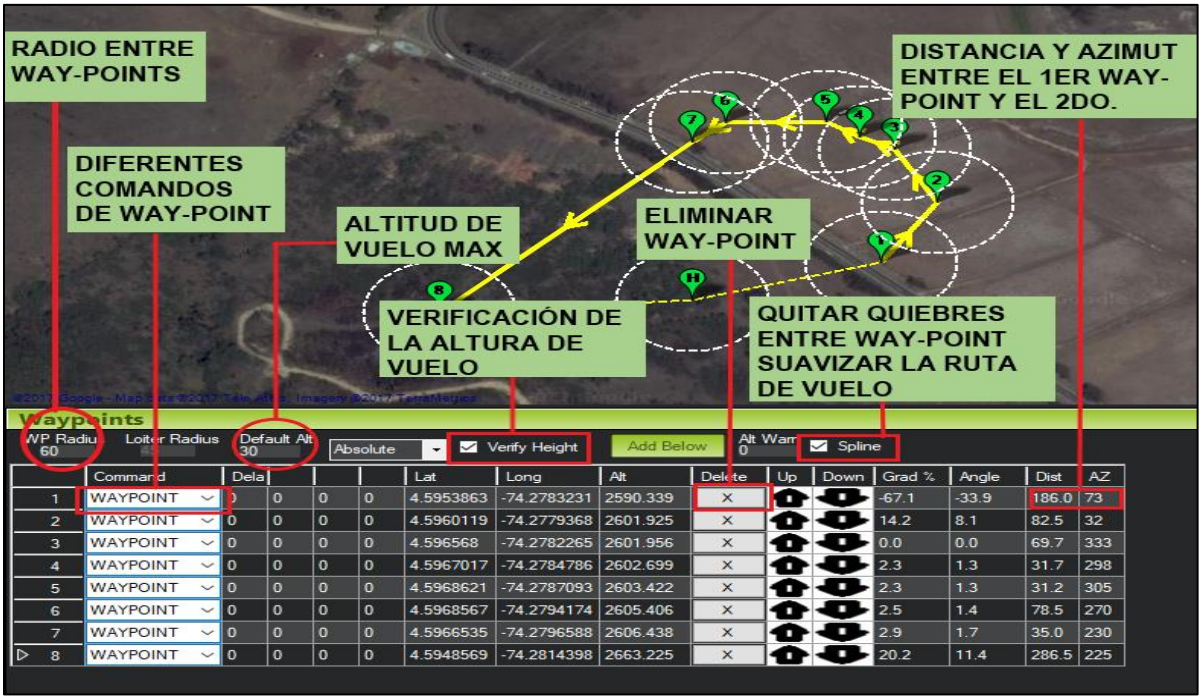


Ilustración 30 Herramientas de la barra lateral derecha. Fuente: Elaboración propia.



	Command	Dela				Lat	Long	Alt	Delete	Up	Down	Grad %	Angle	Dist	AZ
1	WAYPOINT	0	0	0	0	4.5953863	-74.2783231	2590.339	×			-67.1	-33.9	186.0	73
2	WAYPOINT	0	0	0	0	4.5960119	-74.2779368	2601.925	×			14.2	8.1	82.5	32
3	WAYPOINT	0	0	0	0	4.596568	-74.2782265	2601.956	×			0.0	0.0	69.7	333
4	WAYPOINT	0	0	0	0	4.5967017	-74.2784786	2602.699	×			2.3	1.3	31.7	298
5	WAYPOINT	0	0	0	0	4.5968621	-74.2787093	2603.422	×			2.3	1.3	31.2	305
6	WAYPOINT	0	0	0	0	4.5968567	-74.2794174	2605.406	×			2.5	1.4	78.5	270
7	WAYPOINT	0	0	0	0	4.5966535	-74.2796588	2606.438	×			2.9	1.7	35.0	230
8	WAYPOINT	0	0	0	0	4.5948569	-74.2814398	2663.225	×			20.2	11.4	286.5	225

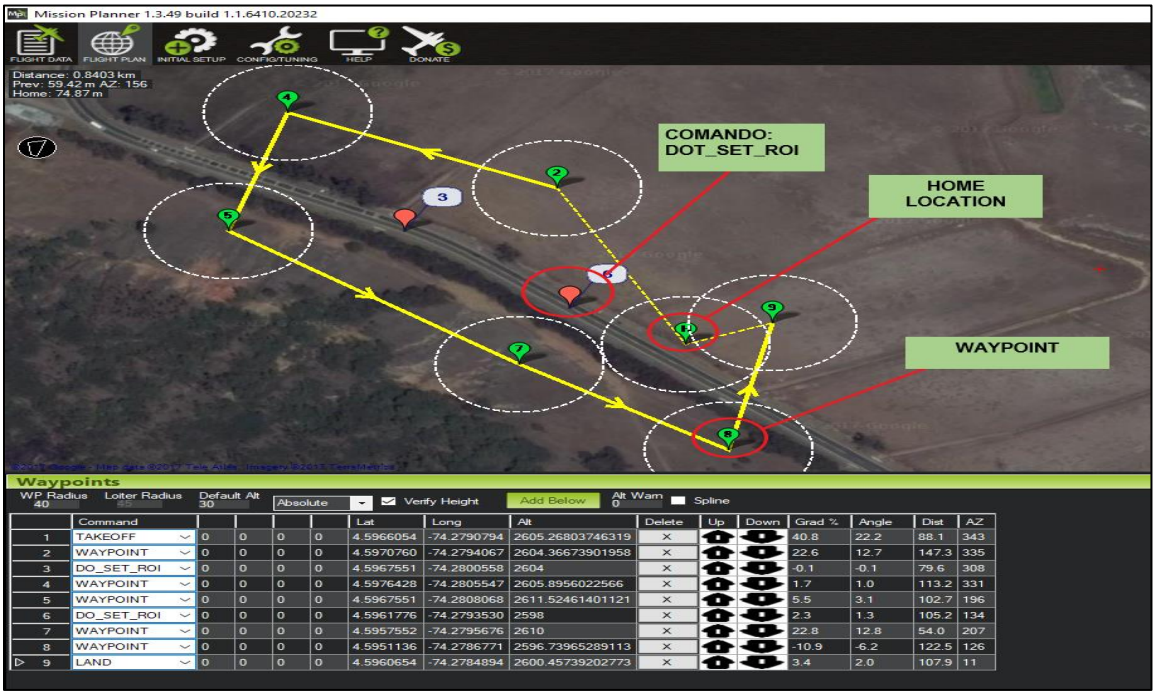
Ilustración 31 Barra lateral herramientas de WAYPOINT. fuente: Elaboración propia



Como primera medida en la creación de una ruta de vuelo, seleccionamos el WAYPOINT de despegue, para crearlo damos clic en el punto de despegue (en el mapa base) y procedemos a cambiar en la barra lateral el WAYPOINT por el comando de “TAKEOFF”. los siguientes puntos que seleccionemos en el mapa base serán los puntos de la ruta de vuelo, hasta el último WAYPOINT el cual llevará por comando LAND esto quiere decir que en el último punto aterrizará él RPAS. A cada punto le podemos modificar la altura de vuelo según nuestras necesidades de trabajo.

De igual forma, modificando los comandos de los puntos también podemos seleccionar hacia donde queremos que nuestra cámara apunte, seleccionando el comando de DO_SET_ROI. Cuando seleccionamos este comando nuestro punto en el mapa base se convierte de color rojo, y lo ubicamos según la zona que deseemos fotografiar. Si deseamos que en cada punto de vuelo la cámara apunte a un lugar diferente, es necesario crear el DO_SET_ROI después del punto de la ruta de vuelo WAYPOINT.

Ejemplo: se creó un polígono de 6 WAYPOINT, un punto de TAKEOFF, otro de tipo LAND y 2 zonas diferentes a fotografiar, DO_SET_ROI. Todos a una altura de vuelo de 30m y un radio de 40m. Como se muestra en la siguiente ilustración.



	Command					Lat	Long	Alt	Delete	Up	Down	Grad %	Angle	Dist	AZ
1	TAKEOFF	0	0	0	0	4.5966054	-74.2790794	2605.26803746319	×			40.8	22.2	88.1	343
2	WAYPOINT	0	0	0	0	4.5970760	-74.2794067	2604.36673901958	×			22.6	12.7	147.3	335
3	DO_SET_ROI	0	0	0	0	4.5967551	-74.2800558	2604	×			-0.1	-0.1	79.6	308
4	WAYPOINT	0	0	0	0	4.5976428	-74.2805547	2605.8956022566	×			1.7	1.0	113.2	331
5	WAYPOINT	0	0	0	0	4.5967551	-74.2808068	2611.52461401121	×			5.5	3.1	102.7	196
6	DO_SET_ROI	0	0	0	0	4.5961776	-74.2793530	2598	×			2.3	1.3	105.2	134
7	WAYPOINT	0	0	0	0	4.5957552	-74.2795676	2610	×			22.8	12.8	54.0	207
8	WAYPOINT	0	0	0	0	4.5951136	-74.2786771	2596.73965289113	×			-10.9	-6.2	122.5	126
▷ 9	LAND	0	0	0	0	4.5960654	-74.2784894	2600.45739202773	×			3.4	2.0	107.9	11

Ilustración 32 Ruta de vuelo con la cámara apuntando hacia la vía. Fuente Elaboración Propia.



RUTA DE VUELO POR MEDIO DE UN POLIGONO.

Otro método para crear una ruta de vuelo consiste en crear un polígono sobre el aérea de interés, y luego generarle una grilla en donde el RPAS sobrevolara por toda la zona. En este método es posible modificar varios parámetros como velocidad del vuelo, altura, distancia en metros entre líneas de vuelo (grilla). A demás, se pueden conocer datos como área seleccionada, longitud de líneas en la grilla, duración total del vuelo, numero de fotografías, entre otros.

Para realizar este tipo de método damos clic derecho sobre el mapa base, esta acción despliega una serie de herramientas, seleccionamos la opción de “DRAW POLYGON” y luego “ADD POLYGON POINT”, el software nos crea el primer punto del polígono el cual podemos mover a donde queramos, luego para seguir adicionando puntos picamos clic izquierdo delimitando la zona de nuestro interés.

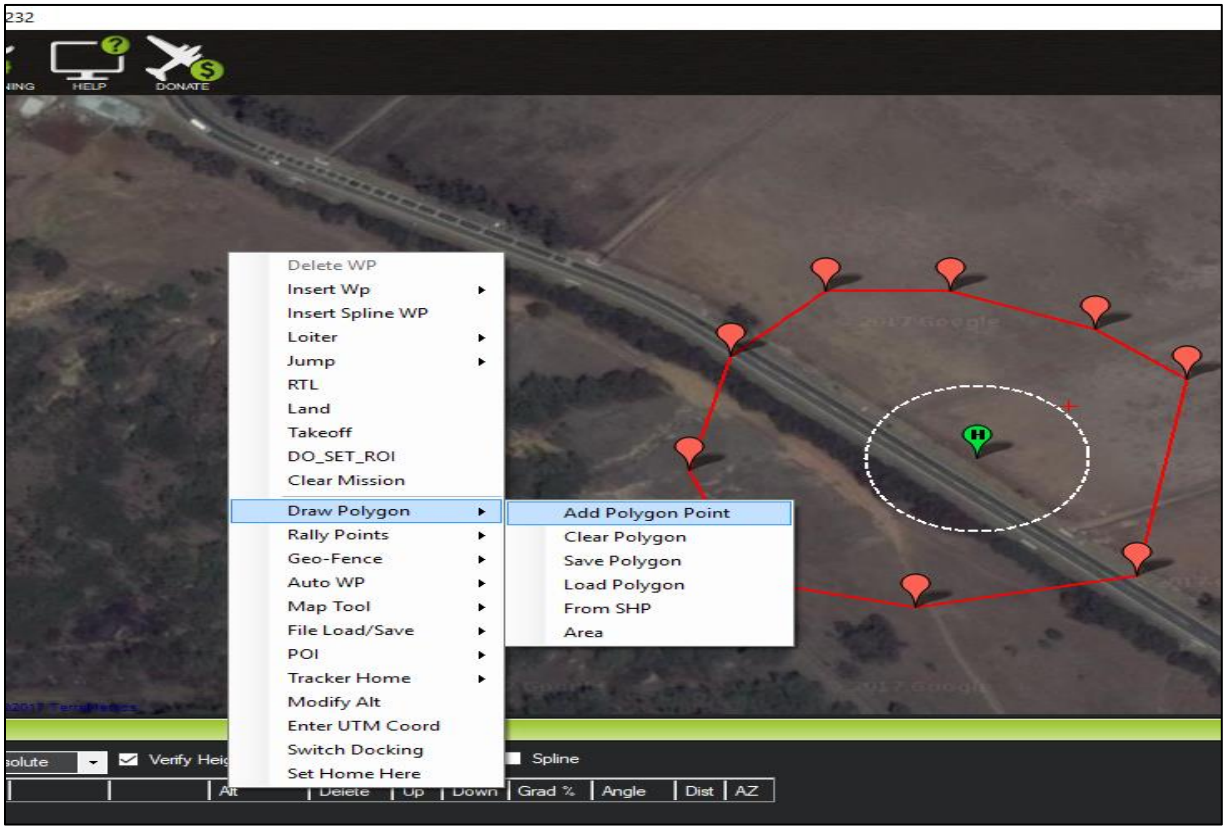


Ilustración 33 Creación del polígono delimitando la zona de interés. Fuente: Elaboración Propia.



Después de tener el polígono creado procedemos a dar nuevamente clic izquierdo en el mapa base y seleccionamos la opción “AUTO WP” luego “SURVEY GRID” al momento de picar en este comando el software nos abre una nueva ventana con la grilla de vuelo creada, en donde podemos modificar diferentes parámetros, los cuales cambiaremos según la finalidad del trabajo a realizar.

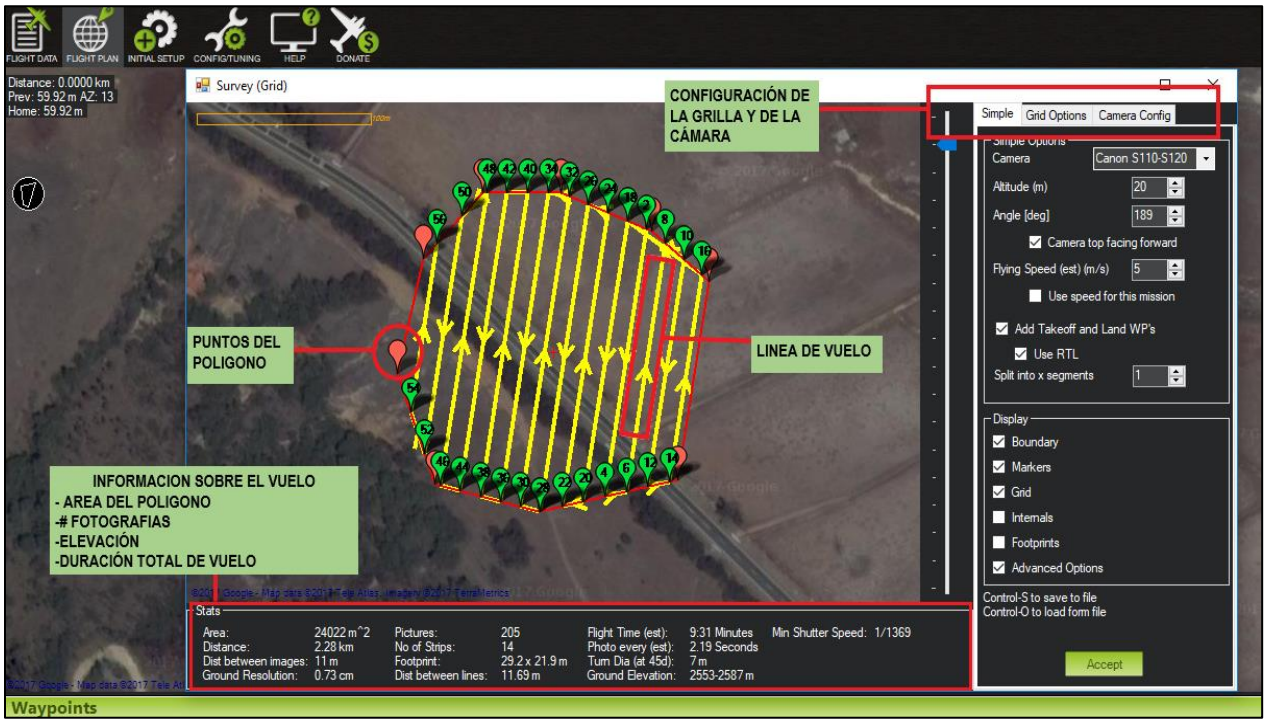


Ilustración 34 Generación de vuelo por polígono y grilla. Fuente: Elaboración Propia.

Este último método es el que tiene más concordancia a la hora de planear un vuelo con fines topográficos y cartográficos, ya que el RPAS recorre toda la zona en forma uniforme y adquiere toda la información necesaria para un producto de calidad y precisión.

IMPORTACIÓN DE UNA RUTA DE VUELO DESDE ARCGIS

Teniendo en cuenta que en algunas ocasiones existen zonas de interés que deseamos sobrevolar y en nuestro mapa base del software Mission planner no tiene la calidad de pixel necesaria, podemos crear un shape bien sea tipo punto o polígono en el software ArcGIS e importarlo en nuestro Mission Planner.

Para cargar nuestro archivo tipo .shp nos dirigimos a el menú principal (parte superior derecha) y entramos al campo “FLIGHT PLAN”. En el mapa base procedemos a dar clic izquierdo y seleccionamos la opción “DRAW POLYGON” luego “FROM SHAPE”, inmediatamente se abre una ventana en donde buscamos la ruta de nuestro archivo y lo cargamos. Para finalizar como se explicó en el anterior paso “ruta de vuelo por medio de un polígono” procedemos a crear la grilla de vuelo.

Ejemplo: en ArcGIS se creó un shape tipo polígono sobre una ortofoto de la ciudad de Bogotá, en el parque Simón Bolívar, luego se importó el shape en Mission Planner y se creó la grilla o ruta de vuelo.

