METODOLOGÍA PARA CLASIFICAR NUBES DE PUNTOS CON SOFTWARE FOTOGRAMÉTRICO - CASO DE ESTUDIO PUERTO TRIUNFO, ANTIOQUIA



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Acreditación Institucional de Alta Calidad

Autor

Andrés Felipe Sánchez Sandoval

Tutor

Janneth Pardo Pinzón

Msc. Ing. Catastral y Geodesta

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Proyecto Curricular Tecnología en Levantamientos Topográficos
junio de 2025

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 4
2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 5
2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 5
2.2. FORMULACION DEL PROBLEMA 5
3. OBJETIVOS 6
3.1. OBJETIVO GENERAL 6
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 6
4. MARCO TEÓRICO 7
5. ESTADO DEL ARTE RELACIONADO CON EL AVANCE DEL CONOCIMIENTO EN RELACIÓN CON EL PROBLEMA PROPUESTO 9
6. MÉTODOS Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN, SISTEMATIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN 12
6.1 REVISIÓN DE MATERIAL – FOTOGRAMÉTRICO 10
6.2 PROSESO EN AGISOFT METASHAPE 13
6.3 PROSESO EN PIX4D 23
6.4 CLASIFICACIÓN SUPERVISADA EN ARCGIS PRO 30
6.5 ANÁLISIS DE LA COBERTURA VEGETAL 36
7. ANALISIS Y DISCUSIÓN EN FUNCIÓN DEL PROBLEMA PROPUESTO 39
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 40
9. REFERENCIAS BIBIOGRÁFICAS 41

FIGURAS

Figura 1: Detalle de punto GCP 11
Figura 2 Zona de estudio municipio Puerto Triunfo. Antioquia 11
Figura 3: Metadatos de las fotografías 13
Figura 4. Orientación de las fotografías 14
Figura 5. Procedimiento para transformar el sistema de coordenadas 14
Figura 6: Importación de archivo CSV en Agisoft Metashape 15
Figura 7. Distribución de los GCP en el Modelo 17
Figura 8: Nube de puntos de paso junto a los puntos de control y auxiliares 18
Figura 9. Nube de puntos densa 18
Figura 10: Creación de la Malla 20
Figura 11. Ventana de configuración para la creación del orto 21
Figura 12: Ortofoto 22
Figura 13: Menú de exportación de la ortofoto 23
Figura 14: Ventana de importación de imágenes. 24
Figura 15: Ventana de las opciones de procesamiento 26
Figura 16: GCP y tie points sobre puntos de paso 27
Figura 17: Captura de pantalla Mosaico Editor 29
Figura 18: Informe final en Pix4Dmapper 30
Figura 19: Shapefile de polígonos de entrenamiento superpuesto sobre la imagen raster 34
Figura 20: Mapa de clasificación de firma espectral 35
Figura 21: Gráfico de porcentajes de píxeles del ráster por tipo de cobertura 37
Figura 22: Gráfico de porcentajes de píxeles del ráster por grupo de cobertura 37

TABLAS

Tabla 1. Puntos tomados sobre el terreno Puerto triunfo Antioquia GCP 11

Tabla 2 Clasificación de cubiertas de Corine Land Cover modificada 33

1. INTRODUCCIÓN

La necesidad de contar con información cartográfica y topográfica precisa, actualizada y obtenida en el menor tiempo posible ha impulsado el desarrollo de nuevas metodologías de levantamiento geoespacial. En este contexto, los vehículos aéreos no tripulados (VANT o drones) se han consolidado como herramientas eficaces y accesibles para la adquisición de datos en proyectos de pequeña y mediana escala.

Su bajo costo operativo, la posibilidad de incorporar diversos sensores (como cámaras RGB, multiespectrales o térmicas) y la flexibilidad para operar en zonas de difícil acceso, los posicionan como una alternativa viable frente a métodos tradicionales como la fotogrametría aérea tripulada o el levantamiento terrestre clásico. Sin embargo, el uso de drones con cámaras digitales no está exento de limitaciones, factores como la variabilidad en las posiciones de vuelo y las distorsiones causadas por cambios en la elevación del terreno pueden dificultar la obtención de resultados precisos sin el uso de software especializado.

Afortunadamente, los avances en el procesamiento fotogramétrico permiten superar estos inconvenientes. Estos métodos posibilitan la reconstrucción tridimensional automática del terreno, generando productos como nubes de puntos, modelos digitales de elevación y Ortomosaico georreferenciados con alta precisión. En este trabajo se estudia comparativamente el desempeño de dos software utilizados en el procesamiento de imágenes obtenidas con drones: Pix4D y Agisoft Metashape. Ambos serán aplicados al análisis de una zona de estudio ubicada en el municipio de Puerto Triunfo, Antioquia; que incluye zonas verdes, cuerpos de agua, edificaciones y áreas intervenidas por minería.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

En la actualidad, el uso de drones para la captura de datos geoespaciales se ha incrementado significativamente, gracias a su capacidad para agilizar el levantamiento de información y generar representaciones precisas del terreno. Esta tecnología ha encontrado aplicaciones en diversos campos como el catastro, la planificación territorial, los estudios ambientales y la minería, entre otras permitiendo una visualización más detallada y eficiente del entorno.

Los softwares emplean algoritmos matemáticos para calcular vectores, identificar puntos comunes entre imágenes, y generar modelos tridimensionales a través de la construcción de mallas. Estos modelos permiten aumentar considerablemente la densidad de puntos representativos del terreno, mejorando la precisión y fidelidad del análisis.

Sin embargo, se ha observado que los resultados obtenidos a partir de un mismo conjunto de datos pueden variar dependiendo del software utilizado. Esta diferencia se debe a que cada plataforma implementa sus propios algoritmos de reconstrucción, ajustes geométricos y métodos de interpolación, los cuales pueden afectar tanto la geometría como la calidad de la nube de puntos generada.

Esta situación plantea una preocupación respecto a la confiabilidad de los resultados cuando se requiere un alto nivel de precisión, como en la identificación y clasificación de vegetación a partir de nubes de puntos. Por tanto, surge la necesidad de analizar en qué medida estas diferencias entre softwares pueden afectar la veracidad de los datos y las decisiones derivadas de ellos, especialmente en aplicaciones ambientales en regiones como Puerto Triunfo, Antioquia.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar una comparación de la metodología para la clasificación de nube de puntos en software fotogramétrico como Pix4D y Agisoft Metashape para realizar una clasificación de nube de puntos en el municipio de Puerto Triunfo, Antioquia.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Procesar las imágenes capturadas con al menos dos softwares fotogramétricos distintos para generar nubes de puntos en 3D.
- Comparar la información generadas en cada software, evaluando aspectos como densidad de puntos y la clasificación de coberturas vegetales.
- Clasificar la vegetación presente en la zona de estudio a partir de las nubes de puntos procesadas, utilizando herramientas y criterios técnicos.

4. MARCO TEÓRICO

A continuación, se describen los conceptos teóricos vinculados al entorno del trabajo de grado.