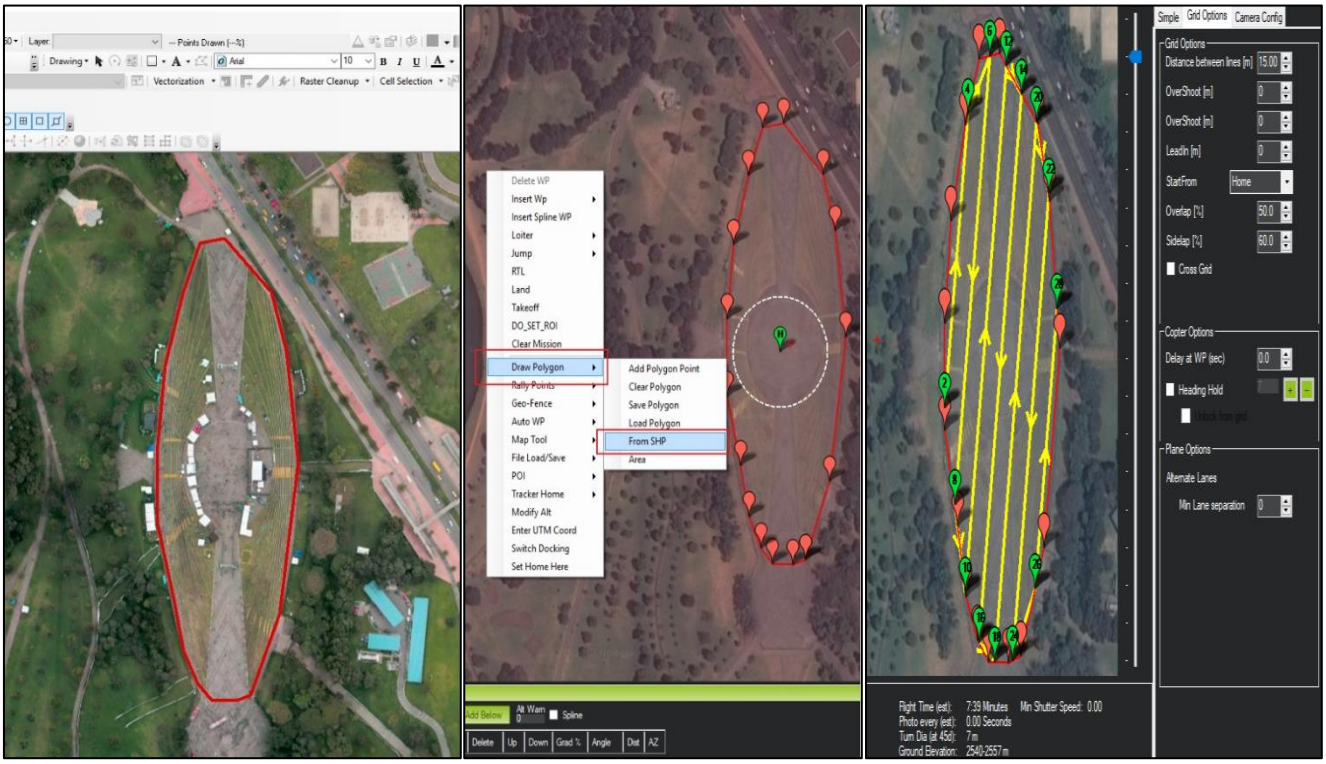


Ilustración 35. Shape ArcGIS - Importación shape en Mission Planner - Creación de la grilla. Fuente: Elaboración Propia



9. POSTPROCESO SOFTWARE AGISOFT PHOTOSCAN.

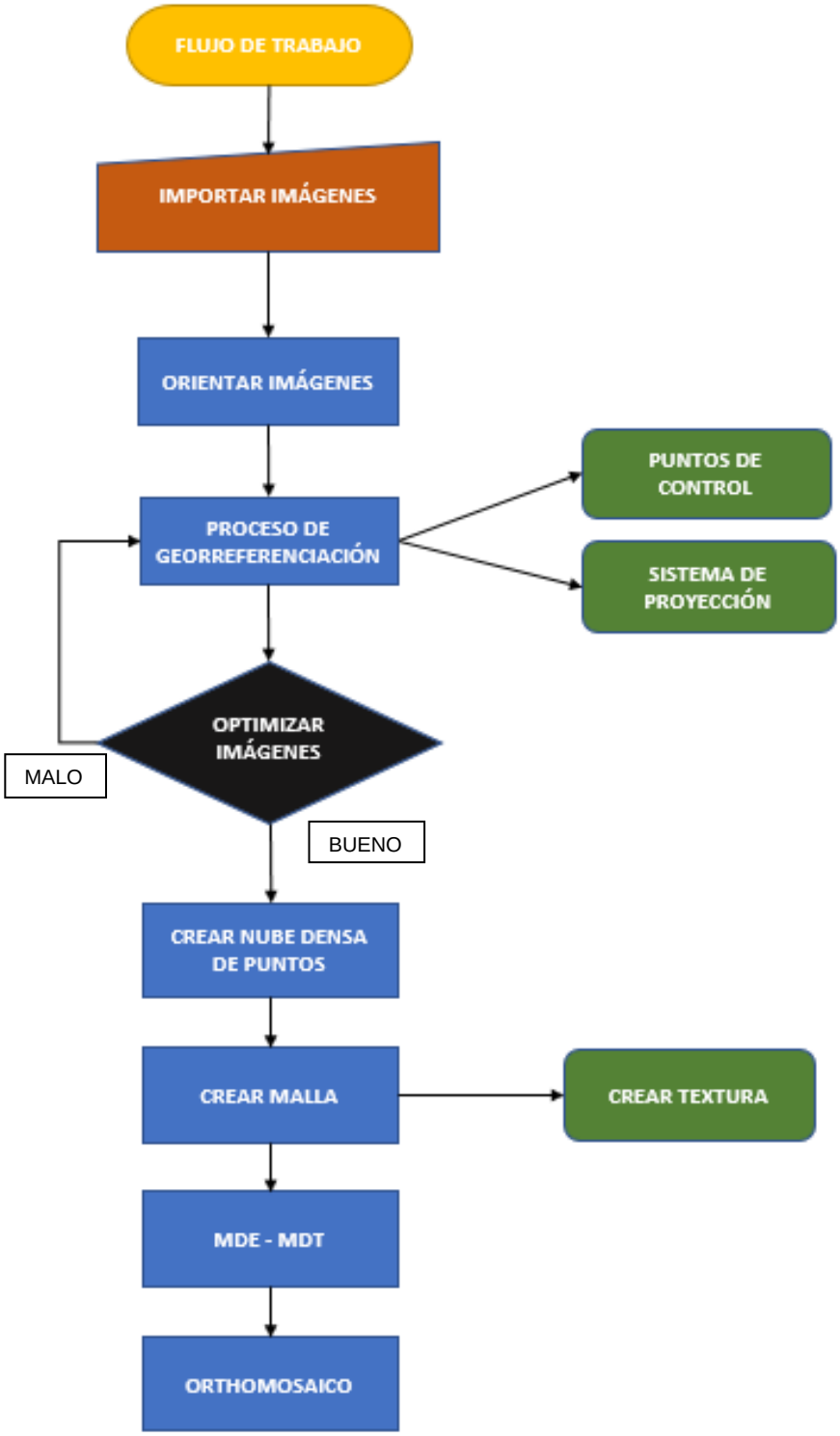
El software Agisoft Photoscan es un programa autónomo que permite realizar el proceso fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos espaciales en 3D. Es muy utilizado en aplicaciones SIG, documentación de patrimonio cultural y producción de efectos visuales, así como para mediciones indirectas de objetos de diversas escalas. Gracias a estos productos es posible realizar diferentes tipos de análisis del terreno, generar modelamientos y como se mencionaba anteriormente realizar medidas lineales y volumétricas a una gran precisión.

Este programa es muy utilizado actualmente por su facilidad de manejo y por los buenos resultados que permite obtener, así como su diversidad de productos que ofrece:

- Triangulación fotogramétrica.
- Construcción de una nube densa de puntos.
- Modelos digíteles de elevación (MDE)
- Exportación ortomosaica georreferenciada.
- Modelos digitales de terreno (MDT).



9.1 FLUJO DE TRABAJO.





Para iniciar comenzaremos identificando las herramientas de la interfaz principal del software:

- File (1): Esta herramienta nos permite crear nuevos archivos, cargar archivos existentes, guardar archivos y exportar productos como Orthomosaicos, MDE, entre otros.
- Edit (2): Esta herramienta nos permite editar los procesos que se hayan realizado (atrás, adelante) y eliminar elementos seleccionados.
- View (3): Esta herramienta permite visualizar los diferentes paneles con los que vamos a trabajar, además de los modelos que se han creado.
- Worflow (4): El Worflow o flujo de trabajo permite realizar todos los procesos de las imágenes en orden, esta herramienta va habilitando procesos nuevos a medida que se van generando. (Acá vamos a generar desde la alineación de las fotos hasta el Orthomosaico).
- Tools (5): Esta herramienta permite crear puntos de control, nos brinda diferentes herramientas para la creación de nubes de puntos y creación de la malla, también permite importar y exportar archivos, calibrar la cámara y modificar parámetros de la interfaz (idioma, vistas predeterminadas… entre otras).
- Photo (6): Este campo nos brinda las diferentes herramientas de la imagen.
- Help (7): esta herramienta nos proporciona toda la información del software y nos permite activar el software.

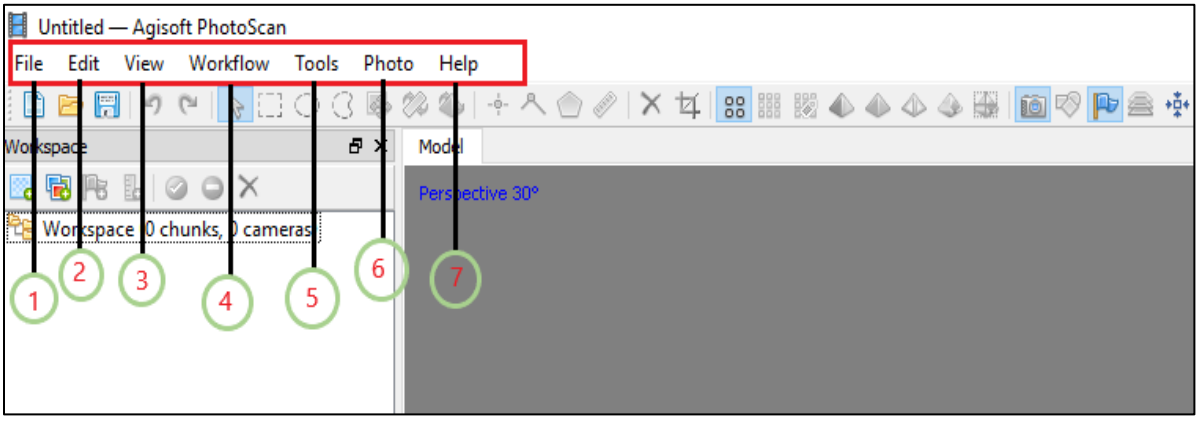


Ilustración 36 Herramientas de la interfaz principal Agisoft Photoscan. Fuente: Elaboración Propia.



El programa Agisoft Photoscan se divide en tres pantallas principales Espacio de trabajo – Modelo – Imágenes.

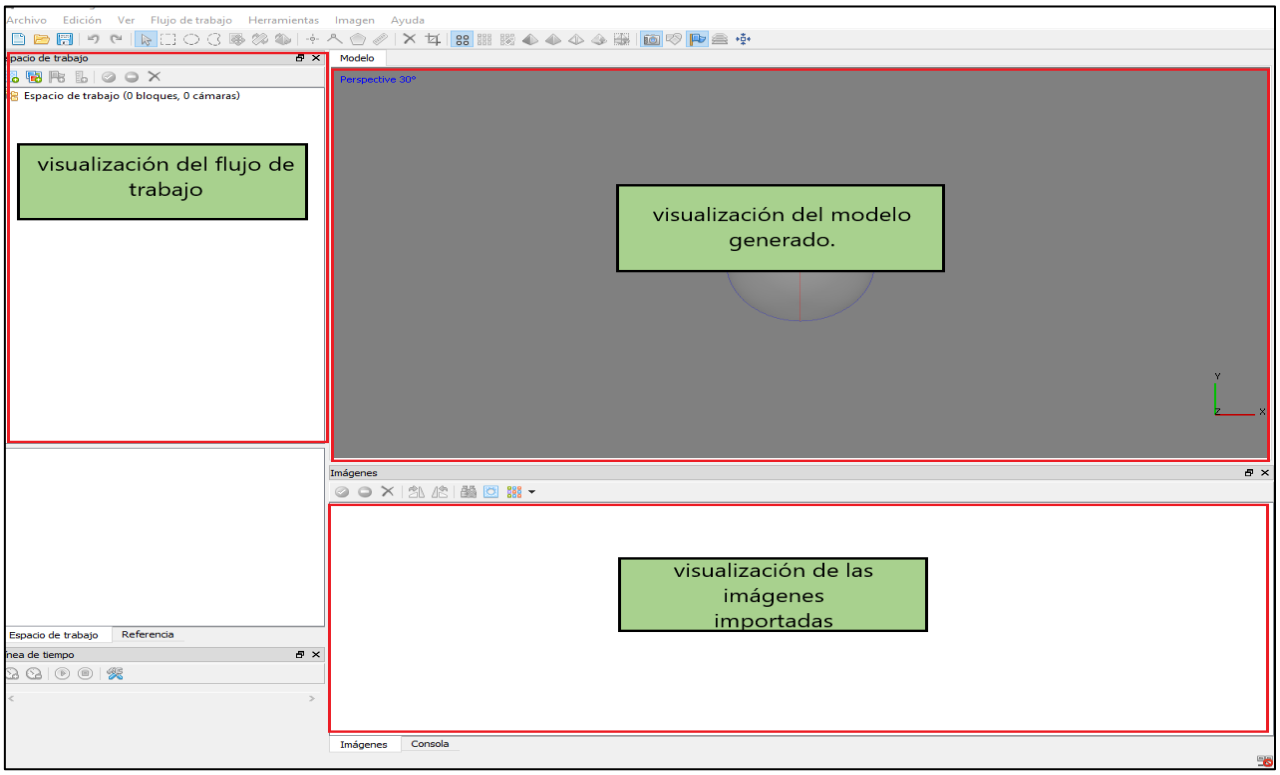


Ilustración 37 visualización de la interfaz principal. Furente: Elaboración Propia.

A continuación, se realiza un ejemplo del procesamiento de fotografías en el software Agisoft Photoscan. El vuelo fue realizado con un Drone PHANTOM 4, en el municipio de Choachí Cundinamarca, se obtuvieron un total de 99 fotografías y se ubicaron 3 puntos de control en terreno, los cuales tienen las siguientes coordenadas en el sistema de proyección magna sirgas Colombia Bogotá zone.

PUNTO	X	Y	Z
1	1017334.16238	990056.28742	1973.4540
2	990059.05871	990059.05871	1954.5313
3	1017445.05156	990226.85697	1876.1591



9.2 IMPORTACIÓN DE IMÁGENES

Para comenzar con nuestro procesamiento de fotografías obtenidas mediante una aeronave tripulada remotamente Drone, el primer paso a seguir es importar nuestras imágenes, para esto vamos al “workspace” o espacio de trabajo en donde encontraremos un botón llamado “add photos” damos clic izquierdo, y procedemos a seleccionar la carpeta de las imágenes y posteriormente procedemos a cargarlas.

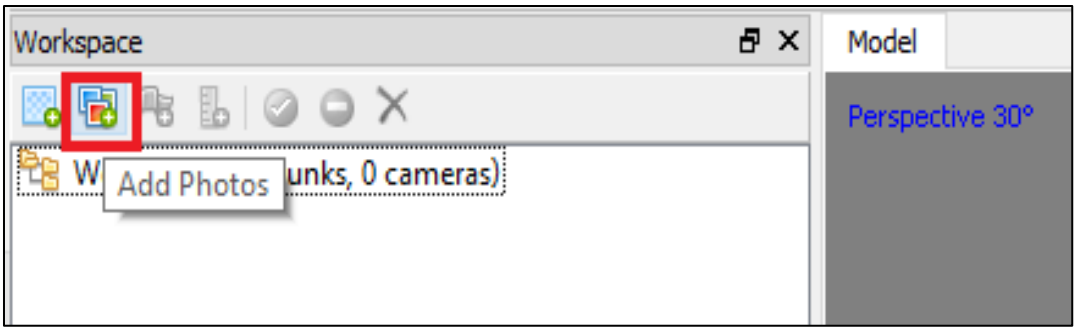


Ilustración 38 botón add photos. Fuente elaboración propia.

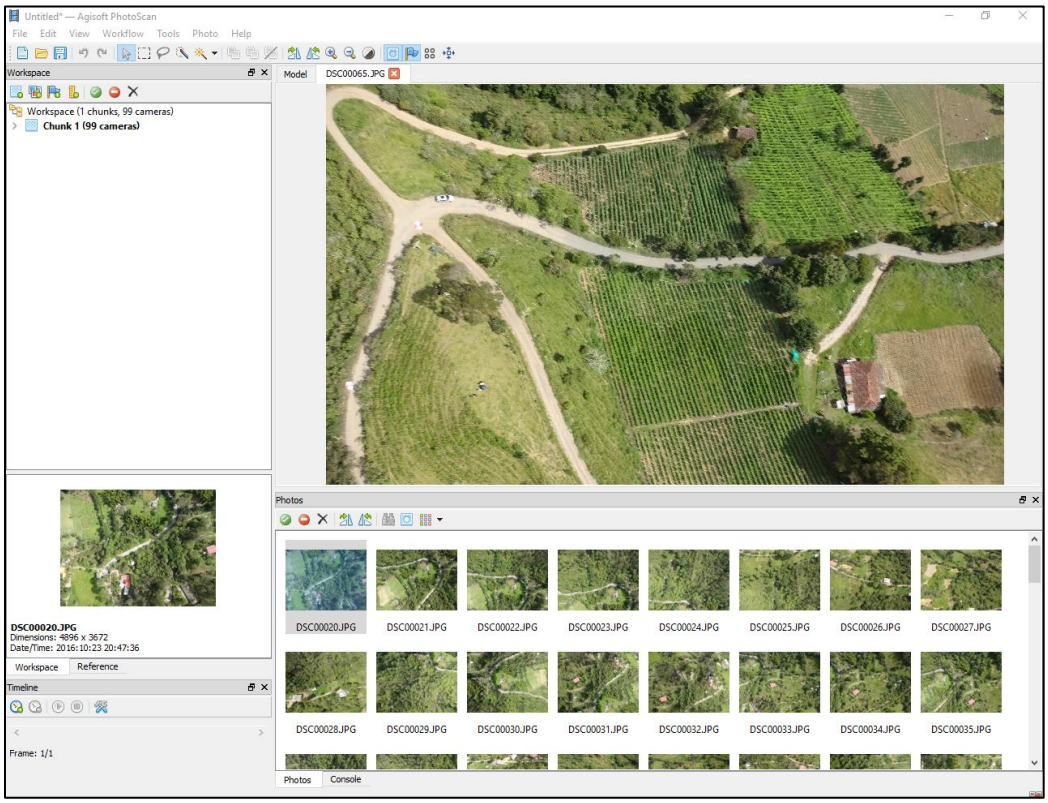


Ilustración 39 Visualización de las fotografías importadas. Fuente elaboración propia.



El siguiente paso después de cargar nuestras fotografías y antes de realizar el paso de la georreferenciacion se procede a calibrar la cámara en caso tal de que no exista información de la cámara con la que obtuvimos nuestras fotografías, en la mayoría de casos las imágenes se obtienen de cámaras conocidas por el software; esto quiere decir que cuando cargamos nuestras imágenes ellas tienen información implícita de la cámara con la que se obtuvieron las fotografías. Para visualizar la ventana de calibración de cámara nos vamos a “tools” o herramientas y después damos clic en “camera calibration” o calibración de cámara.

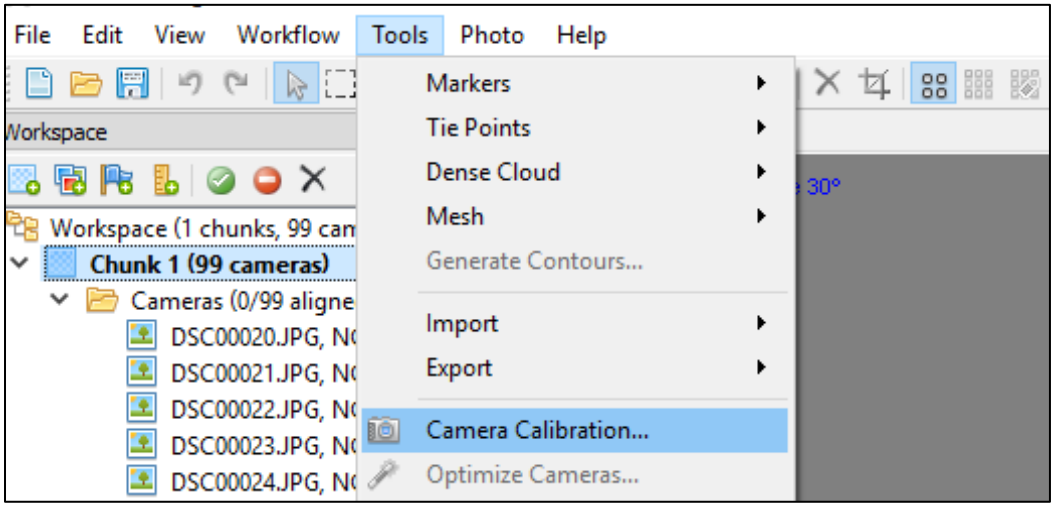


Ilustración 40 calibración de la cámara. Fuente elaboración propia.

En la calibración de la cámara vamos a encontrar distintas opciones, como tipo de cámara (normal, ojo de pez, panorama esférico, panorama cilindro), tamaño del pixel, distancia focal. Una configuración inicial según el tipo de cámara y por último información de las imágenes como resolución, modelo de cámara con las que fueron obtenidas, distancia focal y fecha y hora de la toma de fotografías.



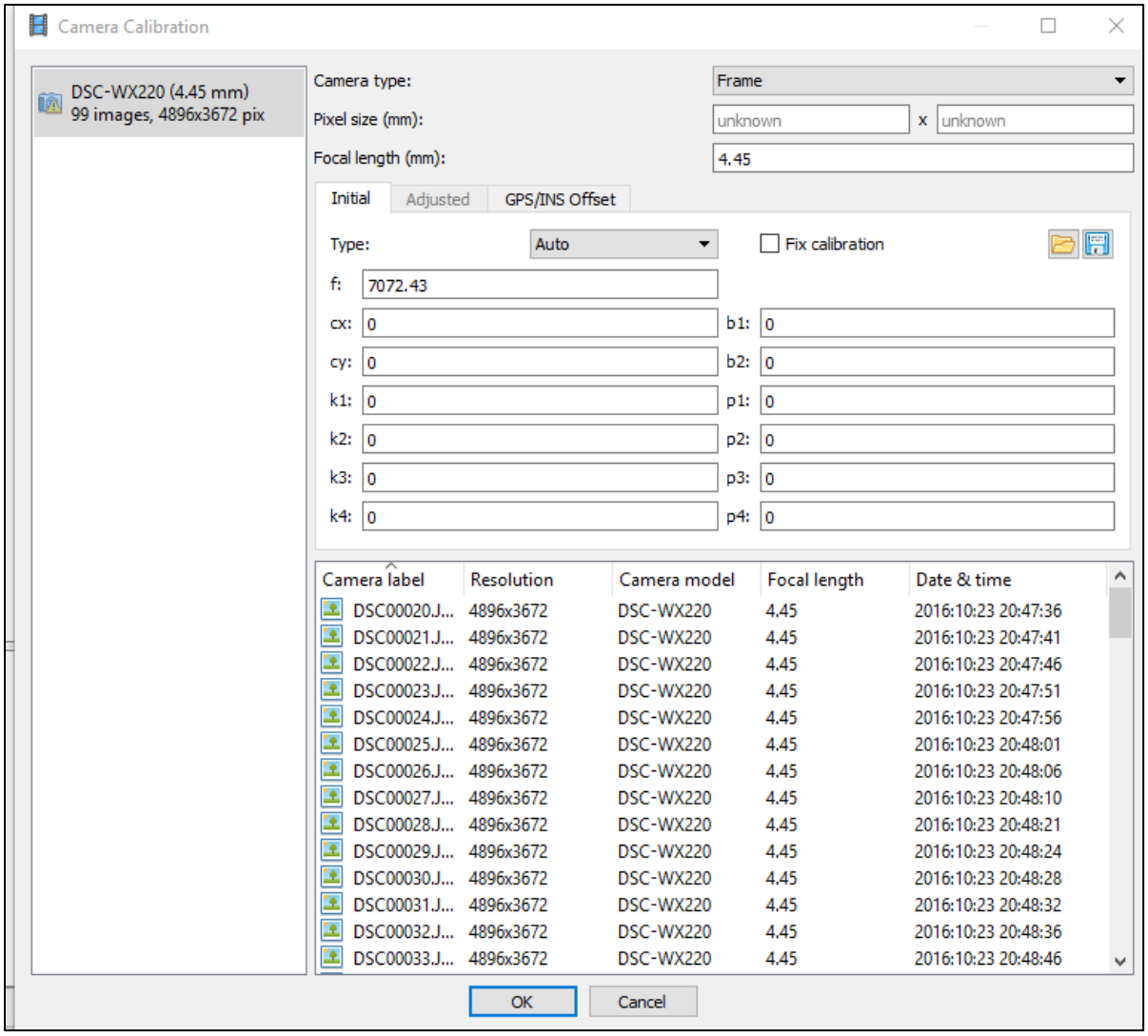


Ilustración 41 Calibración de la cámara. Fuente: elaboración propia.

9.3 ORIENTACIÓN DE IMÁGENES

el primer procedimiento para orientar las imágenes consiste en realizar una geolocalización o geo-etiquetado de las imágenes. El programa en el que se realizó la planeación del vuelo nos permite descargar un archivo de coordenadas geográficas que fueron asignadas a cada punto en donde el Drone tomó una fotografía. Para este ejemplo las coordenadas de la geolocalización fueron transformadas de geográficas a planas en el sistema de proyección Magna Sirgas Colombia Bogotá zone.



Para el proceso de la geolocalización nos vamos a la pestaña de “Reference” o referencia y picamos en el icono “Import” o importar y procedemos a cargar un archivo bien sea de texto (*txt) o Excel (*.csv). y organizamos las columnas de tal manera que sean iguales a las de nuestro archivo.

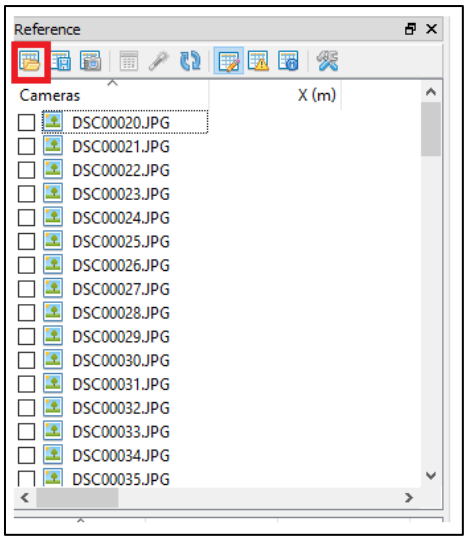


Ilustración 42 importar coordenadas. fuente: elaboración propia.

Al momento de cargar el archivo vamos a cambiar el sistema de coordenadas y para este caso vamos a habilitar las columnas de la rotación de la cámara.

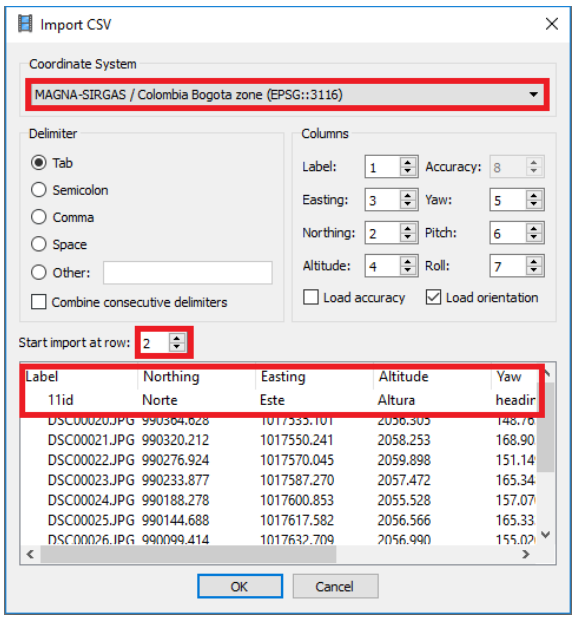


Ilustración 43 cargar archivo para la geolocalización de las imágenes. fuente: Elaboración propia.

Luego de tener las imágenes importadas, la cámara calibrada y las fotos geolocalizadas vamos a comenzar el postproceso orientando las imágenes, para esto vamos a "workfllow" o flujo de trabajo damos clic izquierdo, desplegamos el menú y picamos en orientar fotos. Inmediatamente se abre un cuadro indicado los parámetros con los que deseamos la calidad de nuestros productos.

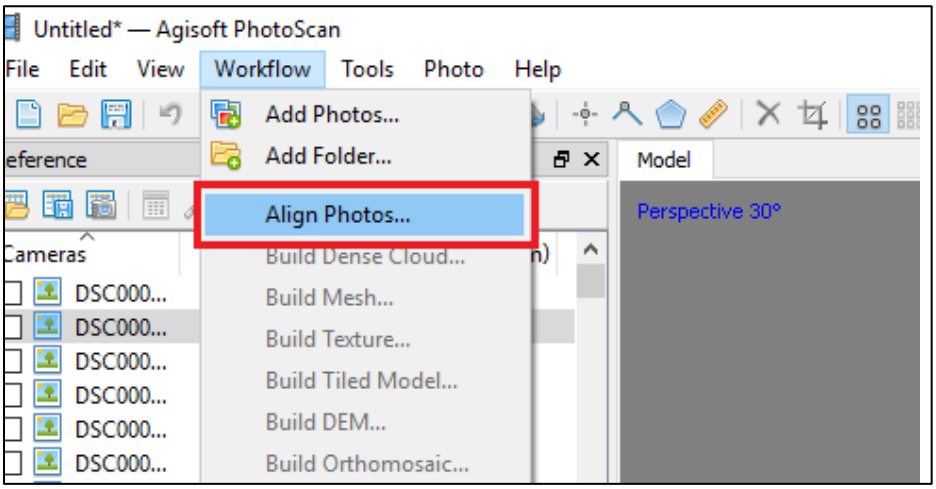


Ilustración 44 proceso #1 alinear fotos. Fuente: elaboración propia

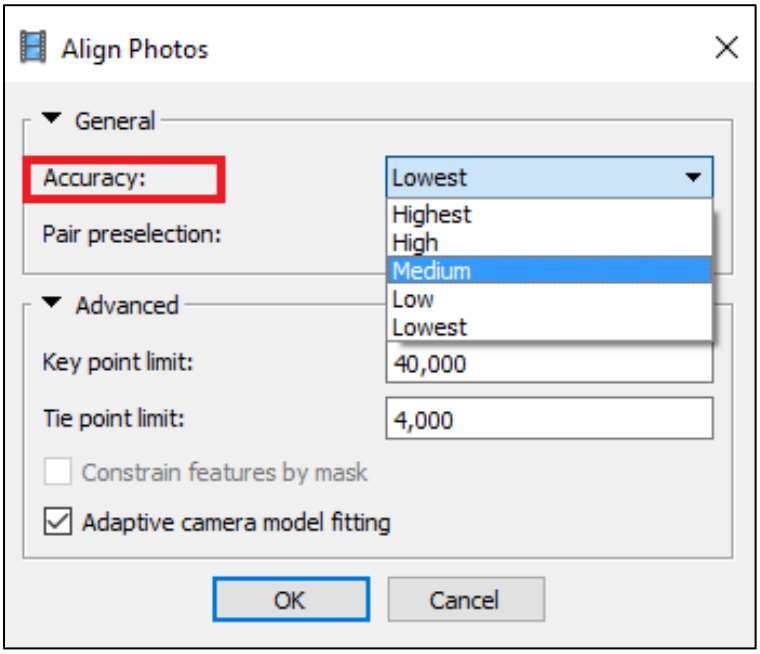


Ilustración 45 Precisión de la alineación de fotos. Fuente elaboración propia.

La calidad de los productos depende de la computadora en la que estamos trabajando, esto debido a que en el software Agisoft no se realizan los procesos internamente o



dentro del programa, si no que se ejecutan con el procesador y memoria del computador. Cabe resaltar que cuando es un proyecto muy grande con una gran cantidad de fotografías, los procesos que tienen que generar el computador pueden ocupar toda la memoria y podrían generar daños internos en el computador.

El consumo de memoria durante la alineación de fotos depende principalmente de la cantidad de fotos alineadas, y prácticamente no depende de la resolución de fotos individuales.

Photos	100	200	500	1000	2000	5000	10000
Memory consumption	500 MB	1 GB	2.5 GB	5 GB	10 GB	25 GB	50 GB

Ilustración 46 Cantidad de fotos vs memoria requerida. Fuente: (Agisoft Photoscan, 2017)

Una vez el programa termina el proceso de alineación obtenemos como resultado una nube de puntos con las fotografías alineadas.

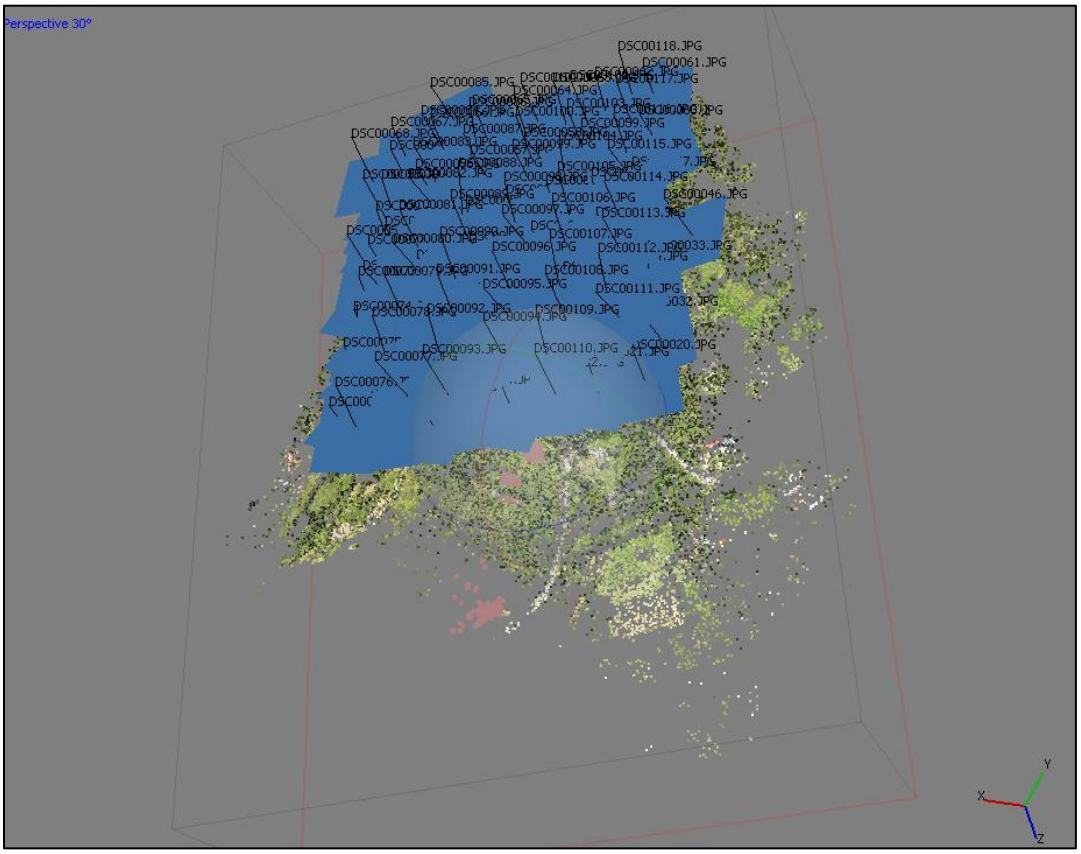


Ilustración 47 Alineación de las fotografías. Fuente: elaboración propia



9.4 PUNTOS DE CONTROL.

La georreferenciación de las imágenes en el software consiste en cargar las coordenadas conocidas de los puntos de control (materializados) que obtuvimos en campo con nuestro GPS diferencial o con nuestra estación total, y posteriormente ubicarlos en las fotografías (por esta razón es de gran importancia materializar o marcar bien los puntos en el terreno para que se visualicen con facilidad en las fotografías). Como lo decíamos anteriormente la georreferenciacion se realiza con el fin de que las fotografías no queden des configuradas ni en posición (X, Y) ni en altura (z). Además de que los productos tengan una localización geográfica correcta para poder empalmar con cualquier otro proyecto o realizar un análisis espacial apropiado.

El primer paso para la georreferenciacion es definir el sistema de coordenadas con el que vamos a trabajar, dicho sistema de coordenadas debe ser el mismo con el que se realizó el postproceso de los puntos de control y sobre el cual tenemos definidas nuestras coordenadas. Este sistema de proyección puede ser local o proyectado según el proyecto que estemos realizando.

Para seleccionar el sistema de coordenadas vamos a la parte inferior de la pantalla donde llevamos el flujo de trabajo y seleccionamos el botón “Reference” o referencia, el cual nos abre una nueva ventana donde podemos visualizar todo lo relacionado con los puntos de control del proyecto. Luego damos clic en el botón “Import” o importar y procedemos a cargar nuestro archivo.

Cuando vamos a cargar los puntos de control, lo podemos hacer de la misma manera en la que cargamos las coordenadas de la geolocalización. Pero en este caso vamos a deshabilitar la casilla de las rotaciones de la cámara y vamos a dejar el mismo sistema de proyección Magna Sirgas Colombia Bogotá zone.

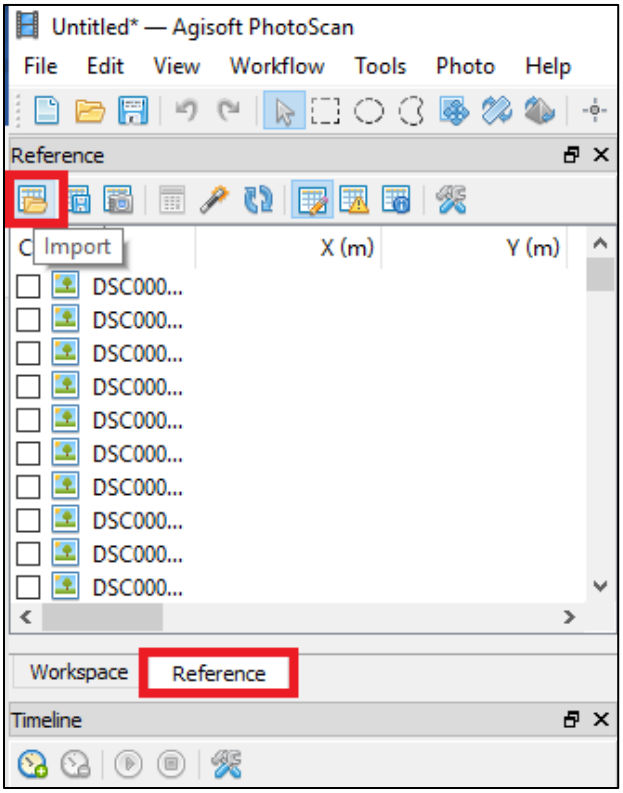


Ilustración 48 Importación de puntos de control. Fuente elaboración propia.

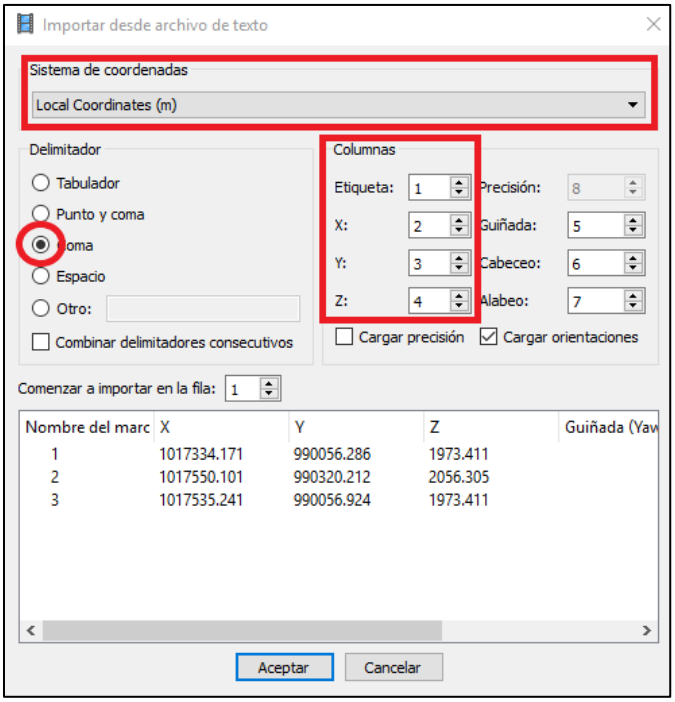


Ilustración 49 Sistema de coordenadas, delimitación de elementos, numero de columna. Fuente elaboración propia

Teniendo las coordenadas de los puntos en el software con el sistema de referencia apropiado, procedemos a ubicar los puntos de control en las imágenes que correspondan. Para entrar a visualizar la imagen solo debemos darle doble clic izquierdo inmediatamente podemos aumentar o disminuir el zoom y panearla. Ubicamos el punto aumentamos el zoom hasta encontrar el pixel que está en el centro del punto de control y picamos clic derecho, seleccionamos la opción “place marker” o colocar marcador y seleccionamos el que corresponda. Este mismo proceso lo realizamos para todas las imágenes en la que aparezcan puntos de control.