CGP (Puntos de control en tierra): Los puntos de control en tierra (CGP, del inglés *Ground Control Points*, GCP) son ubicaciones físicas en el terreno con coordenadas geográficas precisas (longitud, latitud y altitud) determinadas mediante instrumentos como estaciones totales o GPS de alta precisión. Estos puntos se identifican en las imágenes y se utilizan en el proceso de ortorrectificación para corregir distorsiones geométricas y garantizar precisión y coherencia con un sistema de coordenadas de referencia. (Schenk, 2005).

Malla: En el contexto de fotogrametría y modelado 3D, una malla (o *mesh*) es una representación tridimensional de una superficie formada por una red de polígonos generada a partir de datos como nubes de puntos. En la producción de ortofotos, la malla se deriva comúnmente de un modelo digital de superficie (MDS) o un modelo digital de elevaciones (MDE), y se utiliza para modelar la topografía del terreno, corregir distorsiones en las imágenes y generar productos como mapas topográficos. La calidad de la malla depende de la densidad de los datos de entrada y del algoritmo de triangulación empleado, como la triangulación de Delaunay (M. & S., 2001).

Nube de puntos densa: Una nube de puntos densa es un conjunto masivo de datos tridimensionales compuesto por puntos con coordenadas (x, y, z) que representan la superficie del terreno capturado mediante técnicas como fotogrametría. En el contexto de ortofotos, la nube de puntos densa se genera a partir de imágenes aéreas superpuestas utilizando algoritmos de correlación de imágenes. Estos puntos son la base para construir modelos digitales de elevación, mallas 3D y ortofotos, proporcionando una representación detallada de la geometría del terreno (Westoby, Brasington, Glasser, Hambrey, & Reynolds, 2012)

Ortofoto: Una ortofoto es una imagen aérea que ha sido corregida geométricamente para eliminar distorsiones derivadas de la inclinación de la cámara y la topografía del terreno; mediante procesos fotogramétricos, como la ortorrectificación, se ajusta la imagen a una proyección ortogonal, lo que garantiza una escala uniforme y permite su uso como un mapa para mediciones precisas. Las ortofotos son ampliamente utilizadas en cartografía, planificación urbana, agricultura de precisión, monitoreo ambiental y estudios topográficos, ya que pueden integrarse con sistemas de información geográfica (SIG) (Lillesand, kiefer, & Chipman, 2015).

Puntos de apoyo: En fotogrametría, los puntos de apoyo, también conocidos como puntos de control fotogramétrico, son puntos en el terreno con coordenadas conocidas, medidas con alta precisión mediante GPS diferencial. Estos puntos sirven como referencia para georreferenciar imágenes aéreas durante la producción de ortofotos, asegurando la correspondencia con un sistema de coordenadas geográficas. (Wolf & Dewitt, 2000) .

Software fotogramétrico: es una herramienta digital que procesa imágenes para generar modelos 3D, mapas o mediciones precisas mediante técnicas de fotogrametría, que se basa en la correlación de imágenes y triangulación para reconstruir geometrías espaciales (Linder, 2016).

Tie Points: Los *tie points* (o puntos de unión) son puntos comunes identificados en múltiples imágenes aéreas o satelitales superpuestas que permiten alinearlas durante el procesamiento fotogramétrico. Estos puntos se detectan automáticamente mediante algoritmos de correlación de imágenes, que buscan características visuales similares (como esquinas o bordes) en las imágenes. Los *tie points* son esenciales en la reconstrucción 3D y la generación de nubes de puntos densas, ya que ayudan a determinar la orientación relativa de las imágenes, su precisión influye directamente en la calidad de la (Toutin, 2004).

5. ESTADO DEL ARTE RELACIONADO CON EL AVANCE DEL CONOCIMIENTO EN RELACIÓN CON EL PROBLEMA PROPUESTO

Actualmente, cada vez se usan más los drones para cuidar y monitorear los espacios verdes como parques, cultivos o bosques. Según Pix4D (s.f.), en su sección sobre agricultura de precisión, estas herramientas ofrecen soluciones que optimizan el manejo de los cultivos mediante el análisis de datos, Además, permiten realizar evaluaciones rápidas y precisas del estado de la vegetación, detectar plagas o enfermedades a tiempo.

Un ejemplo destacado es la empresa TecnoBosque, que en su página web declara: “En TecnoBosque buscamos constantemente nuevas formas de prevenir incendios forestales. Por ello, hemos incorporado tecnología de punta en nuestros proyectos, lo que nos permite detectar y controlar incendios de manera más rápida y eficiente. Utilizamos tecnologías avanzadas y prácticas de bajo impacto ambiental, como el monitoreo con drones y la creación de barreras físicas contra el fuego” (TecnoBosque, s.f.).

Sin embargo, para garantizar resultados precisos, es fundamental emplear adecuadamente los softwares de captura y procesamiento de datos. Una ejecución deficiente puede generar información errónea, lo que podría llevar a decisiones inadecuadas.

Por ejemplo, Pix4D recomienda un traslape mínimo del 75 % frontal y 60 % lateral para la captura de imágenes en terrenos planos sin construcciones. Otro aspecto importante es el uso de puntos de control terrestre (GCP, por sus siglas en inglés), que permiten ajustar el modelo digital a la posición y escala correctas, mejorando la precisión de las imágenes. Estos puntos, debidamente identificados y geolocalizados, aseguran una representación fiel del terreno (DJI Enterprise, 2021).

En este contexto, el estudio de Movilla (2019), titulado *“Influencia de los puntos de control sobre el terreno en la precisión de modelos digitales de superficies generados mediante fotogrametría aérea”*, destaca la importancia de los GCP. En un análisis realizado sobre 181 hectáreas con 110 puntos de control, se encontró que con solo 5 GCP el error

altimétrico promedio era de 0,5 metros, mientras que con 20 o más GCP, este error se reducía a aproximadamente 0,03 metros. El estudio concluye que una distribución adecuada y una cantidad moderada de GCP (entre 20 y 30) son suficientes para lograr alta precisión en modelos fotogramétricos en grandes áreas, subrayando la indispensabilidad de estos puntos en cualquier trabajo de este tipo.

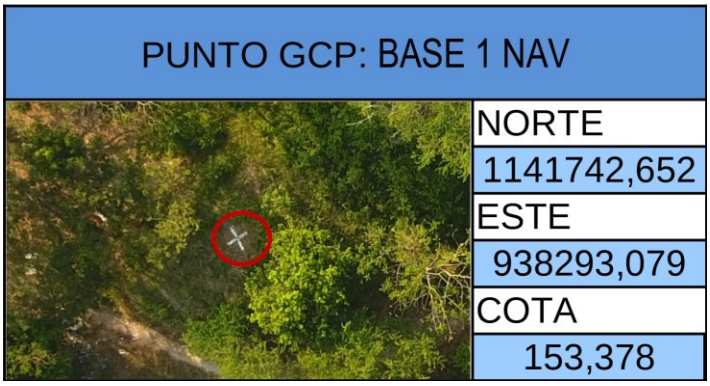
En conclusión, el uso de drones, acompañado de buenas prácticas en la captura y procesamiento de datos, es clave para mejorar la gestión de zonas verdes y agrícolas. La implementación de tecnologías avanzadas, junto con un manejo adecuado de herramientas como los GCP, permite optimizar la precisión y eficacia en la conservación ambiental y la producción agrícola.