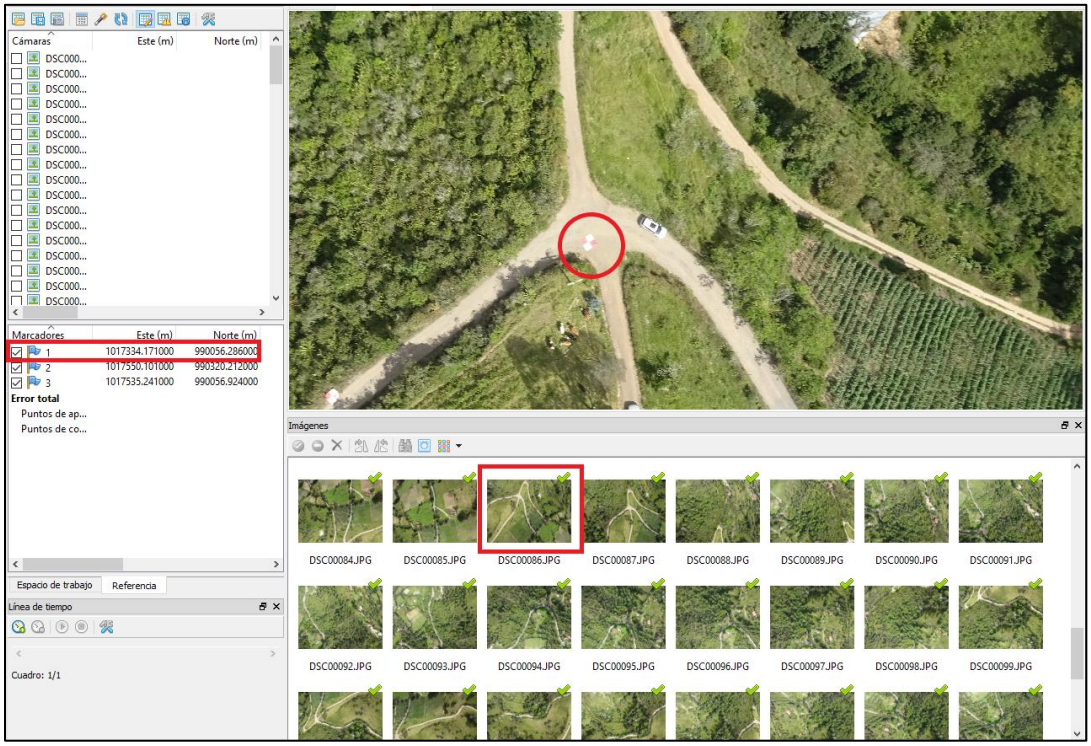


Ilustración 50 identificación del punto de control en la imagen. Fuente: elaboración propia

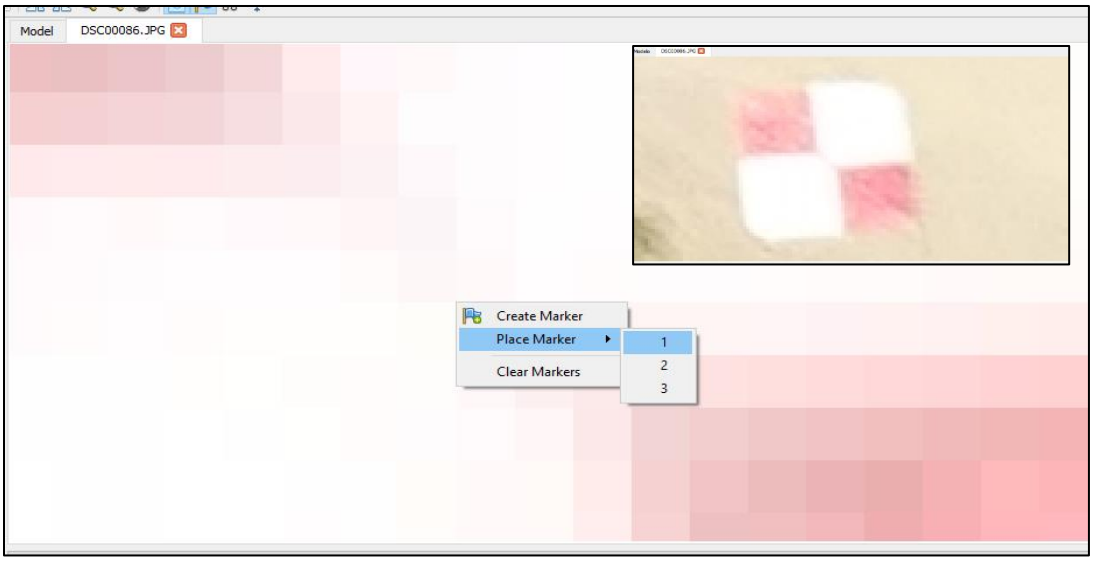


Ilustración 51 ubicación del punto de control en la imagen. Fuente elaboración propia.

Después de que el punto de control está ubicado en la imagen nos aparece un icono de una bandera, el software reconoce las imágenes que posiblemente pueden tener el mismo punto de control y las marca con una figura color gris.



Ilustración 52 Imagen con punto de control e imagen con posible punto de control homologo. Fuente elaboración propia



Luego de tener todos los puntos de control ubicados nos vamos a la ventana de referencia, seleccionamos todas las “cameras” o cámaras y picamos el botón “optimize cameras” u optimizar cálculo de cámaras.

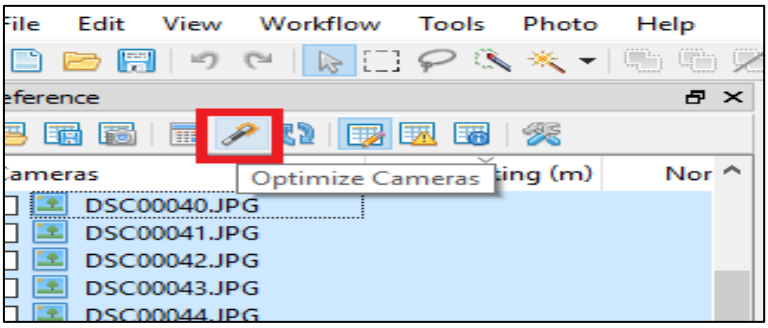


Ilustración 53 optimización de cámaras. Fuente: elaboración propia.

9.5 NUBE DENSA DE PUNTOS.

Teniendo georreferenciado y optimizado nuestro proyecto procedemos a continuar con nuestro flujo de trabajo, el siguiente paso a realizar es la nube densa de puntos para este proceso nos vamos a “workflow” o flujo de trabajo y picamos en “build dense cloud” o construir nube densa de puntos. Igualmente, que en el proceso de alineación de las fotos, el software nos pide la calidad con la que deseamos nuestros productos. Es importante tener en cuenta que los procesos se realizan internamente en el computador y no en el software.

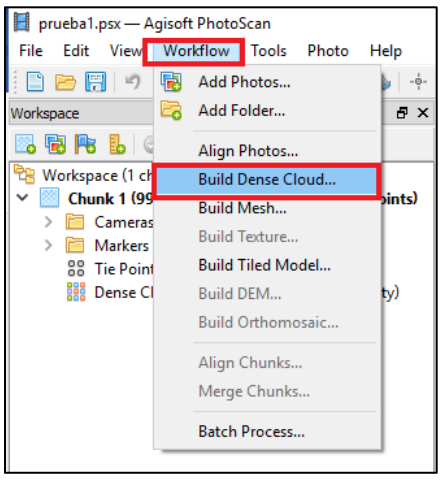


Ilustración 54 Construir nube densa de puntos. Fuente: elaboración propia.

La calidad del producto también depende del filtrado de profundidad que realice el software, para esto se puede desplegar un campo en e cual podemos escoger si queremos que este desactivado, sea un filtrado leve, moderado o agresivo.

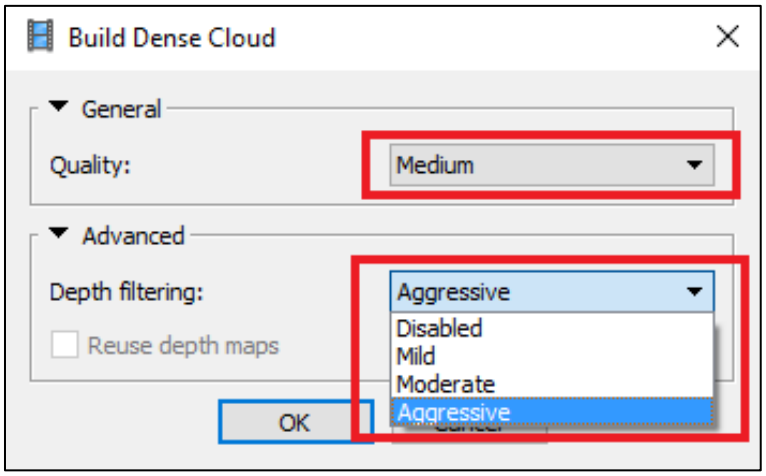


Ilustración 55 seleccionar calidad y filtrado de profundidad para la nube densa de puntos. Fuente: elaboración propia.

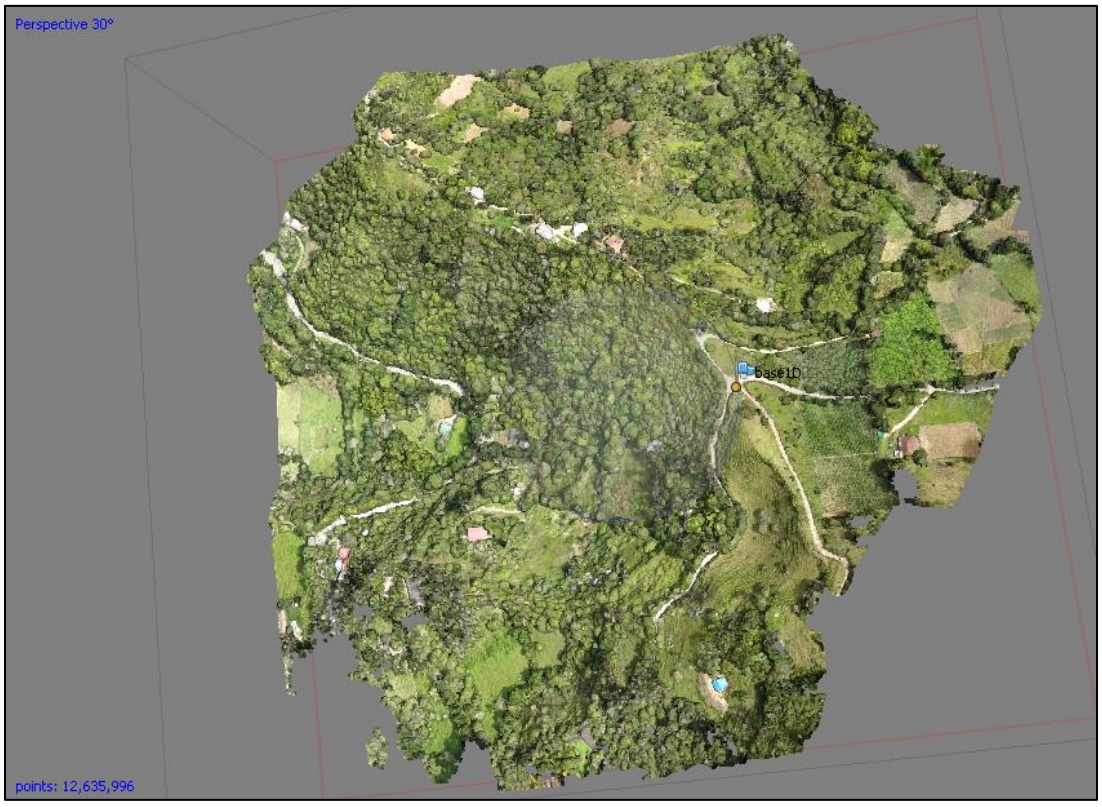


Ilustración 56 Vista planta nube densa de puntos (12´635.996). Fuente elaboración propia

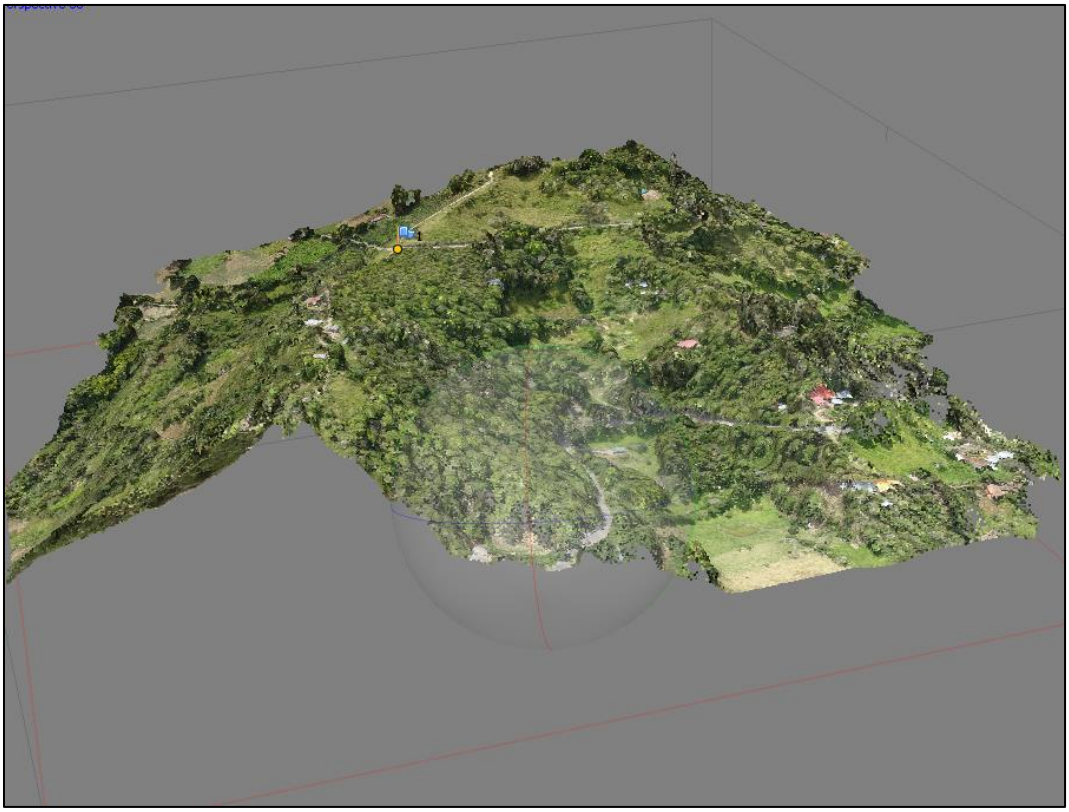


Ilustración 57 vista perfil nube densa de puntos. Fuente elaboración propia.

NOTA: la ventana del flujo de trabajo nos va mostrando toda la información correspondiente a los procesos que se van realizando. Y para ir guardando los procesos solo debemos picar en el botón de guardar.

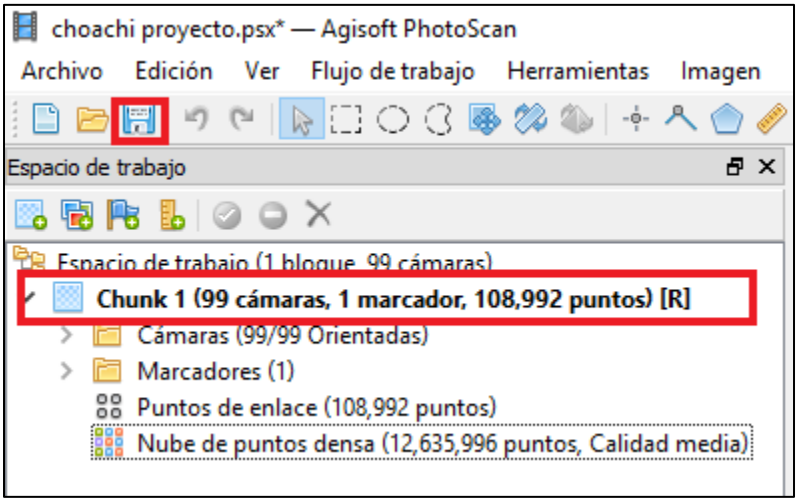


Ilustración 58 información del proyecto en el flujo de trabajo. Fuente elaboración propia.

Teniendo una nube densa de puntos georreferenciada podemos generar diferentes productos como: superficies (curvas de nivel), MDE, MDT entre otros. Estos productos pueden ser generados en diferentes tipos de software como ArcGIS, Autocad civil 3D, global mapper, etc. Para guardar la información de la nube de puntos en un archivo compatible con dichos programas procedemos a exportar la nube de puntos. Visualizamos la ventana del trabajo de flujo seleccionamos el campo correspondiente a la nube de puntos, damos clic derecho y luego picamos “export dense cloud” o exportar nube densa de puntos. Inmediatamente se abre una nueva ventana la cual nos va a guardar la nube de puntos en el archivo que necesitemos. En este caso será un archivo (*.las).

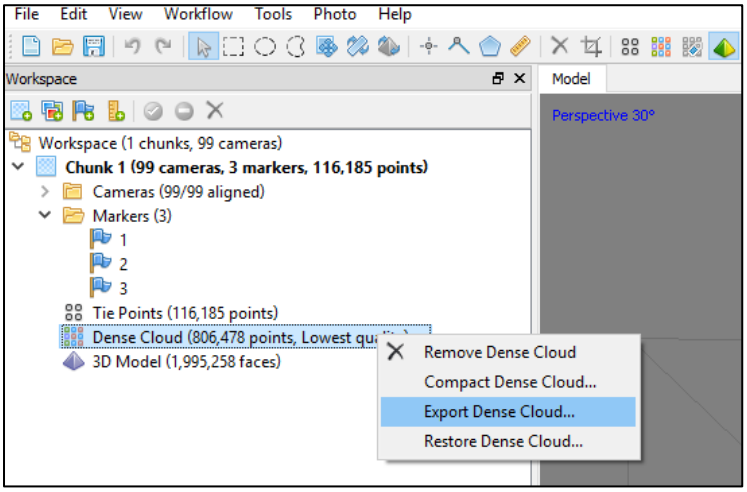


Ilustración 59 exportar nube densa de puntos. Fuente: elaboración propia.

9.6 MALLA

Seguidamente de generar la nube densa de puntos procedemos a crear la malla que nos servirá de base para generarle una textura al modelo. Para generar la malla vamos a el botón “workflow” o flujo de trabajo, y seleccionamos la opción “build mesh” o construir malla. De igual forma que en los procesos anteriores seleccionamos la calidad con la que deseamos construir la malla, seleccionado el número de caras que se desean, el tipo de superficie, eligiendo la fuente de los datos que en este caso serán de la nube densa de puntos y seleccionando el tipo de interpolación.

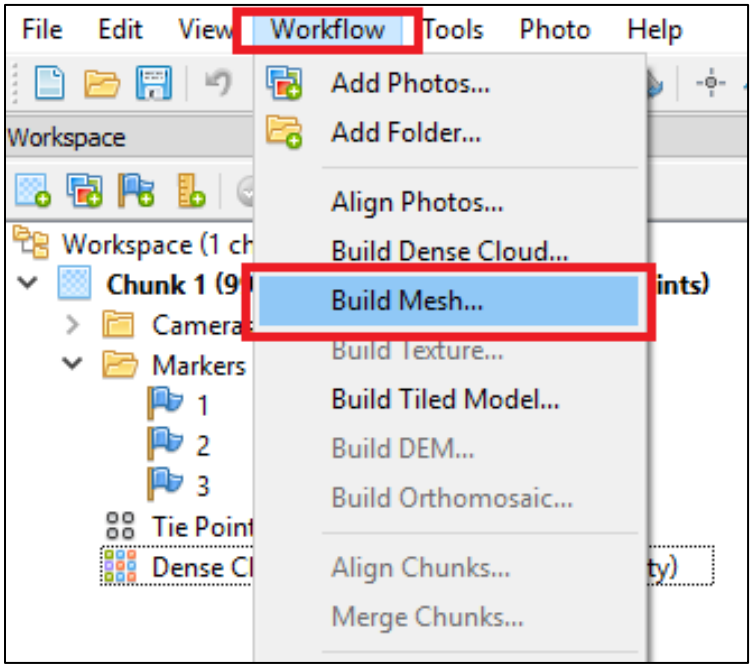


Ilustración 60 Crear malla. fuente elaboración propia.