6. MÉTODOS Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN, SISTEMATIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

6.1 REVISIÓN DE MATERIAL FOTOGRAMÉTRICO

Antes de iniciar cualquier proceso de reconstrucción del modelo 3D es fundamental realizar una revisión detallada del material fotográfico, esta etapa preliminar permite asegurar que las imágenes cumplen con los estándares necesarios para el procesamiento fotogramétrico, evitando inconsistencias que puedan afectar los resultados como se muestra en la Figura 1. Así, se lleva a cabo una validación de la información espacial contenida en los metadatos de las imágenes, especialmente las coordenadas GPS obtenidas. Esta verificación se realiza con el apoyo de herramientas como Google Earth Pro, donde se visualiza la distribución de los puntos de captura sobre el área de estudio como se observa en la Tabla 1**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**. Esta comprobación es útil para confirmar la continuidad del vuelo, la cobertura del terreno y para detectar imágenes aisladas fuera del área objetivo.

Figura 1: Detalle de punto GCP



Fuente: Elaboración propia

Tabla 1. Puntos tomados sobre el terreno Puerto triunfo Antioquia GCP

NOMBRE	NORTE	ESTE	COTA
BASE 1 NAV	1141742,652	938293,079	153,378
GCP 1	1141813,713	938256,552	147,601
GCP 2	1141658,505	938172,712	149,590
GCP 3	1141621,003	938200,920	150,189
GCP 4	1141515,541	938015,930	150,755
GCP 5	1141469,025	938053,283	148,125

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 2 se muestra la ubicación de la zona de estudio, así como la posición de los GCP. La revisión del material fotogramétrico no solo garantiza la calidad de los insumos, sino que también permite anticipar y corregir errores antes de invertir tiempo en procesos de modelado.

Figura 2 Zona de estudio municipio Puerto Triunfo. Antioquia



Fuente: Google Earth

6.2 PROCESO EN AGISOFT METASHAPE

Creación e incorporación de fotografías

El proceso de generación de nubes de puntos con Agisoft Metashape comienza con la creación de un nuevo proyecto. Posteriormente, las imágenes capturadas durante el vuelo fotométrico se importan a través de Flujo de trabajo, las cuales se pueden visualizar de manera independiente o como una nube de puntos. La visualización permite observar las zonas de traslapo entre las diferentes fotografías, así como alguna información marginal: sistema de coordenadas; latitud, longitud y cota, precisión en metros, ángulo de orientación de la cámara, inclinación de la imagen adelante y atrás, inclinación de la imagen en derecha e izquierda y precisión en grados como se muestra en la Figura 3

Figura 3: Metadatos de las fotografías

Cámaras	Longitud	Latitud	Altitud (m	Precisión (m)	Error	Guiñada(Yaw) (deg)	Cabeceo(Pitch) (	Alabeo(Roll) (de	Precisión (deg)
DJI_0103	-74.635378	5.876385	307.760000	10.000000		325.100	0.100	0.000	10.000
DJI_0112	-74.636164	5.875897	307.660000	10.000000		325.100	0.100	0.000	10.000
DJI_0100	-74.635974	5.877238	307.860000	10.000000		325.100	0.100	0.000	10.000
DJI_0122	-74.636907	5.875344	307.660000	10.000000		325.100	0.100	0.000	10.000
DJI_0123	-74.636708	5.875060	307.660000	10.000000		325.100	0.100	0.000	10.000
DJI_0114	-74.635927	5.875558	307.660000	10.000000		325.100	0.100	0.000	10.000

Fuente: Elaboración propia

Orientación de fotos

El siguiente paso es la alineación de imágenes, un proceso crítico para determinar la posición y orientación de las cámaras al momento de la captura. En *Flujo de trabajo* >*Orientar fotos*, se selecciona la opción de máxima precisión para optimizar la calidad de la nube de puntos y facilitar la integración de puntos de control terrestre (GCP), como se observa en la Figura 4. Orientación de las fotografías.

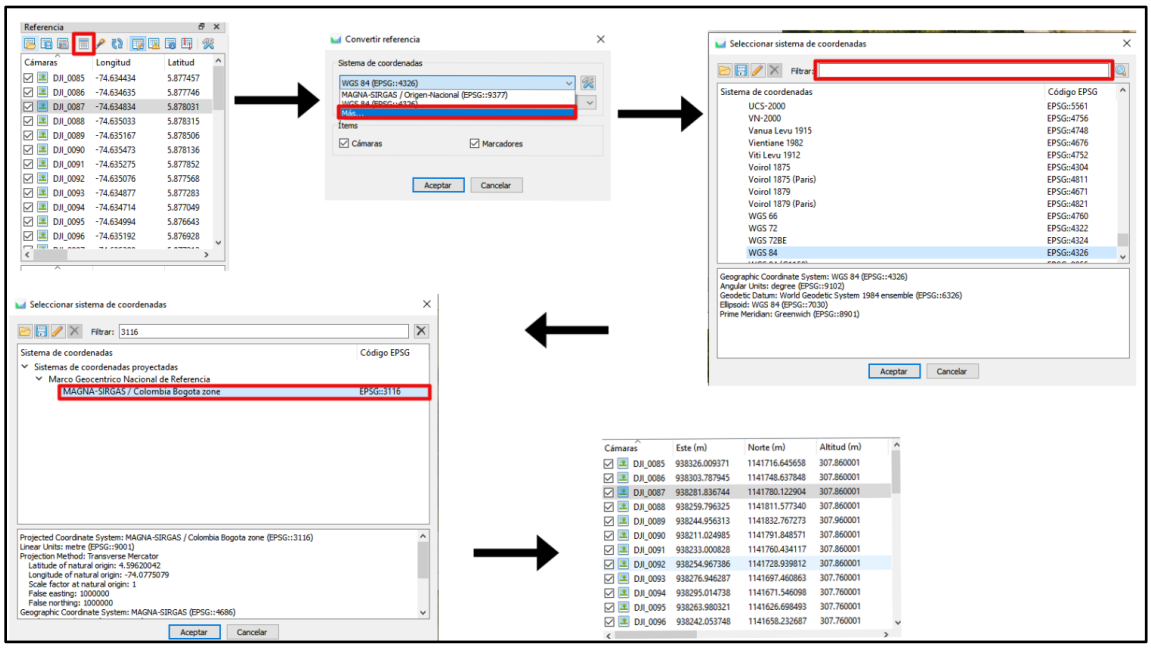
Figura 4. Orientación de las fotografías