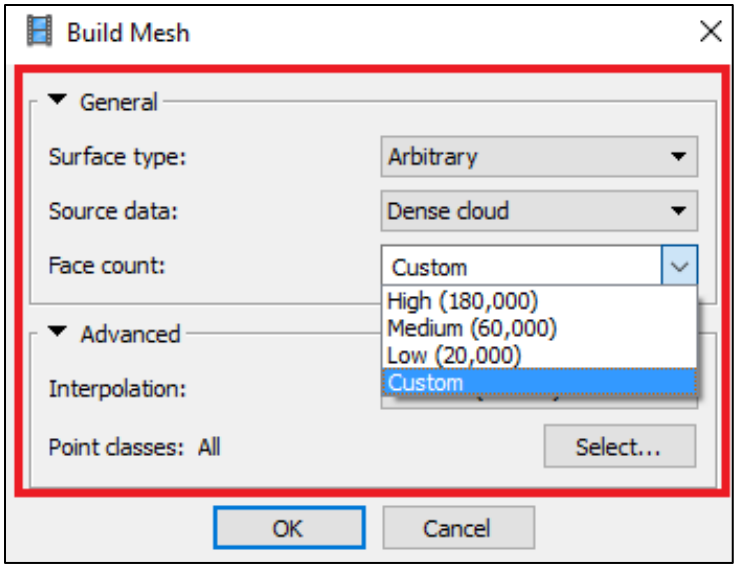


Ilustración 61 Parámetros para la calidad de la malla. Fuente elaboración propia.

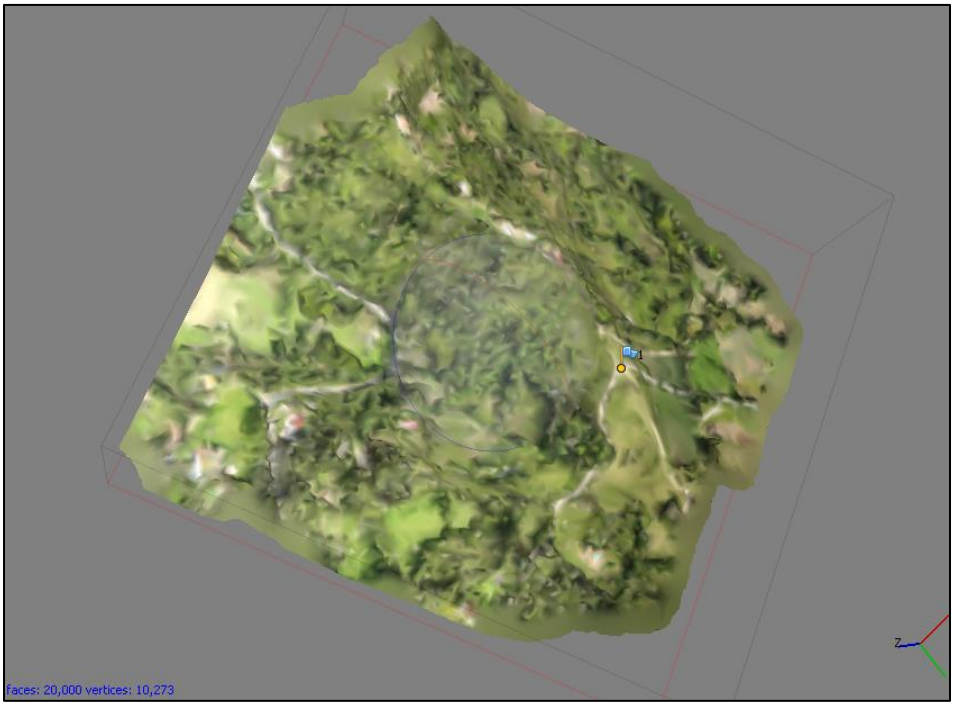


Ilustración 62 creación de la malla. Fuente: elaboración propia.

9.7 TEXTURA

La textura del proyecto se genera a partir de la malla calculada, continuando con el proceso, nos vamos a “workflow” o flujo de trabajo desplegamos las opciones y seleccionamos “build texture” o crear textura, de igual forma podemos cambiar los parámetros como intensidad o corrección de la textura por color o rellenos de agujeros del modelo.

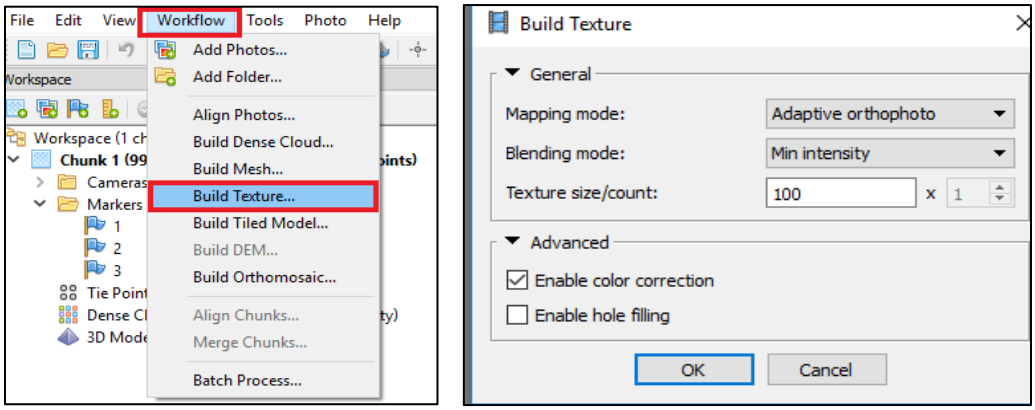


Ilustración 63 crear textura. Fuente elaboración propia



9.8 MDE

El modelo digital de elevación es uno de los productos con mayor interés en el procesamiento de imágenes, ya que a partir de esta imagen ráster es posible generar modelos digitales de terreno, curvas de nivel, entre otros. Para la creación del MDE es necesario continuar con el "workflow" o trabajo de flujo, picamos en Workflow y nos vamos a "Build DEM" o crear modelo digital de elevación, y procedemos a cambiar los parámetros.

En esta parte nuestro proyecto ya tiene un tamaño de GSD o pixel con relación al terreno, en este caso cada pixel mide 0.197 m en el terreno.

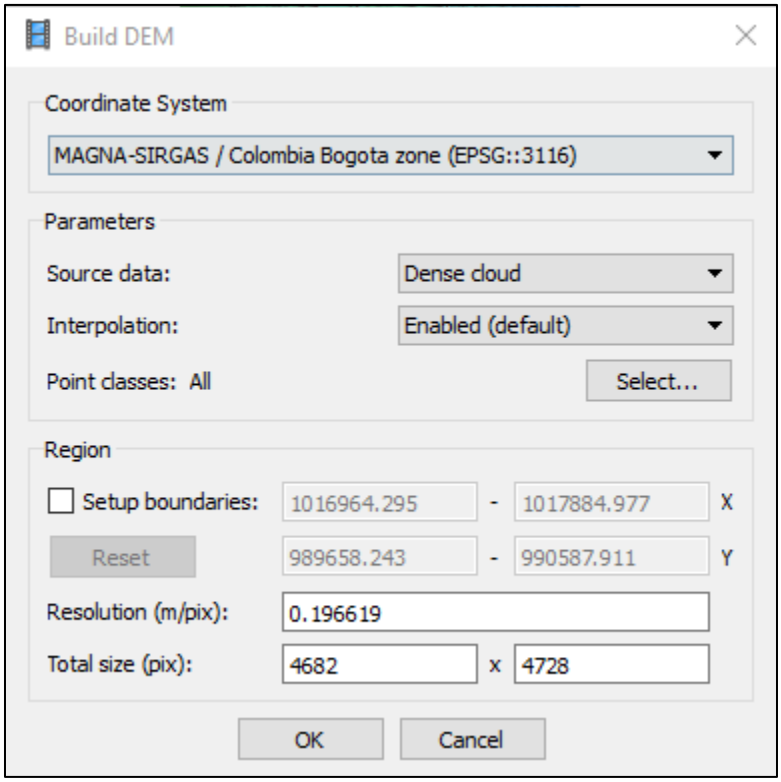


Ilustración 64 construcción del MDE. Fuente: elaboración propia.

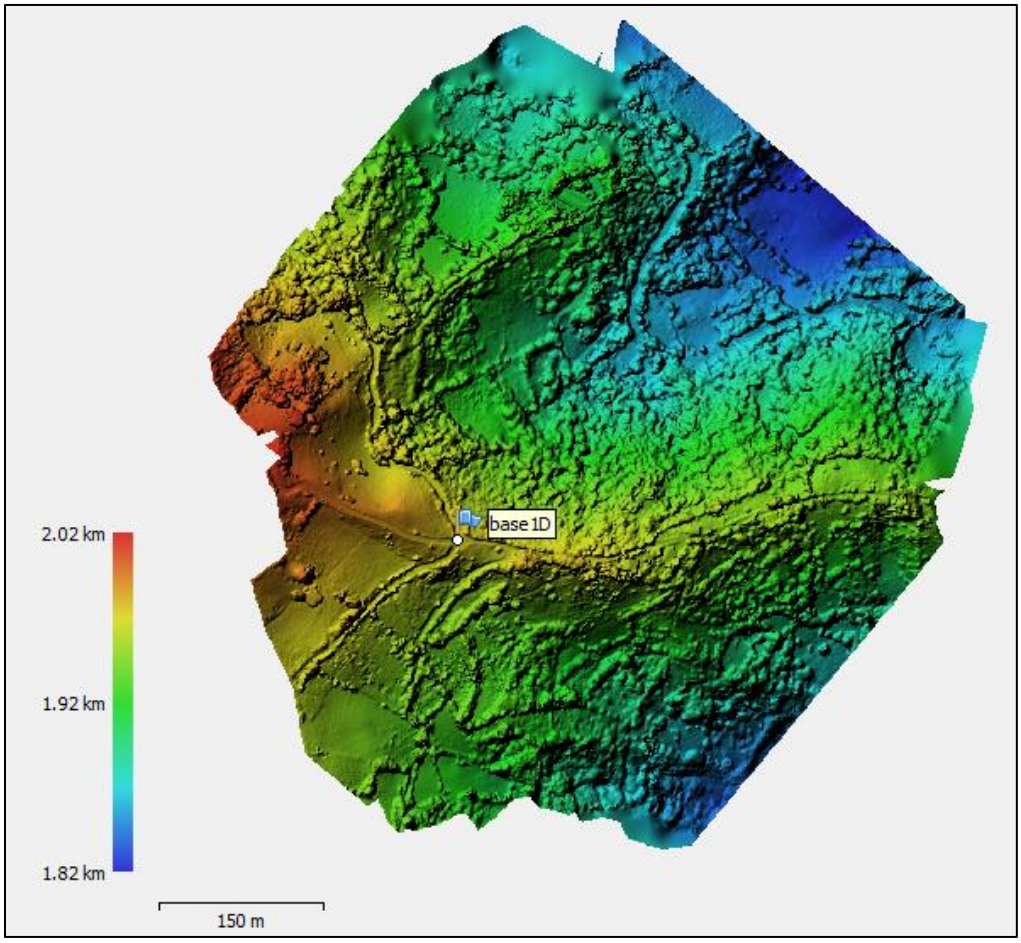


Ilustración 65 Resultado MDE. Fuente: elaboración propia

9.9 ORTHOMOSAICO.

Un Orthomosaico es un producto de imagen georreferenciado organizado como mosaico a partir de una colección de imágenes en el que la distorsión geométrica se ha corregido y orto-rectificado. (ESRI, 2017).

Este es el último proceso de imágenes y como producto final en él se pueden realizar medidas lineales de gran precisión y sirve como base para cualquier tipo de sistema de información geográfica.

Para realizar el Orthomosaico nos dirigimos a “workflow” o trabajo de flujo y damos clic en “build Ortomosaic” o crear Orthomosaico y procedemos a cambiar los parámetros según necesitemos el resultado.



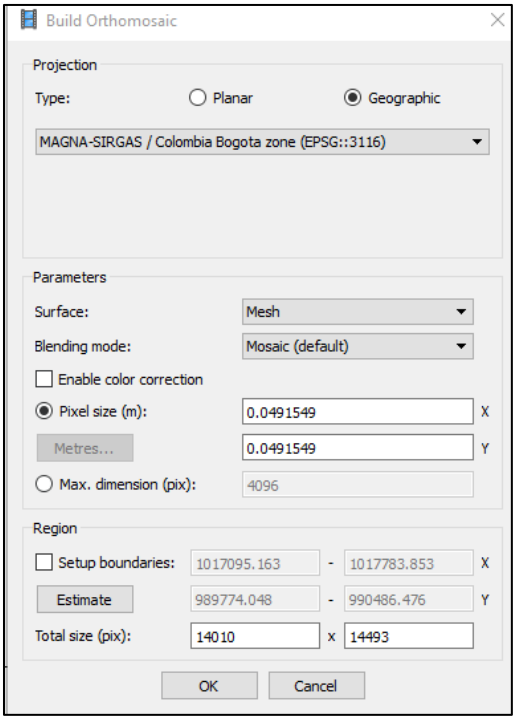


Ilustración 66 Creación del Orthomosaico. Fuente elaboración propia.

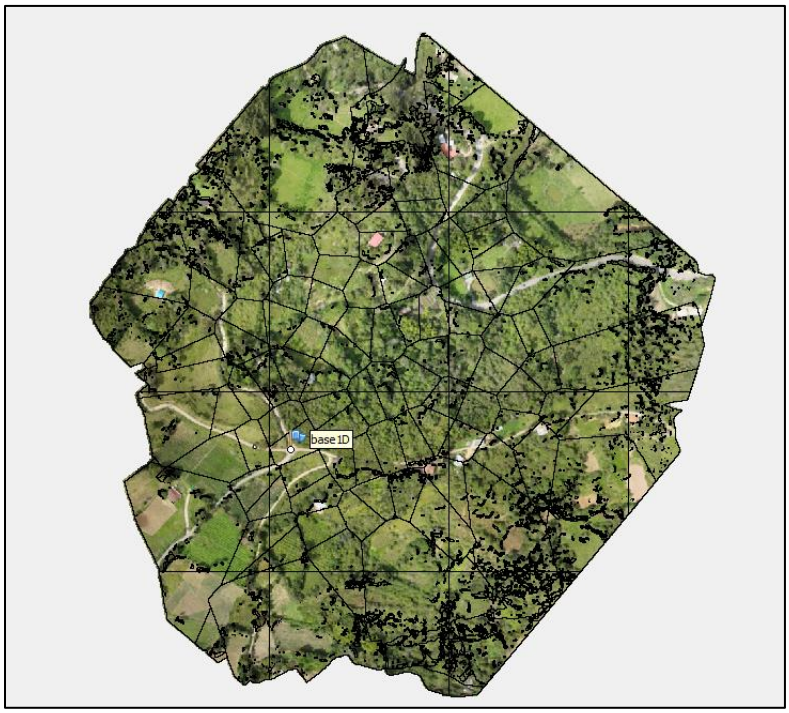


Ilustración 67 Líneas de costura para la creación del Orthomosaico. Fuente elaboración propia



Ilustración 68 Resultado Orthomosaico. fuente elaboración propia.

Para exportar cualquier proceso lo único que debemos hacer es dirigirnos al worksapce y dar clic derecho a cualquier resultado de procesamiento.

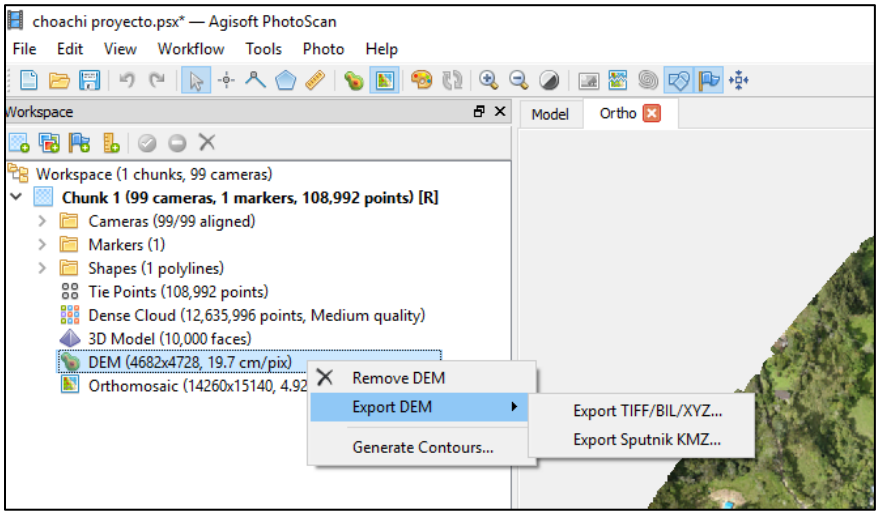


Ilustración 69 exportación del MDE. Fuente: elaboración propia.

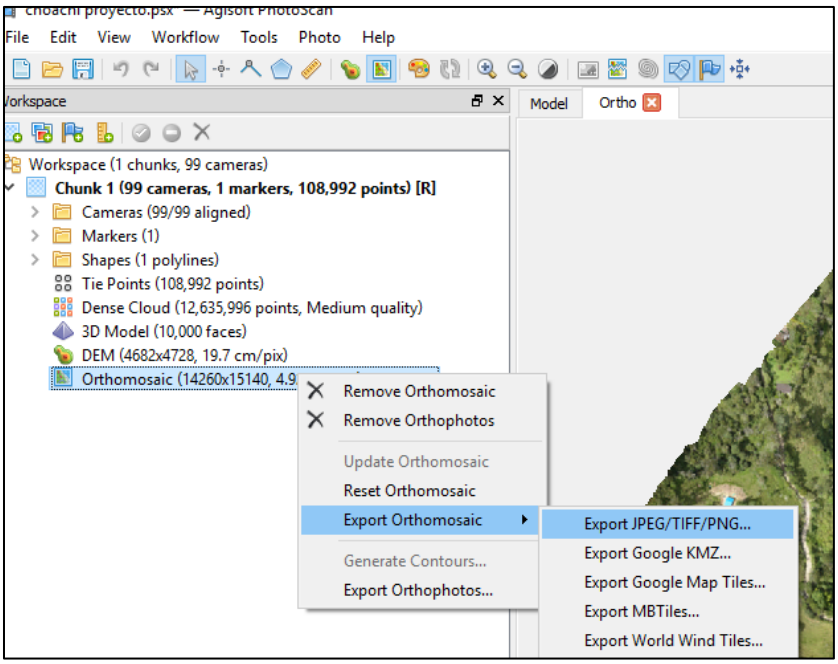
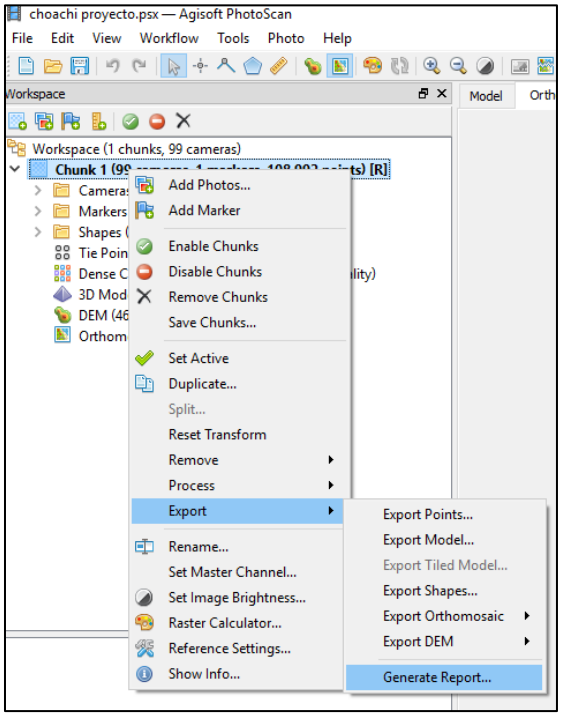


Ilustración 70 Exportación del Orthomosaico. Fuente elaboración propia.

El último paso a realizar es generar el reporte final de los procesos, para eso damos clic derecho en el espacio de trabajo, luego desplegamos “export” o exportar y luego “generate report” o generar reporte.





Agisoft PhotoScan123

Processing Report
05 diciembre 2017



Ilustración 71 página inicial del reporte. Fuente informe Agisoft Photoscan



Datos del levantamiento

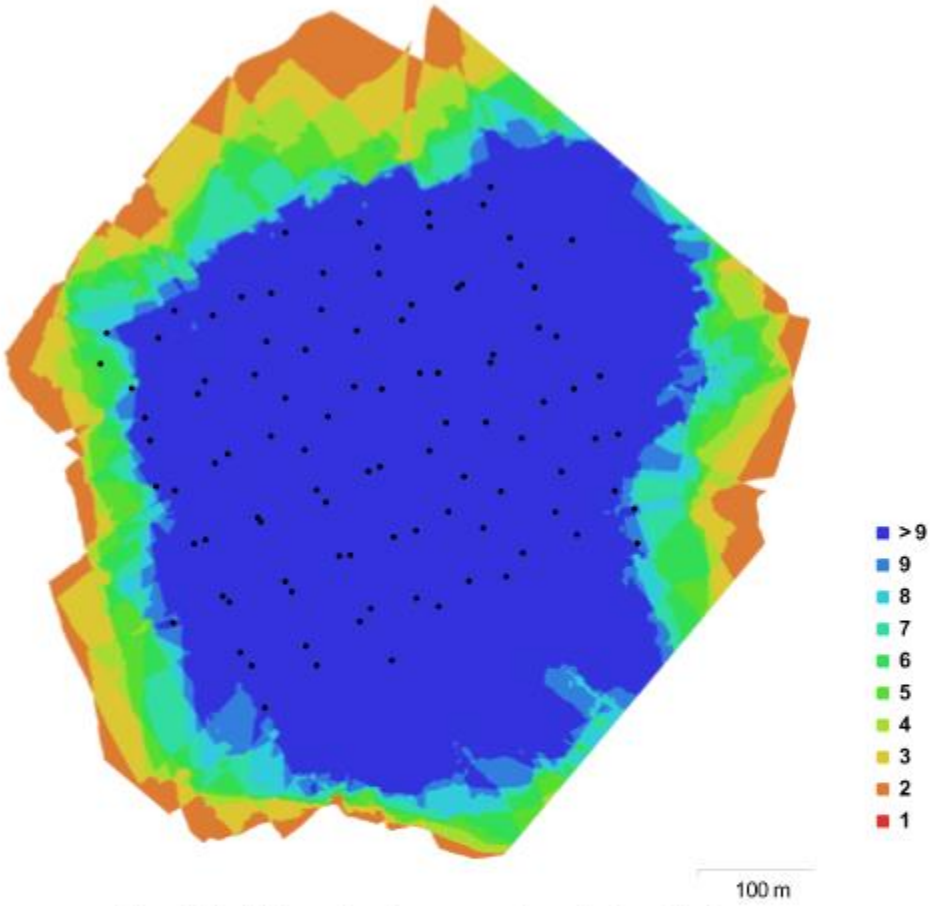


Fig. 1. Posiciónes de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes:	99	Posiciones de cámara:	99
Altitud media de vuelo:	191 m	Puntos de enlace:	108,992
Resolución en terreno:	4.92 cm/pix	Proyecciones:	299,848
Superficie cubierta:	0.352 km²	Error de reproyección:	1.35 pix

Ilustración 72 Datos del levantamiento. Fuente informe Agisoft Photoscan



Puntos de control terrestres



Fig. 4. Posiciones de puntos de apoyo.

Número	Error X (mm)	Error Y (mm)	Error Z (mm)	Error XY (mm)	Total (mm)	Imagen (pix)
1	0.0911385	0.166313	0.0176345	0.189647	0.190466	0.072

Tabla 3. ECM de puntos de apoyo.

Ilustración 73 Puntos de control terrestre. Fuente informe Agisoft Photoscan



Modelo digital de elevaciones

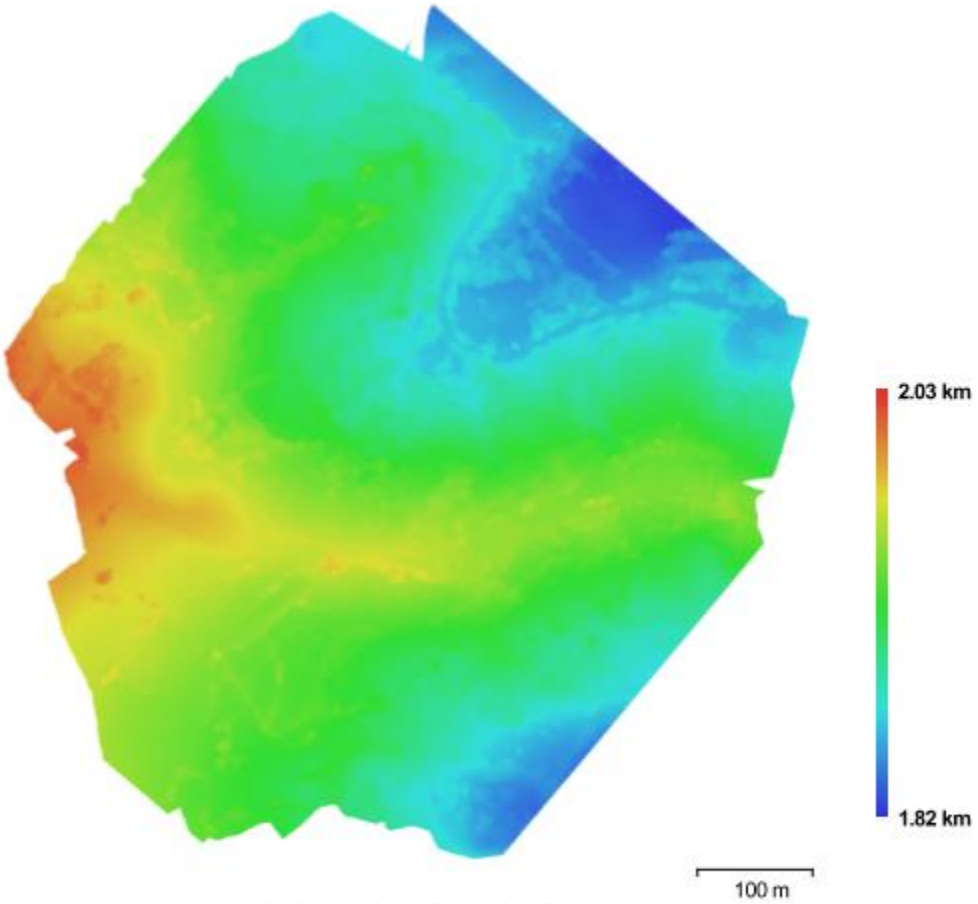


Fig. 5. Modelo digital de elevaciones.

Resolución:	19.7 cm/pix
Densidad de puntos:	25.9 puntos/m²

Ilustración 74 MDE. Fuente informe Agisoft Photoscan



10. POSTPROCESO SOFTWARE PIX4D

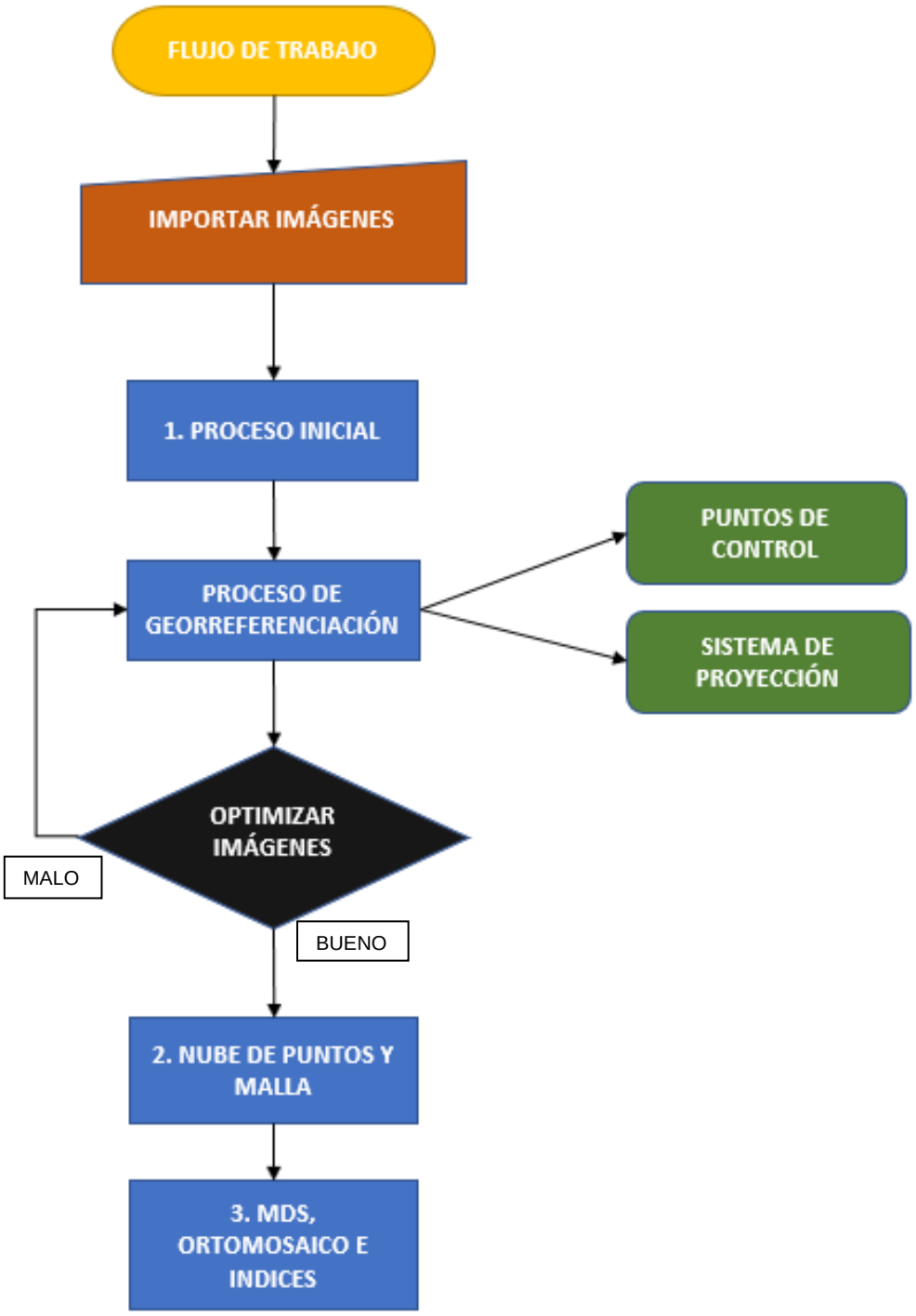
El software pix4D es un software que permite realizar el proceso fotogramétrico de una serie de imágenes, con el fin de obtener una serie de productos cartográficos los cuales nos permiten realizar diferentes tipos de mediciones lineales y volumétricas con alta precisión.

La máxima aportación de este software es la gran capacidad de absorción de datos e interpretarlos simultáneamente para, completar un ortomosaico de altísima resolución y modelos digitales de elevaciones con una precisión muchísimo más que admisible para la obtención de cartografía que es, uno de los aspectos que más nos interesan en este manual. Además, nos permite obtener los siguientes resultados.

- Triangulación fotogramétrica.
- Construcción de una nube densa de puntos.
- Modelos digíteles de elevación (MDE)
- Exportación ortomosaica georreferenciada.
- Modelos digitales de terreno (MDT).
- Mediciones volumétricas y lineales.



10.1 FLUJO DE TRABAJO:





10.2 IMPORTACIÓN DE IMÁGENES:

El primer paso para el postproceso de imágenes es cargarlas, y cargar un archivo con la geolocalización de las imágenes, que como se explicó en el anterior ejemplo, se trata de cargar un archivo con las coordenadas de los puntos donde se tomaron las fotografías en campo. Para abrimos el software creamos un proyecto nuevo, y procedemos a añadir las imágenes. Es recomendable crear una carpeta donde se va a guardar todos los archivos y procesos del proyecto.

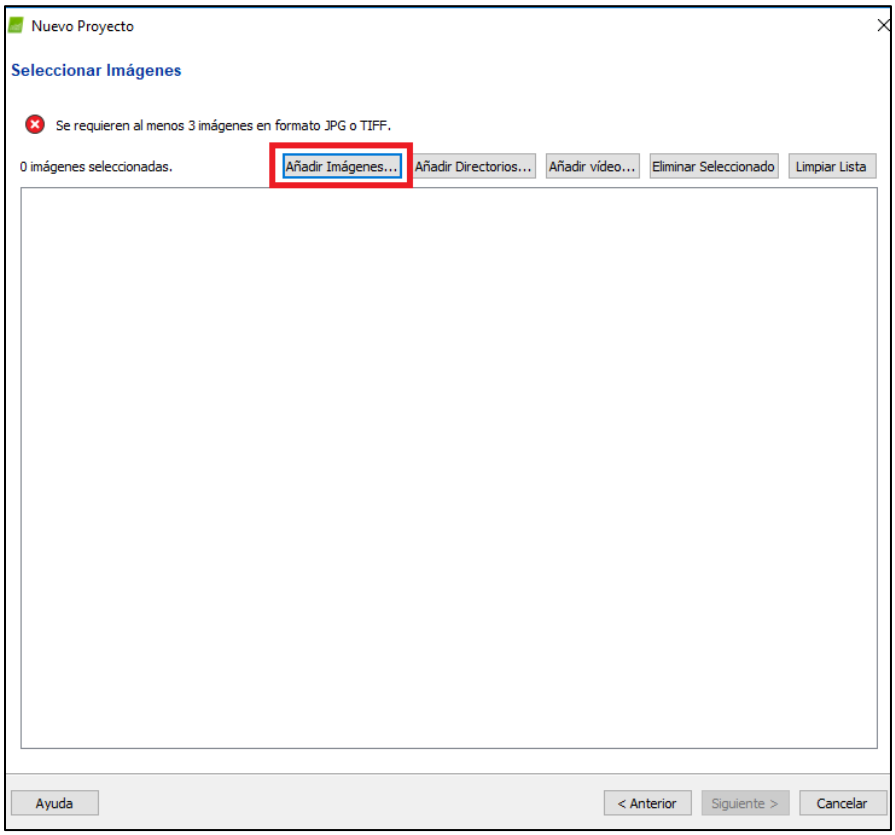


Ilustración 75 Añadir imágenes. fuente elaboración propia.

Después de cargar las imágenes el software nos muestra el sistema de coordenadas en el que está ubicado el proyecto; en este ejemplo vamos a utilizar el sistema de coordenadas planas MAGNA SIRGAS Colombia Bogotá zone. Para la geolocalización y orientación vamos a cargar el archivo de texto (*.txt) o Excel (*.csv) con las coordenadas correspondientes. Y el modelo de la cámara lo reconoce el software según las imágenes cargadas.

Los iconos verdes muestran que los procesos van bien, y los iconos amarillos evidencian que el proceso no se ha realizado o está mal y hay que verificarlo.

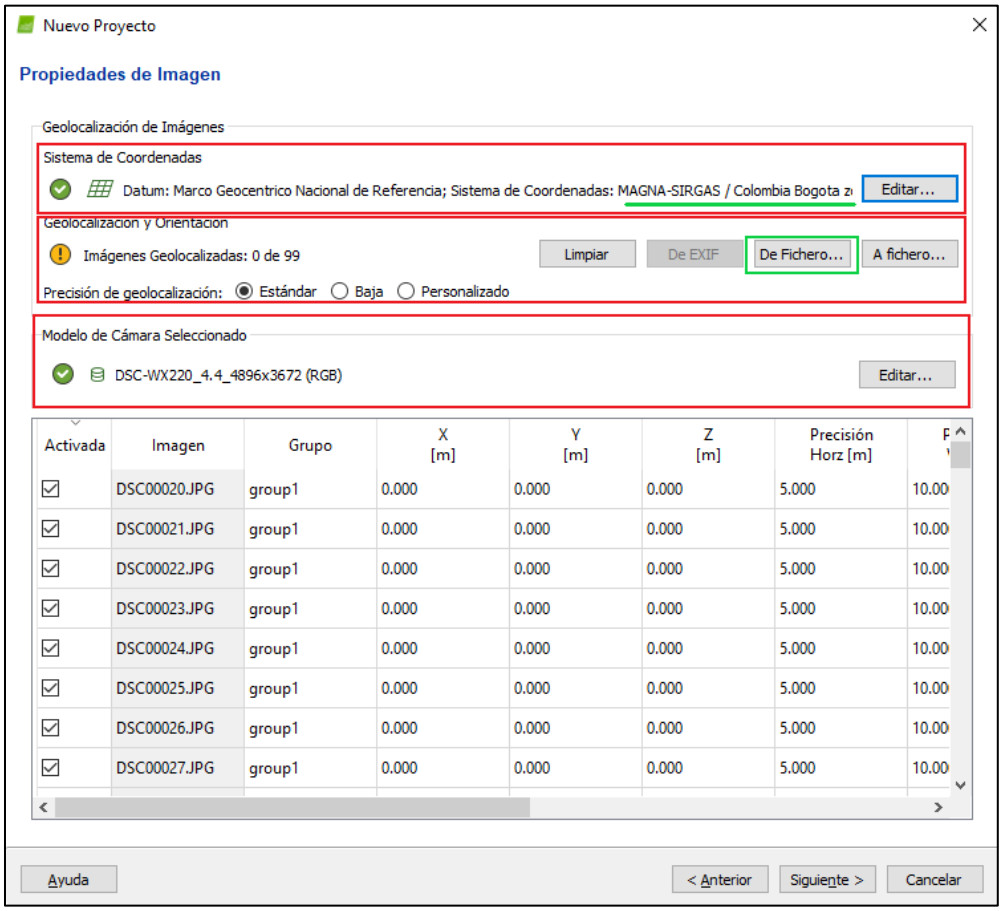
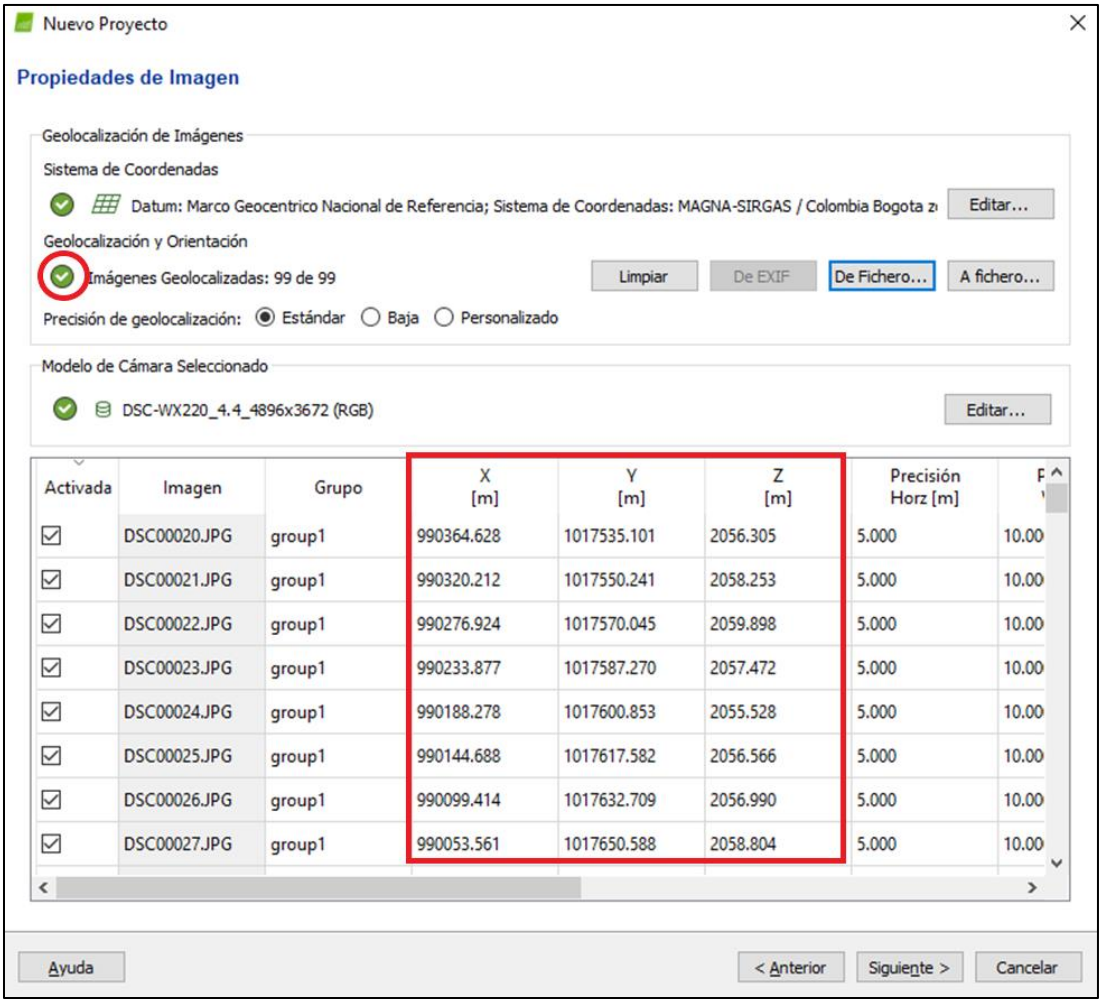


Ilustración 76 Geolocalización del proyecto. Fuente elaboración propia.

para cargar las coordenadas nos dirigimos a geolocalización y damos clic en el botón de “fichero”, se despliega una ventana y picamos en navegar, buscamos la ruta del archivo de texto con las coordenadas x,y,z (planas) y procedemos a cargarlo.