Fuente. Elaboración Propia

Posteriormente, se procede a definir el sistema de coordenadas mediante la herramienta convertir referencia, se introduce el nombre o el código EPSG del sistema requerido; en este caso, MAGNA-SIRGAS / Colombia Bogotá zone (EPSG:3116), se selecciona este sistema de coordenadas, ya que coincide con el utilizado para capturar los Puntos de Control Terrestre (GCP), como se muestra en la Figura 5

Figura 5. Procedimiento para transformar el sistema de coordenadas

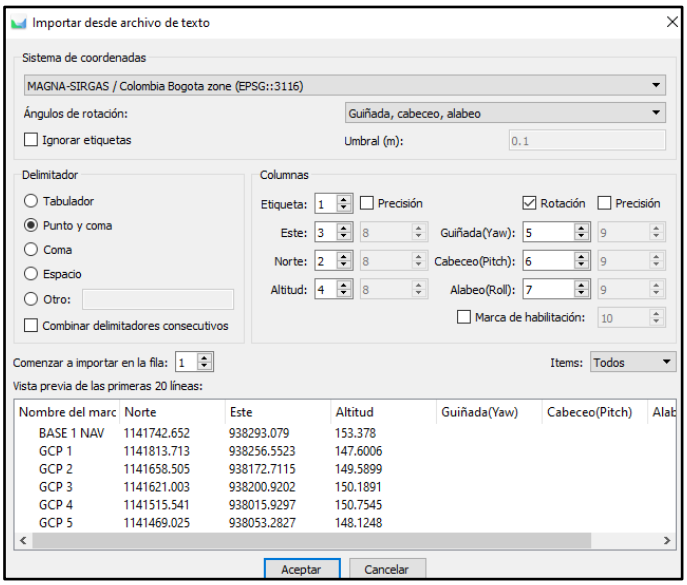


Fuente: Elaboración propia

Optimización de orientación

El siguiente proceso consiste en realizar el *Ajuste adaptativo del modelo de cámara* y *Estimar covarianza de los puntos de paso*. Estas opciones estabilizan el modelo, ajustan parámetros de la cámara y proporcionan una evaluación de la incertidumbre, mejorando la calidad global del modelo. Una vez configurado, se inicia la optimización para volver a calcular la orientación de las cámaras. La visualización de la nube de puntos en *Ver >Nube de puntos* ayuda a detectar inconsistencias en la distribución de puntos, asegurando la calidad antes de continuar, como se aprecia en la Figura 6.

Figura 6: Importación de archivo CSV en Agisoft Metashape



Fuente: Elaboración propia

La integración de puntos de control terrestre (GCP) es esencial para garantizar una georreferenciación precisa y mejorar la calidad del modelo fotogramétrico. En este proceso, se incorporan seis GCP distribuidos estratégicamente en la zona de estudio para optimizar la precisión espacial.

La integración de GCP es esencial para la georreferenciación precisa; estos se importan desde la pestaña *Referencia*, especificando el sistema de coordenadas y las columnas correspondientes (nombre, coordenadas Norte, Este y Cota) como se observa en la Figura 7 . Cada GCP se marca manualmente en las imágenes utilizando la función *Filtrar fotos por marcador*, asegurando una ubicación precisa. Posteriormente, se vuelve a optimizar el modelo activando nuevamente las opciones de ajuste adaptativo y estimación de covarianza, lo que mejora la consistencia espacial del modelo.

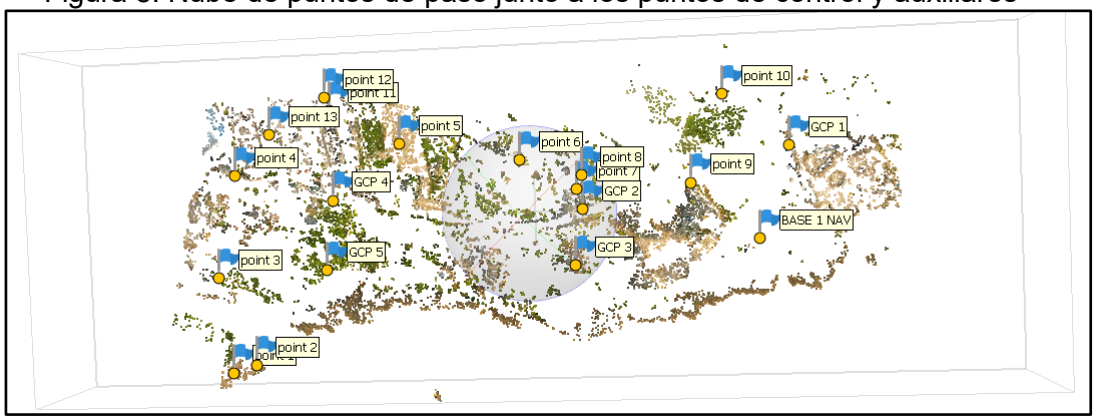
Figura 7. Distribución de los GCP en el Modelo



Fuente: Elaboración propia

Después de esto, se procede a la incorporación de puntos auxiliares en la imagen o los conocidos Tie Point; sin embargo, su función es actuar como referencias visuales para mejorar la alineación entre las imágenes. Al ser reconocibles en varias tomas, permiten al software identificar coincidencias con mayor precisión, lo que resulta en una mejor calidad del ajuste interno durante el proceso de aerotringulación o reconstrucción tridimensional. En este caso específico, se incorporó un total de 13 puntos auxiliares distribuidos estratégicamente en el área de estudio, priorizando zonas con texturas homogéneas o geometrías complejas como se observa en la Figura 8, donde el software podría tener dificultades para identificar puntos de coincidencia automáticos.

Figura 8: Nube de puntos de paso junto a los puntos de control y auxiliares

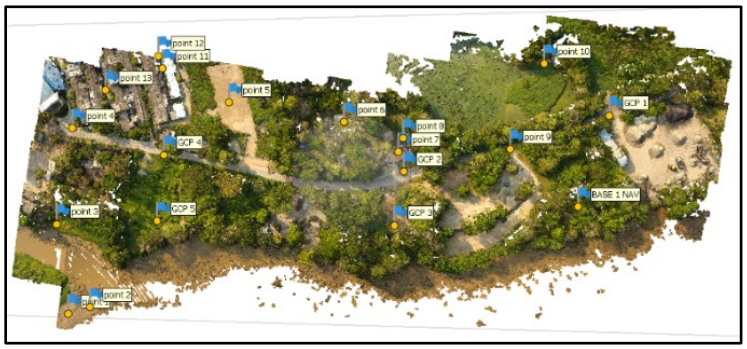


Fuente: Elaboración propia

Creación de nube de puntos

El procedimiento que sigue es genera la nube de puntos densa desde *Flujo de trabajo >Crear nube de puntos densa*, seleccionando un nivel de calidad alta para maximizar la precisión espacial. Se usó el filtro de profundidad leve para conservar detalles en superficies suaves, junto con las opciones *Colorear puntos* y *Estimar nivel de confianza*, que enriquecen la nube de puntos con información de color y métricas de fiabilidad. El resultado es una nube de puntos densa adecuada para análisis espaciales y productos cartográficos de alta calidad como se observa en la Figura 9.

Figura 9. Nube de puntos densa



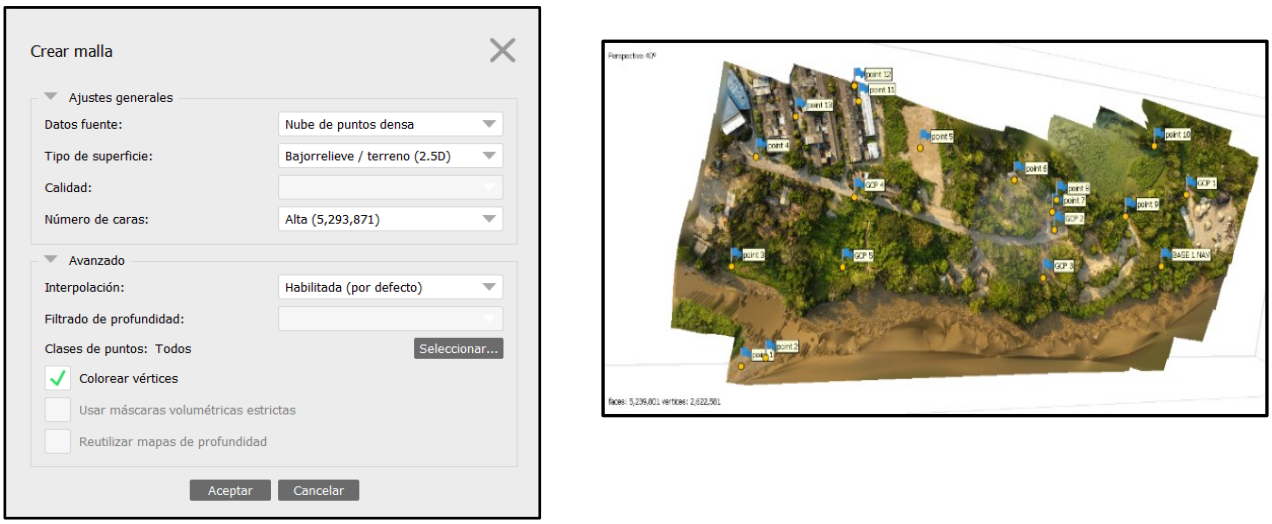
Fuente: elaboración propia

Generación de la Malla 3D

Tras obtener la nube de puntos densa, el siguiente paso es generar una malla 3D que represente la superficie del área de estudio. Este proceso se inicia desde el menú Flujo de trabajo > Crear malla**.**

En la ventana de configuración, se selecciona la Nube de puntos densa como fuente de datos, asegurando que la malla se construya a partir de la información detallada generada en el paso anterior. Para el parámetro Calidad**,** se establece Alta, lo que maximiza la resolución de la malla, aunque incrementa el tiempo de procesamiento y los requisitos computacionales. Esta elección es ideal para proyectos que requieren alta precisión en la representación de la superficie. Dado que el tipo de superficie especificado es Bajo relieve (2.5D)**,** se selecciona la opción Malla de altura (2.5D) en lugar de una malla arbitraria 3D. Este tipo de malla es adecuado para superficies con variaciones de elevación moderadas, como terrenos planos o ligeramente ondulados, ya que genera un modelo basado en una única cota por punto en el plano XY, reduciendo la complejidad computacional y optimizando el resultado para aplicaciones como cartografía o análisis topográfico como se puede observar en la Figura 10.

Figura 10: Creación de la Malla



Fuente: Elaboración propia

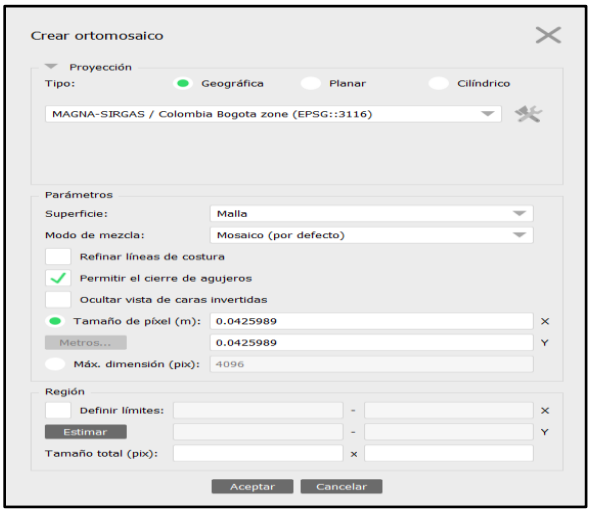
Generación de la Ortofoto

La ortorectificación es un proceso crucial en la generación de ortofotos, ya que corrige las distorsiones geométricas de las imágenes aéreas causadas por la inclinación de la cámara y las variaciones del terreno. Este procedimiento transforma una imagen original en una representación cartográficamente precisa, donde cada píxel tiene una ubicación geográfica exacta en un sistema de coordenadas definido. En el caso específico de Agisoft Metashape, al seleccionar el flujo de trabajo Crear orto mosaico, el software aplica la ortorrectificación utilizando datos altimétricos (ya sea una nube de puntos o una malla) para proyectar la imagen sobre una superficie topográfica. La elección de una malla 2.5D como superficie de proyección es adecuada en áreas con bajo relieve, ya que representa de manera precisa la elevación del terreno. Esta malla permite que la ortofoto resultante tenga en cuenta las variaciones de altitud y, minimice errores de proyección y deformaciones, especialmente en elementos lineales.

El sistema de coordenadas se mantiene consistente con el definido previamente: MAGNA-SIRGAS / Colombia Bogotá zone (EPSG:3116). Esto se verifica en el campo correspondiente de la ventana de configuración, ajustándolo si es necesario mediante el botón con forma de calculadora, siguiendo el procedimiento descrito en pasos anteriores.

La resolución de la ortofoto se obtiene según la calidad de las imágenes originales, pero puede ajustarse manualmente. Para un proyecto con calidad alta, se recomienda una resolución de 0.043 m/píxel o inferior, dependiendo de los requisitos de detalle. Se activa la opción Activar corrección de color para uniformizar la iluminación y mejorar la calidad visual de la ortofoto. También se habilita Rellenar agujeros para cubrir áreas sin datos mediante interpolación, garantizando una cobertura completa como se muestra en la Figura 11.

Figura 11. Ventana de configuración para la creación del orto



Fuente: Elaboración propia

Una vez configurados los parámetros, se presiona Aceptar para generar la ortofoto. El tiempo de procesamiento depende del tamaño del área y la resolución seleccionada. Al finalizar, la ortofoto se visualiza en la pestaña Orto mosaico, donde se evalúa su calidad, coherencia espacial y uniformidad de color como se muestra en la

Figura 12.