Cuando cargamos el archivo con las coordenadas de la geolocalización el icono cambia a color verde, y en el recuadro de las imágenes aparecen las coordenadas correspondientes.



Activada	Imagen	Grupo	X [m]	Y [m]	Z [m]	Precisión Horz [m]	P
☑	DSC00020.JPG	group1	990364.628	1017535.101	2056.305	5.000	10.00
☑	DSC00021.JPG	group1	990320.212	1017550.241	2058.253	5.000	10.00
☑	DSC00022.JPG	group1	990276.924	1017570.045	2059.898	5.000	10.00
☑	DSC00023.JPG	group1	990233.877	1017587.270	2057.472	5.000	10.00
☑	DSC00024.JPG	group1	990188.278	1017600.853	2055.528	5.000	10.00
☑	DSC00025.JPG	group1	990144.688	1017617.582	2056.566	5.000	10.00
☑	DSC00026.JPG	group1	990099.414	1017632.709	2056.990	5.000	10.00
☑	DSC00027.JPG	group1	990053.561	1017650.588	2058.804	5.000	10.00

Ilustración 77 Proyecto geolocalizado. fuente elaboración propia.

El software tiene un mapa base en el cual se muestra la geolocalización del proyecto, luego de observar que la zona corresponde realmente donde se realizó el vuelo, esto quiere decir que las coordenadas están bien y podemos continuar con nuestro post-proceso.



Ilustración 78 Geolocalización del proyecto en mapa base de pix4D. Fuente elaboración propia.

La interfaz de pix4D se divide en 4 pantallas principales, en la parte superior Herramientas, en la parte central izquierda se visualizan todos los procesos y se calculan volúmenes, en el centro la pantalla más grande se visualizan los modelos, y en la parte inferior se realizan los procesos.

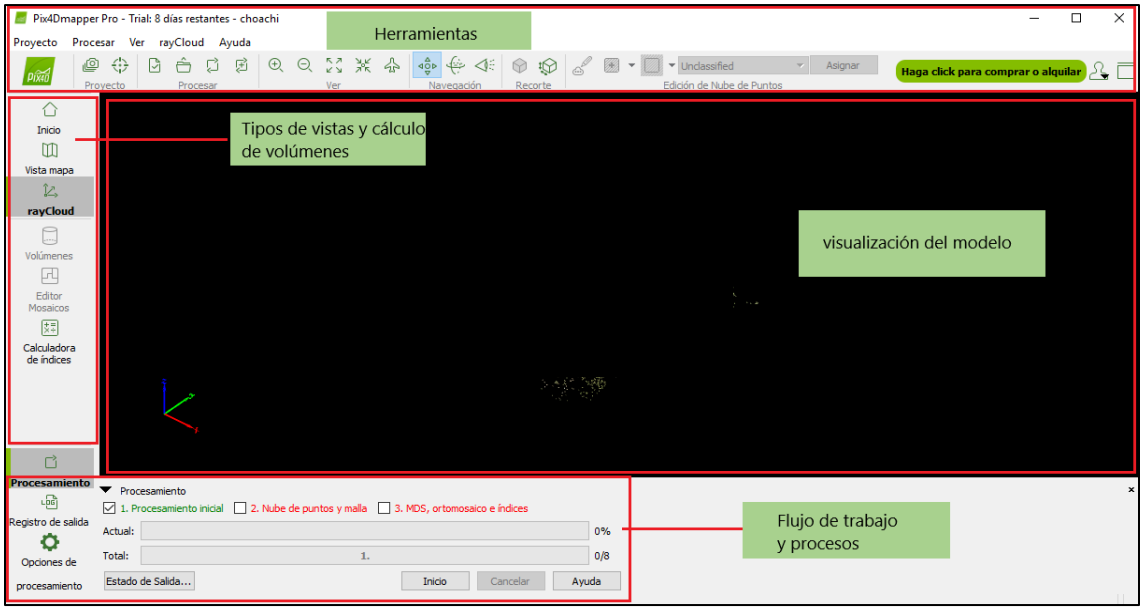


Ilustración 79 Interfaz del software pix4D. Fuente elaboración propia.



10.3 PROCESO INICIAL

El proceso inicial en el software pix4D consiste en la orientación de las imágenes y una nube de puntos inicial, este proceso es fundamental para continuar el proceso de georreferenciacion o puntos de control y con la adquisición de los productos siguientes.

Para realizar el proceso inicial nos dirigimos a la zona de procesos picamos en proceso inicial, luego opciones de proceso en ese botón se configura la calidad del producto, para este ejemplo se va a realizar “completo”. Y por último damos clic en “iniciar”.

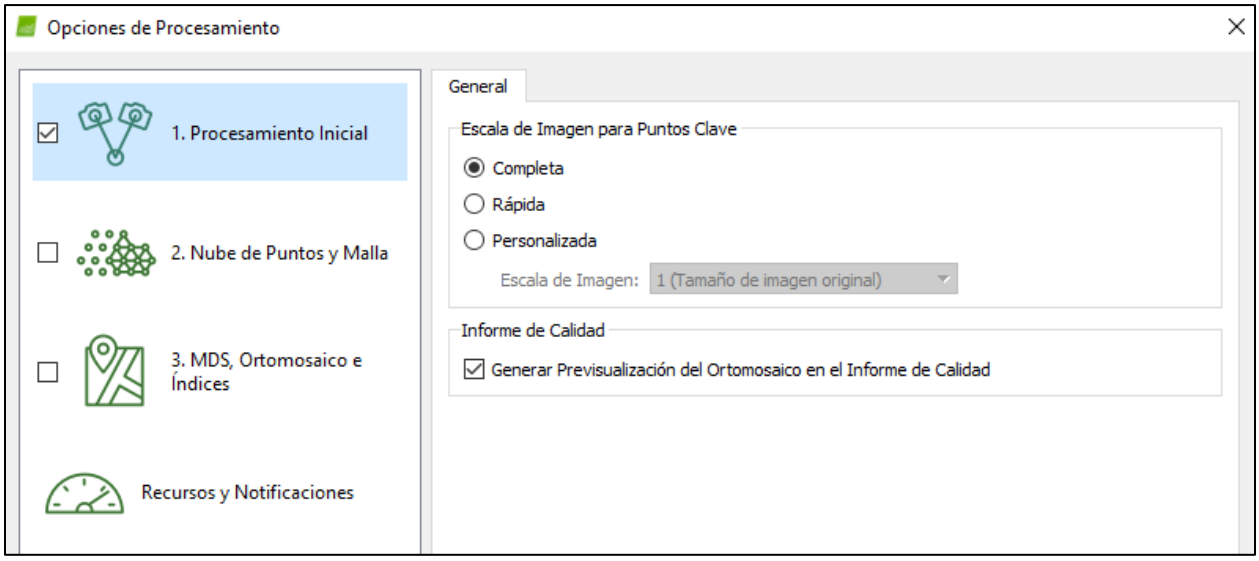


Ilustración 80 Opciones de procesamiento. Fuente elaboración propia.

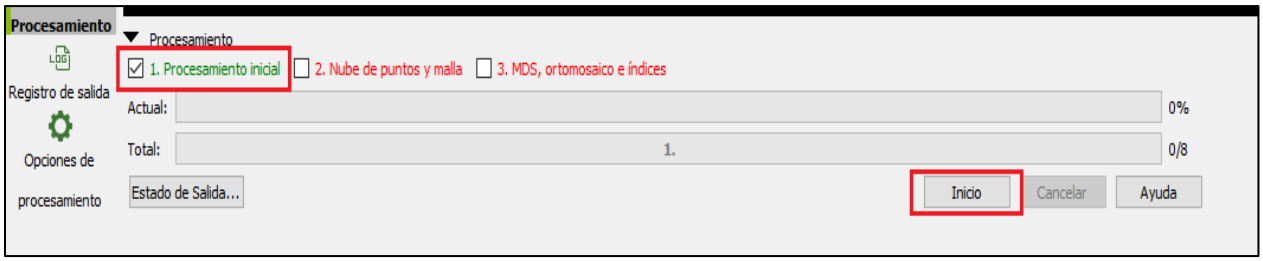


Ilustración 81 Proceso inicial. Fuente: elaboración propia.

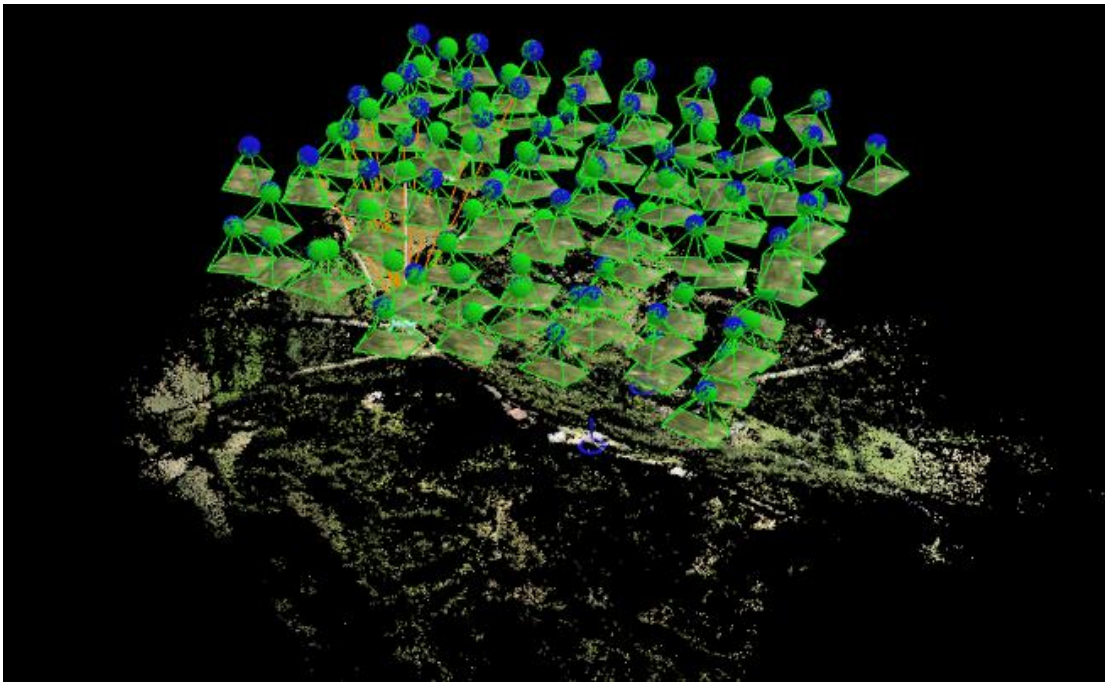


Ilustración 82 Resultado proceso inicial (Imágenes orientadas). Fuente elaboración propia

10.4 PUNTOS DE CONTROL.

Para subir los puntos de control nos dirigimos a la barra de Herramientas, en el espacio de “proceso” damos clic en el botón “Gestor GCP/MTP”, en donde se despliega una ventana que nos permite cargar un archivo de texto (*.txt) o un archivo Excel (*.csv) el cual debe contener solo información de coordenadas (x, y, z).

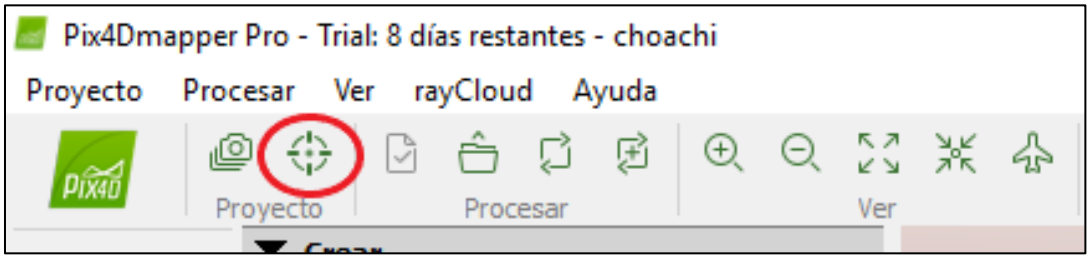


Ilustración 83 Herramienta "Gestor GCP/MTP" para agregar puntos de control. Fuente: elaboración propia.



Después de tener cargadas las coordenadas de los puntos de control, las cuales tiene que coincidir con el espacio geográfico de la zona de estudio; de lo contrario aparecerá un recuadro con una señal de alerta en donde indica que las coordenadas no corresponden al área del modelo. Esto puede ser debido a cargar mal el archivo de coordenadas o no tener el sistema de proyección correcto.

Después de tener las coordenadas listas y el sistema de referencia correspondiente nos dirigimos al botón “editar rayCloud” damos clic derecho y procedemos a ubicar las coordenadas en los puntos de control marcados en las imágenes correspondientes.

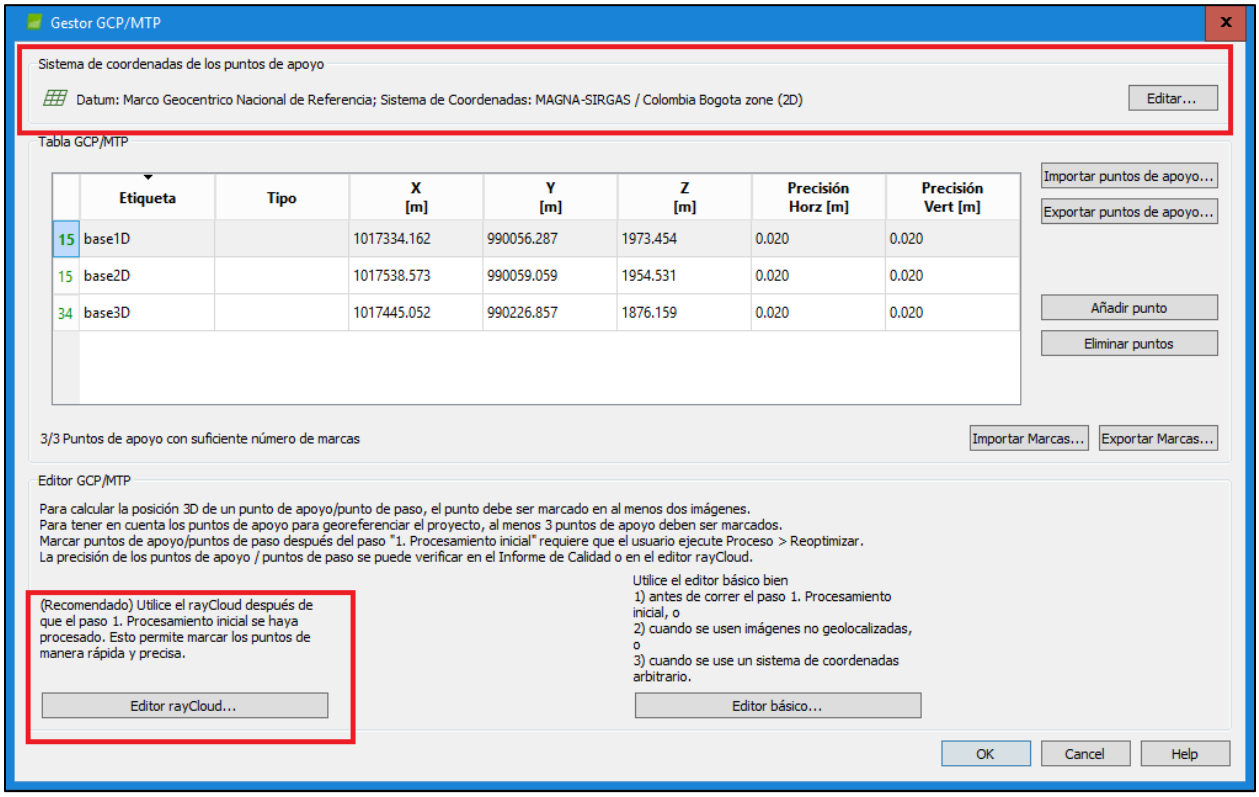


Ilustración 84 Importar puntos de control. Fuente: elaboración propia.

Cuando picamos en el “editor rayCloud” ya podemos observar los puntos de control sobre el modelo, así mismo, se abre un cuadro en la parte derecha de la pantalla en donde el programa identifica y muestra las fotografías en donde se encuentran ubicadas las coordenadas del primer punto de control. Posteriormente es necesario empezar a ubicar la marca que se muestra en la imagen en el punto marcado en campo, este proceso se

realiza con todas las imágenes o mínimo con tres y luego damos clic en el botón marcado automático, el software vuelve a ubicar los puntos de control en las marcas en campo.



Ilustración 85 ubicación de los puntos de control. Fuente elaboración propia

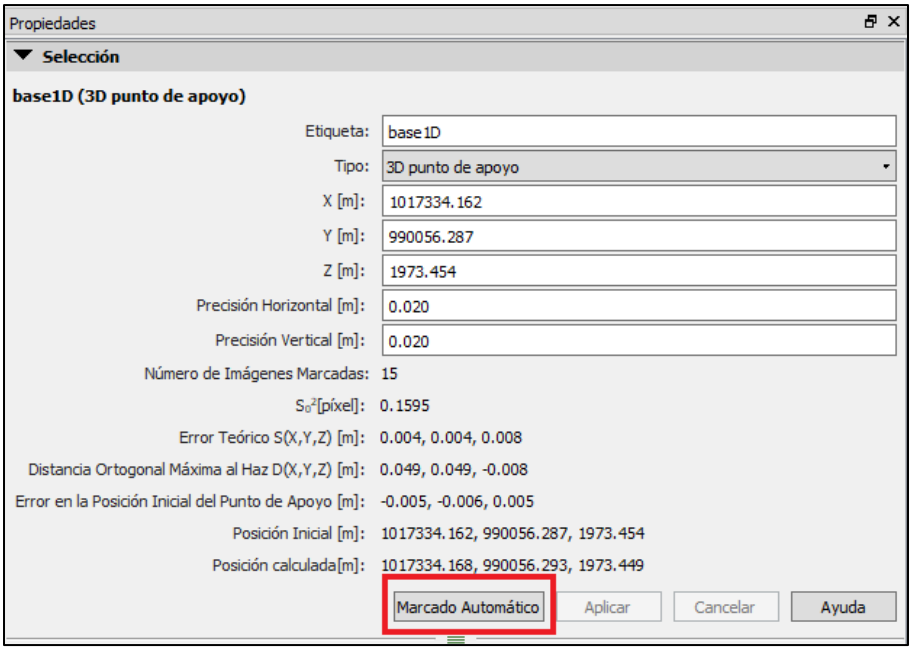


Ilustración 86 marcado automático de puntos de control. Fuente elaboración propia.



El paso por seguir después de tener todos los puntos de control ubicados en las fotografías es realizar el proceso de optimización del modelo, en donde el modelo se va a ajustar a los puntos de control.