Figura 12: Ortofoto



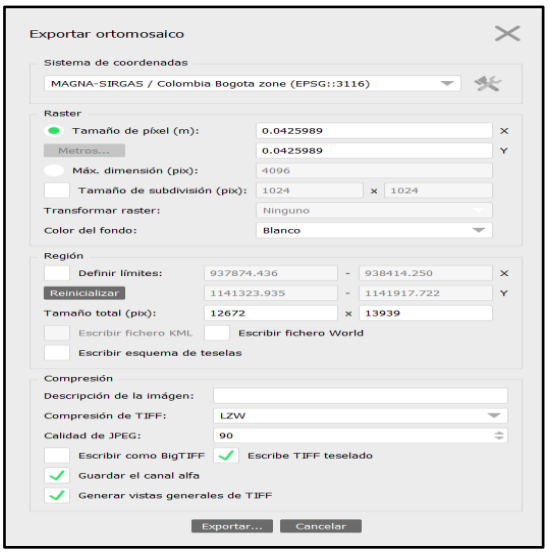
Fuente: Elaboración propia

Exportación de Resultados

Para utilizar los productos generados, se procede a su exportación. Desde el menú Archivo > Exportar, se selecciona Exportar malla para guardar la malla 2.5D en formatos como OBJ o DXF**,** compatibles con software de análisis topográfico o CAD. Para la ortofoto, se elige Exportar orto mosaico y se guarda en formato GEOTIFF como se muestra en la

Figura 13, que preserva la georreferenciación y es ideal para sistemas de información geográfica (SIG).

Figura 13: Menú de exportación de la ortofoto



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se genera un informe final desde Archivo > Exportar > Generar informe, que documenta los parámetros de la malla (número de vértices y caras), la ortofoto (resolución y cobertura) y los detalles del procesamiento. Este informe sirve para validar la calidad de los resultados y facilitar la trazabilidad del proyecto.

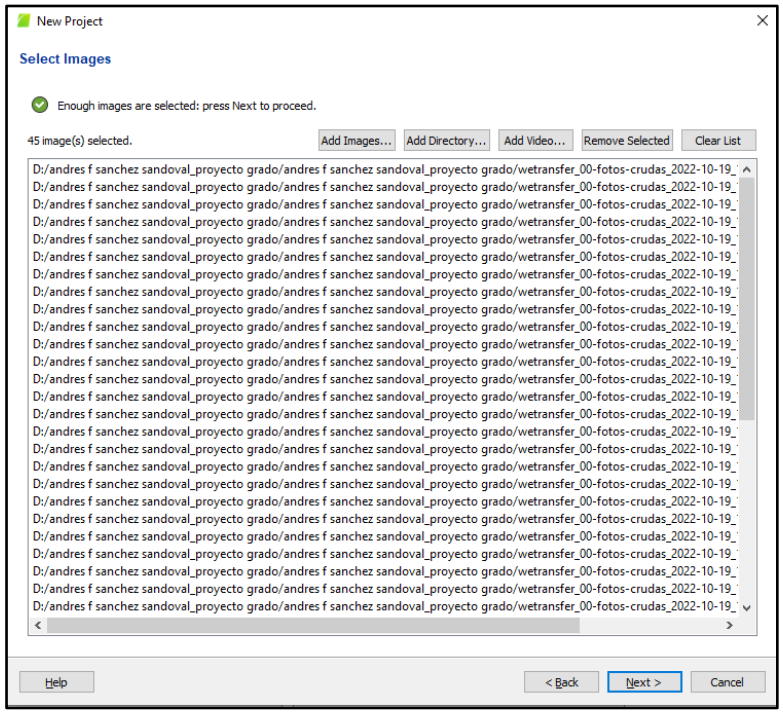
6.3 PROCESO EN PIX4D

Reacción de proyecto en pix4d

El proceso en Pix4Dmapper comienza con la creación de un nuevo proyecto a través del menú *Archivo* > *Nuevo Proyecto*. En esta etapa se asigna un nombre y una ubicación al proyecto, lo cual permite mantener una organización adecuada. A continuación, se importan las imágenes capturadas durante el vuelo fotogramétrico, ya sea seleccionando una carpeta o cargando archivos individuales en formatos compatibles, como JPG o TIFF. Esta acción se realiza desde la opción *Añadir Imágenes* o *Seleccionar Carpeta*, disponible en el asistente de inicio del proyecto como lo vemos en la Figura 14. Pix4Dmapper reconoce automáticamente los metadatos de las imágenes, incluyendo coordenadas geográficas en

WGS84 (latitud, longitud y altitud en metros sobre el nivel del mar), precisión estimada y parámetros de orientación de la cámara (guiñada, cabeceo y alabeo).

Figura 14: Ventana de importación de imágenes.



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se realiza la transformación del sistema de coordenadas, pasando de WGS84 a MAGNA-SIRGAS / Colombia Bogotá zone (EPSG:3116). Esta conversión garantiza que las coordenadas de las imágenes coincidan con las de los puntos de control utilizados en el proyecto. Finalmente, en la sección de plantillas de opciones de procesamiento, se selecciona el modo *Mapa 3D*, ya que es el adecuado para la generación de orto mosaicos.

Configuración de opciones de procesamiento

Antes de iniciar el procesamiento, se configuran las opciones en la ventana Opciones de Procesamiento**,** accesible desde Procesar > Opciones de Procesamiento como se observa

en la Figura *15*¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.. Las configuraciones se ajustan según los siguientes puntos:

Proceso Inicial

En la pestaña 1. Proceso Inicial, se selecciona la opción Keypoints Image Scale: Full para maximizar la calidad del procesamiento inicial. Esto asegura que se utilice la resolución completa de las imágenes para detectar puntos clave, mejorando la precisión de la alineación de las imágenes y la reconstrucción del modelo.

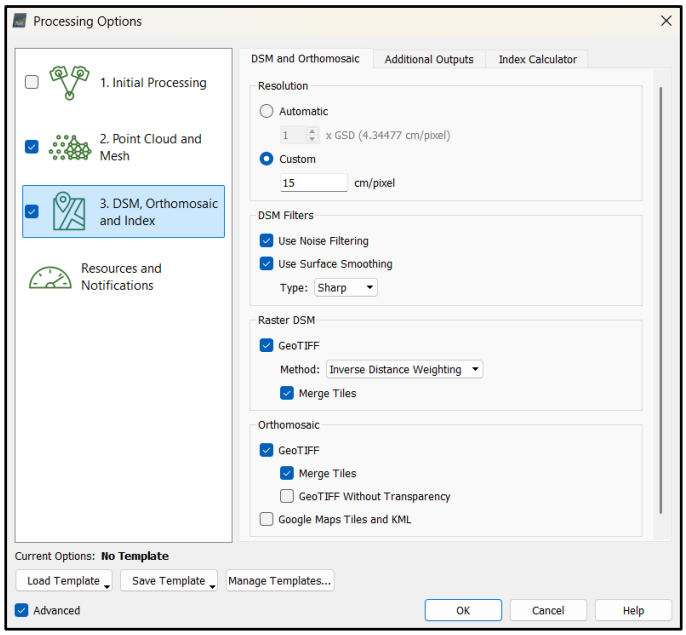
Nube de Puntos Densa

En la pestaña 2. Nube de Puntos Densa, se configura la Escala de Imagen en Escala Original (1:1) para conservar todos los detalles de las imágenes originales. La Densidad de la Nube de Puntos se establece en Alta**,** lo que genera una nube de puntos con mayor resolución, ideal para aplicaciones que requieren alta precisión espacial. Para la exportación, se selecciona el formato. las, el cual es compatible con la mayoría de los softwares de análisis de nubes de puntos.

DSM y Ortomosaico

En la pestaña 3. DSM, Ortomosaico e Índice, se configura la resolución del modelo digital de superficie (DSM) y la ortofoto en 4.3 cm/píxel, adecuada para proyectos que requieren un equilibrio entre detalle y tamaño de archivo. El formato de exportación para el DSM y la ortofoto se establece en TIFF**,** que preserva la georreferenciación y es compatible con sistemas de información geográfica (SIG). Se activa la opción Método de Mezcla: Mosaico para garantizar transiciones suaves entre imágenes y se habilita Corrección de Color para uniformizar la iluminación.

Figura 15: Ventana de las opciones de procesamiento



Fuente: Elaboración propia

Ejecución del proceso inicial

Con las configuraciones definidas, se inicia el procesamiento seleccionando Procesar > Iniciar. El proceso inicial alinea las imágenes, calcula las posiciones de las cámaras y genera una nube de puntos dispersa. Durante este paso, Pix4Dmapper utiliza los metadatos de las imágenes para optimizar la orientación y generar un modelo preliminar.

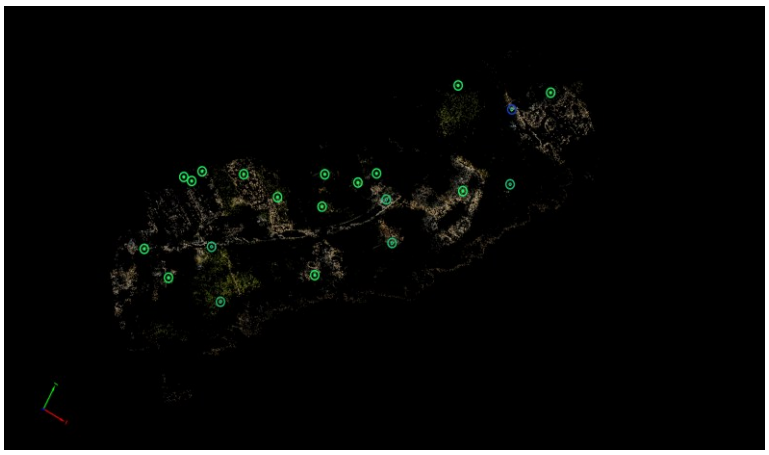
Incorporación de puntos de control terrestre (GCP) y puntos de fotocontrol

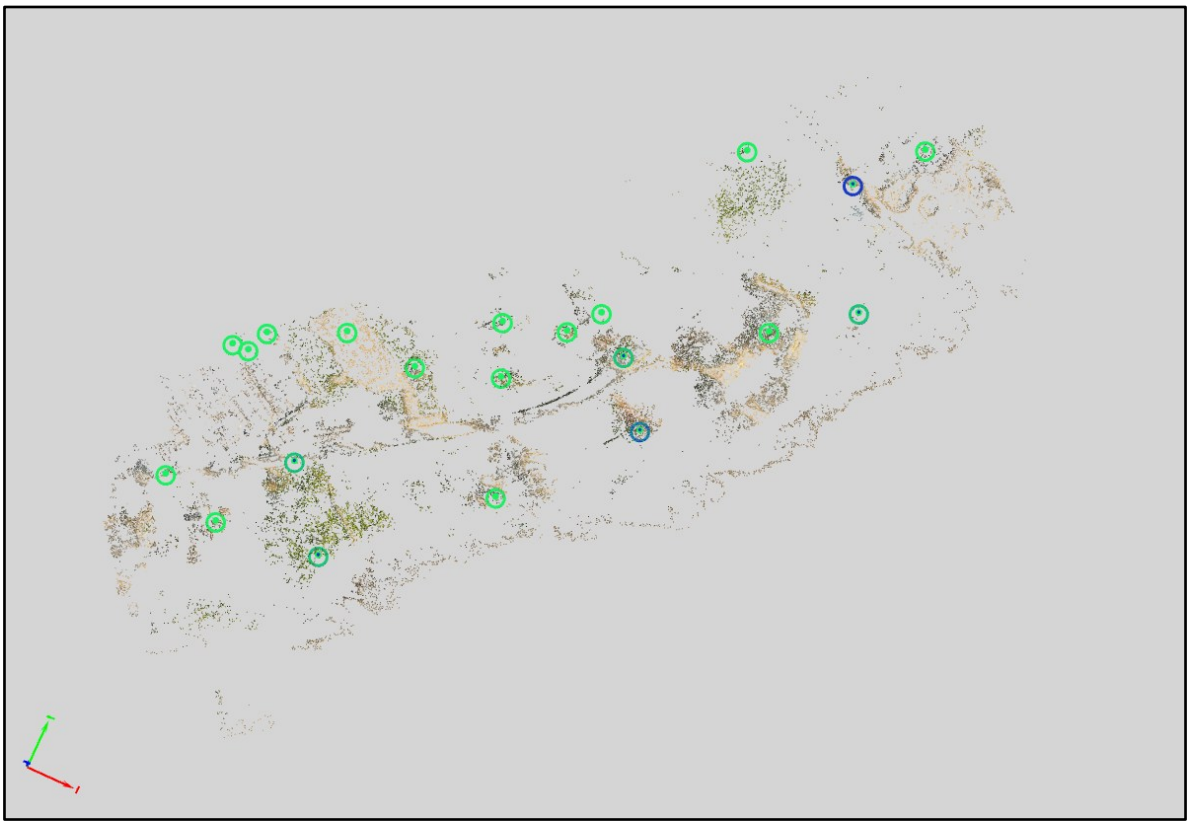
Para garantizar la georreferenciación precisa, se incorporan 6 GCP y 17 tie points. Los GCP se importan desde la pestaña GCP/MTP Manager, especificando el sistema de coordenadas MAGNA-SIRGAS / Colombia Bogotá zone (EPSG:3116) y las columnas correspondientes (nombre, coordenadas Norte, Este y Cota). Cada GCP se marca

manualmente en al menos 3 imágenes utilizando la herramienta RayCloud, seleccionando la opción Filtrar Imágenes por Marcador para facilitar la ubicación precisa.