El proceso de optimización del modelo es muy sencillo, solo hay que dar clic en el botón “reoptimizar”

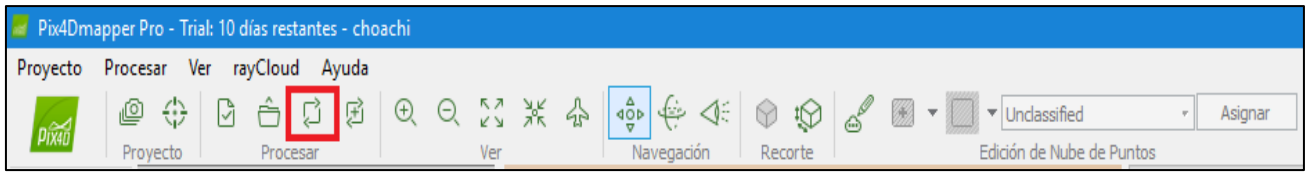


Ilustración 87 Reoptimizar proyecto. Fuente elaboración propia.

Cuando tenemos nuestro proyecto optimizado con los puntos de control es necesario descargar el reporte con el fin de visualizar que los errores sean aceptables para continuar con el proceso y obtener los resultados esperados.

Para exportar el reporte nos dirigimos a la zona de las herramientas damos clic en el botón “procesar” y luego en generar informe de calidad.

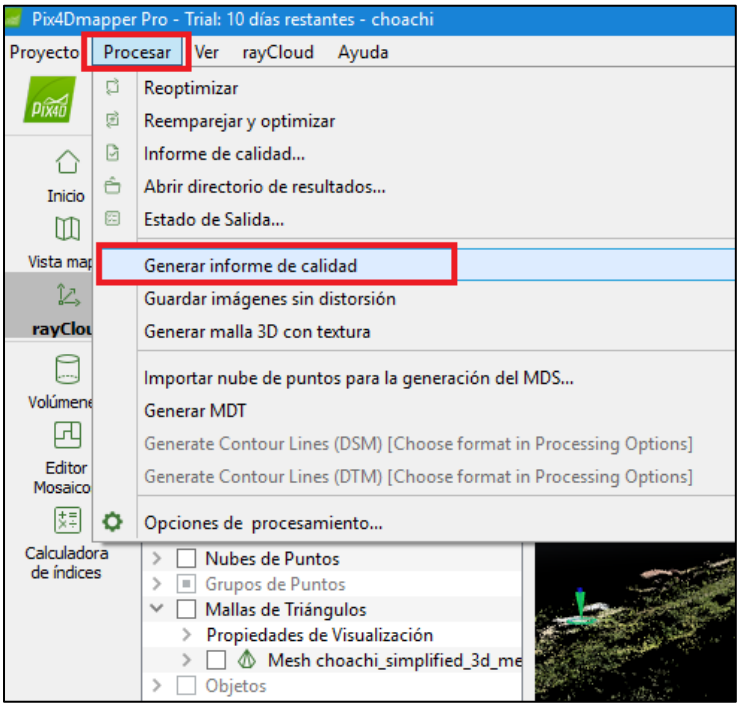


Ilustración 88 Generar informe de calidad. Fuente elaboración propia.



10.5 NUBE DE PUNTOS, MALLA, MDE Y ORTOMOSAICO.

El procedimiento para generar los resultados como nube de puntos, malla, MDE, y ortomosaico, es muy sencillo de realizar. Para esto nos dirigimos al botón de "procesamiento" el cual está ubicado en la parte inferior izquierda de la pantalla, y es donde realizamos el proceso inicial, en este caso vamos a activar el procesamiento #2 (Nube de punto y malla) y el procesamiento #3 (MDS, ortomosaico e índices) y dar clic en inicio. El software se encargará de generar los resultados, los cuales se podrán visualizar luego de que termine los proceso en el flujo de trabajo "rayCloud"

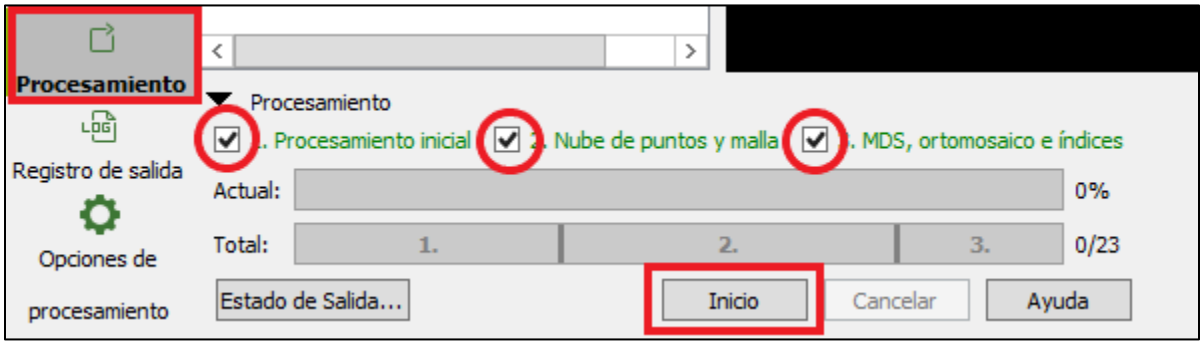


Ilustración 89 Crear nube de puntos, malla, MDE, ortomosaico. Fuente elaboración propia

10.6 RESULTADOS

para terminar los resultados del procesamiento de imágenes son como se mencionó anteriormente, MDT, MDE, nube densa de puntos y Ortofotos. Los cuales me permiten realizar diferentes tipos de medición y pueden ser exportados en diferentes formatos para obtener o modelar nuevos resultados. A continuación, las imágenes de los productos obtenidos.



Ilustración 90 Nube densa de puntos. Fuente: elaboración propia.

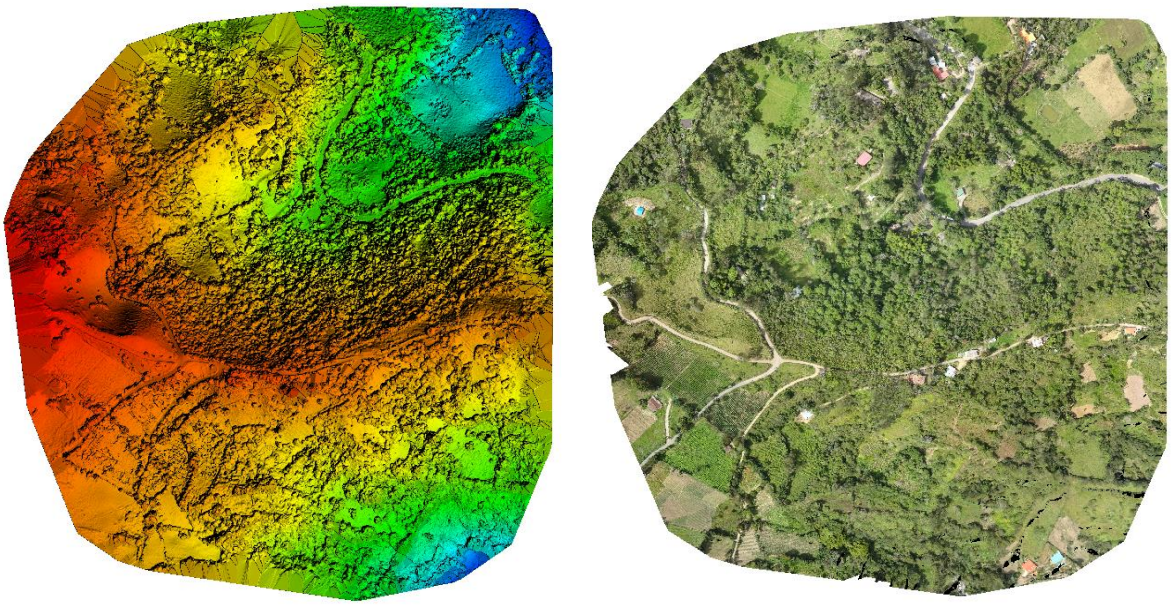


Ilustración 91 MDE y Ortomosaico. Fuente: elaboración propia.



11. APLICACIONES EN LA GESTIÓN DEL RIESGO

- Calculo de volúmenes (deslizamientos)
- Cartografía base para SIG (Inventario de vías, Modelamientos en 3D)
- Recorrido que permita identificar unidades geológicas y geomorfológicas de una zona determinada o un corredor vial
- El monitoreo de los deslizamientos y cuencas hidrográficas que están presentando problemas de inestabilidad
- Toma de decisiones acertadas sobre evacuación de zonas y estabilización de terrenos.
- Búsqueda de personas en lugares de difícil acceso



12. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

El Instituto Nacional de Vías (INVIAS) contribuye en el desarrollo socioeconómico del país y de manera específica en buscar la satisfacción de los usuarios de las vías a través del programa de Administradores de Mantenimiento Vial de alto nivel, encargados de adelantar las gestiones y acciones tendientes a conservar, valorar el patrimonio vial y brindar la atención adecuada a la demanda de los sectores y de la población que utilizan las carreteras.

A través de los avances realizados por el INVIAS respecto a la incorporación de la Gestión en el quehacer institucional, se ha determinado que una buena herramienta para el mejoramiento de la captura de la información a cargo de profesionales es la obtención de imágenes a través del DRONE. No obstante, a fin de que su uso sea el adecuado, en el Instituto Nacional de Vías INVIAS ha estructurado un manual, con el que se busca unificar lineamientos para realizar proyectos con imágenes obtenidas a partir de un Drone. De igual manera se especifican los requisitos mínimos para realizar su uso de manera institucional conservando los requerimientos técnicos y legales a lugar.

12.1 REGLAMENTACIÓN.

En Colombia la reglamentación sobre Aeronavegabilidad y Drones (RPA) está a cargo de la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (UAEAC), la cual tiene como objetivo coordinar, formular, dirigir, organizar, y regular técnicamente el transporte aéreo. Controlar, supervisar, y asistir la operación y navegación aérea que se realice en el espacio aéreo sometido a la soberanía nacional. Además de fijar, establecer y desarrollar políticas de reglamentación, sanciones, y tarifas en materias del transporte aéreo.

La Circular Reglamentaria No. 002, tiene como propósito ampliar la información e impartir instrucciones de cumplimiento en referencia a los requisitos de Aeronavegabilidad y Operaciones necesarios para solicitar permiso de acuerdo con lo establecido en el numeral 4.25.8.2 de los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia (RAC), en lo



relacionado con la realización de operaciones de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia - RPAS en Colombia. (AEROCIVIL, 2015).

En este capítulo se mencionarán las reglamentaciones más importantes en relación con los requisitos para poder pilotear un Drone RPAS y la normativa a la hora de efectuar un vuelo en campo.

CONDICIONES DE AERONAVEGABILIDAD

ninguna persona operara en Colombia un RPA a menos que reúna las siguientes condiciones de aptitud técnica:

- Sus hélices o rotores no podrán ser metálicas.
- Deben estar equipados mínimamente con:
  - Sistema de piloto automático.
  - Sistema GPS.
  - Sistema de lanzamiento y recuperación en condiciones normales de operación. (ej. Tren de aterrizaje, airbag, paracaídas.)
  - Sistemas para la seguridad en vuelo (ej. Recuperación con capacidad de programación de operación autónoma – return to home en caso de emergencia.)
- Su estación de pilotaje a distancia permite el control (vía radio) del aparato en todas sus fases de vuelo, provee información sobre sus condiciones de operación (altitud, rumbo, velocidad, actitud de vuelo, distancia al operador, capacidad de seguimiento del vuelo monitoreo de batería, y estado del enlace)
- Sus sistemas de radio control, de transmisión y recepción de datos o imagen no debe causar ningún tipo de interferencia a otros tipos de sistemas o actividades aeronáuticas.
- Su sistema de moto propulsor no debe generar ruido excesivo o contaminación.
- Contar con instructivos o manuales técnicos y de operación.
- Los colores exteriores de la RPA la hacen claramente visible y detectable a distancia. Es importante que la aeronave tenga adherido un placard con el nombre



y datos de contacto del explotador de la RPA, para identificar la aeronave y el responsable en caso de accidente, incidente o violación de la norma.

CLASIFICACIÓN:

Las RPA en Colombia se clasifican en las siguientes dos (2) categorías:

- Pequeños, aeronaves con un peso máximo de despegue menor o igual a 25 Kg (55 Lb)
- Grandes, aeronaves con un peso máximo de despegue mayor a 25 kg (55 Lb). En Colombia por ahora queda prohibida la operación civil para esta categoría.

LIMITACIONES DE LA OPERACIÓN RPAS EN COLOMBIA:

No se permitirá operación RPAS en Colombia para:

- Volar sobre área congestionada, edificaciones, o directamente sobre público o aglomeraciones de personas.
- Volar de modo que se pueda crear un riesgo para las personas o propiedades en la superficie, particularmente, cuando el viento fuerte o cualquier otro factor meteorológico, así como desperfectos mecánicos del aparato o del equipo de control, o falta de pericia del operador, que puedan ocasionar que se pierda el control total sobre el mismo.
- Aeronaves pilotadas a distancia con un peso máximo de despegue superior a 25 Kg (grandes).
- Aeronaves pilotadas a distancia que portan pesos utiles diferentes a los elementos que sean aprobados por la DSNA para el vuelo a ser realizado.
- Volar desde un aeródromo o en sus proximidades dentro de un radio de 2.7 NM-Millas Náuticas (5 Km) a la redonda.
- Volar a una altura superior a 500 pies (152 metros aprox) sobre el terreno o sobre el agua.
- Volar de modo que se aleje más de 750 metros de distancia del operador o del lugar de su lanzamiento o despegue.



- Volar al interior de una zona prohibida o restringida del espacio aéreo, publicada por la UAEAC.
- Volar en las proximidades dentro de un radio de 1 milla náutica (1.8 KM aprox) a la redonda de cualquier lugar donde se encuentre el presidente de la república, vicepresidente y otras autoridades nacionales y extranjeras.
- Volar cerca de, o sobre instalaciones militares, policiales, o centros carcelarios
- Volar transportando animales.

RÉGIMEN SANCIONATORIO

Cualquier operación de una RPA sin la autorización requerida o por fuera de los términos de tal autorización, o en transgresión a lo previsto esta circular, constituye infracción sancionable de conformidad con el régimen sancionatorio contenido en los reglamentos Aeronáuticos de Colombia, sin perjuicio de la responsabilidad civil o penal que pudiera derivarse de tales hechos.

Particularmente podría estar incurriendo en una infracción:

- El explotador de RPAS que ofrezca sistemáticamente servicios aéreos comerciales de trabajos aéreos especiales (aerofotografía, publicidad aérea, etc.…) o en otra modalidad, empleando RPAS, sin contar con un permiso de operación otorgado por la autoridad aeronáutica.
- El explotador y el piloto que opera un RPA, sin contar con una autorización, conforme sea requerida o excediendo las limitaciones de tal autorización.

Como consecuencia de un siniestro, también se puede llegar a tipificar delitos contra la vida y la integridad personal, quedando sujeto el explotador y/o piloto a distancia a la pena contemplada en la respectiva norma penal.

Nota: la reglamentación anterior es extraída de la circular reglamentaria No 002, de los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia (RAC), expedidos por la entidad encargada, Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica civil (UAEAC). Para consultar la norma completa se pueden dirigir a:
http://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviaci%C3%B3n-civil/reglamentacion/rac



12.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL DRONE.

Dadas las aplicaciones que se requieren realizar con la tecnología Drone (monitoreo y cálculo de volúmenes de deslizamientos) el tipo de dron más recomendable a utilizar es un Multirotor. El cual, Proporciona una gran versatilidad y eficacia en las operaciones por su simpleza a la hora de ser pilotados y por la velocidad de montaje. Es una plataforma estable por naturaleza, debido a que los motores se encuentran a la misma distancia del centro de gravedad de la aeronave.

Características principales
• Fotogrametría de alta precisión.
• Resolución de la imagen centímetrico.
• Implementación rápida.

Misión	
• Tipo	Drone Multirotor / mínimo 4 alabes
• Implementación y despegue	Menos de 10 min
• Despegue y aterrizaje	Automático (o manual)
• Gestión de vuelo	Automático (o manual)
• Autonomía (tiempo mínimo)	30 min
• Velocidad de crucero	30 km/h
• Velocidad máxima	72 km/h
• Alcance de la conexión de radio	3 km
• Altura de vuelo (recomendado)	150 m (encima del nivel del suelo)
• Altura máxima	2000 m
• Resistencia al viento	50 km/h
• Rango de temperatura	De 0°C a 45°C
• Sistema de posicionamiento por satélite	GPS / GLONASS



Equipo y comunicación	
• Material	Optimo para el cumplir el tiempo de autonomía
• Motorización	4 motores
• Peso	4 kg máximo
• Estabilizador	3 ejes (cabeceo, alabeo, guiñada)
• Baterías	Polímero de litio + cargador
• Estuche o forro	Caja de transporte con protección interior de espuma.

Control remoto	
• Frecuencia de funcionamiento	2.400 GHz - 2.483 GHz
• Distancia de transmisión	3 km/h
• Puerto de salida de video	USB
• Soporte de dispositivos móviles	Tableta o teléfono móvil

Colección de datos y software	
• Sensor	1/2.3” CMOS y otros.
• Fotos	JPEG, DNG, TIFF
• Tamaño de la imagen	4000 x 3000 aproximadamente.
• Área de levantamiento promedio por vuelo	Entre 50 y 100 ha
• Programador de vuelo	(eMotion, Mission Planner) o Software incluido con el Drone
• Procesamiento de datos GNSS	Leica Geosystems Geo Office, Trimble Business Center
• Procesamiento de imágenes	Pix4DMapper pro, Agisoft Photoscan,



13. BIBLIOGRAFÍA.

AEROCIVIL. (2015). *AERONAUTICA CIVIL* . Obtenido de http://www.aerocivil.gov.co/servicios-a-la-navegacion/sistema-%20de-aeronaves-pilotadas-a-distancia-rpas-drones/reglamentacion

Agisoft Photoscan. (2017). *Agisoft.* Obtenido de Sugerencias y trucos de soporte: http://www.agisoft.com/support/tips-tricks/

ardupilot. (2016). *ardupilot.org*. Obtenido de http://ardupilot.org/planner/docs/common-loading-firmware-onto-pixhawk.html

Centro Interamericano de Fotointerpretación C.I.A.F. (1981). Diseño geometrico de un vuelo fotogrametrico. Bogotá D.C.

Domínguez Lavín, A. (junio de 2015). *Foto 24.* Obtenido de https://blog.foto24.com/distancia-focal-objetivo/

ESRI. (2017). *ArcGIS PRO.* Obtenido de https://pro.arcgis.com/es/pro-app/help/data/imagery/generate-an-orthomosaics-using-the-orthomosaic-wizard.htm

Fotogrametria Practica . (2015). *fotogrametria practica blogspot.* Obtenido de http://fotogrametriapractica.blogspot.com.co/2015/03/uso-de-drones-para-la-actualizacion.html

Hernadez de la Rosa, Y. (2009). *Universidad de Ciencias Médicas*. Obtenido de http://www.revedumecentro.sld.cu/index.php/edumc/article/viewArticle/13/33

INGENIO TRIANA . (DICIEMBRE de 2015). *INGENIO TRIANA BLOGSPOT*. Obtenido de http://ingenio-triana.blogspot.com.co/2015/12/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-drones.html

Leica Geosystems. (2003). *Guia para mediciones en modo estatico y estatico rapido. .* Obtenido de http://www.utdallas.edu/~aiken/LEICA/Documentation/Spanish/Static-Rapid_3_0es.pdf

Mata, J. A. (2016). *Calibración geométrica de cámaras no metricas. Estudio de metodologías y modelos matemáticos de distorsión.* Obtenido de http://oa.upm.es/39454/1/JULIAN_AGUIRRE_DE_MATA.pdf

Nikon inc. (2017). *Nikon.com.* Obtenido de http://www.nikon.com.mx/learn-and-explore/a/tips-and-techniques/entendiendo-la-distancia-focal.html

Rodriguez Sanchez , L. (05 de 2004). *INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI.*



Universidad de los Andes Venezuela. (s.f.). *Fotogrametria Digital parte 1.* Obtenido de web del profesor: http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/iluis/publicaciones/Fotogrametr%EDa/FOTOGRAMETRIA%20DIGITALparte1.pdf

Vuelo Artificial . (2015). *VueloArtificial.com*. Obtenido de https://vueloartificial.com/introduccion/primeros-pasos/descargando-el-software-necesario/

ZIMA ROBOTICS. (2017). *dronespain*. Obtenido de http://dronespain.pro/tipos-de-drones-aereos/