Los 17 puntos de foto control se añaden como puntos de verificación (Check Points) para evaluar la precisión del modelo. Estos se marcan de manera similar, asegurando una distribución homogénea en el área de estudio. Tras incorporar los GCP y puntos de foto control, se reoptimiza el modelo seleccionando Procesar > Reoptimizar, lo que ajusta la orientación de las cámaras y mejora la precisión espacial, podemos observarlo en la Figura *16*.

Figura 16: GCP y tie points sobre puntos de paso





Fuente: Elaboración propia

Generación de la nube de puntos densa y malla

Con los GCP integrados, se ejecuta el paso 2. Nube de Puntos Densa desde Procesar > Iniciar. La malla 3D se crea automáticamente como parte del proceso, utilizando la nube de puntos densa como fuente. La malla se genera en formato 2.5D (bajo relieve), adecuada para superficies con variaciones de elevación moderadas, optimizando el modelo para aplicaciones topográficas.

La malla se inspecciona en la vista 3D (pestaña RayCloud > Malla) para verificar su calidad, revisando posibles artefactos o discontinuidades. Si es necesario, se utilizan herramientas de edición en el módulo RayCloud para suavizar la malla o corregir irregularidades.

Generación del DMS y Ortomosaico

El paso final del procesamiento es la generación del Modelo Digital de Superficie (DEM) y el Ortomosaico**,** ejecutado desde Procesar > Iniciar para el paso 3. El DEM se genera con una resolución de 4.3 cm/píxel, utilizando la malla 2.5D como superficie de proyección. El orto mosaico se crea con el mismo nivel de resolución, aplicando el método de mezcla Mosaico y corrección de color para garantizar una imagen homogénea y visualmente coherente. El resultado se visualiza en la pestaña Mosaico Editor como lo vemos en la Figura *17*, para inspeccionar la calidad del orto mosaico, verificando la alineación, continuidad y precisión de los colores. Si se detectan áreas con distorsiones, se pueden corregir utilizando las herramientas de edición del mosaico.

Figura 17: Captura de pantalla Mosaico Editor



Fuente: Elaboración propia

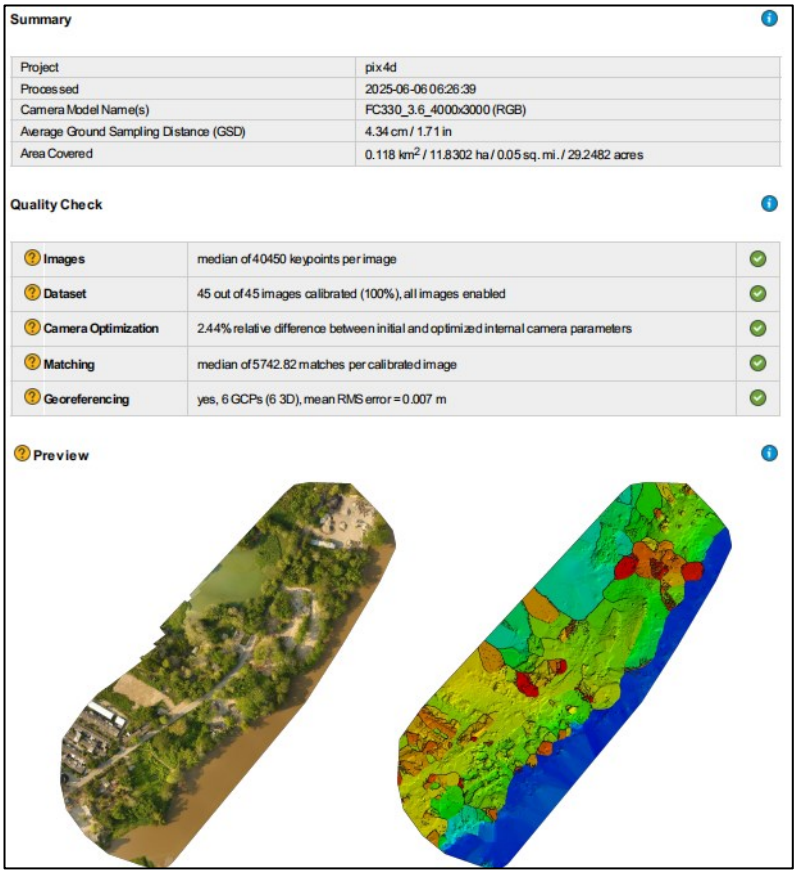
Exportación de resultados

Los productos generados se exportan desde Archivo > Exportar. La nube de puntos densa se guarda en formato las, compatible con software de análisis de datos 3D. La malla 2.5D se exporta en formatos como OBJ o DXF, según las necesidades del proyecto. El DSM y el orto mosaico se exportan en formato TIFF, preservando la georreferenciación para su uso en sistemas SIG.

Un informe final se genera desde Informe > Generar Informe, detallando las estadísticas de procesamiento, la precisión de los GCP y puntos de foto control, el número de puntos en la nube densa, las características de la malla y la resolución del DEM y Ortomosaico.

Este informe es esencial para validar la calidad de los resultados y documentar el proyecto como se muestra en la Figura *18*.

Figura 18: Informe final en Pix4Dmapper



Fuente: Elaboración propia

Análisis Comparativo entre Agisoft y Pix4D

Aspecto	Agisoft Metashape	Pix4Dmapper
Precisión ortofoto	Buena, pero con algunos errores visibles, como costuras irregulares.	Mejor uniformidad y menor error visible.
Control de parámetros	Muy detallado, permite ajustes manuales.	Automático, con pocas opciones de configuración.
Interfaz	Técnica, requiere experiencia previa.	Intuitiva y fácil de usar, con asistentes paso a paso.
Gestión de GCP	Precisa pero manual y más lenta.	Rápida y visual con herramienta RayCloud.
Nube de puntos densa	Calidad ajustable, mayor control.	Buena calidad, proceso más rápido y automático.
Malla 3D / DSM	Varias opciones para malla, más personalización.	Malla automática, menos opciones, pero rápida.
Calidad visual final	Depende del ajuste, puede requerir más tiempo.	Mejor mezcla y corrección automática de color.
Velocidad de procesamiento	Más lento, especialmente en calidad alta.	Más rápido, ideal para proyectos ágiles.
Informes técnicos	Completos, pero menos organizados.	Reportes detallados y organizados.

6.4. CLASIFICACIÓN SUPERVISADA EN ARCGIS PRO

Creación de archivo vectorial para toma de para muestras

En el entorno de ArcGIS Pro, el proceso inicia con la delimitación de las muestras de entrenamiento, para lo cual se utilizó un archivo vectorial de tipo poligonal (shapefile).

Este shapefile contiene polígonos representativos de las clases temáticas de interés, como áreas de vegetación, suelo desnudo, cuerpos de agua, zonas urbanas, entre otros. La utilización de polígonos permite capturar múltiples píxeles por clase, mejorando la caracterización estadística de cada categoría.

Para este estudio, se adoptó como referencia la tipología del sistema CORINE Land Cover (CLC) como vemos en la

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	CODIGO	RGB	nivel4	CODIGO	RGB
Superficies artificiales	Zonas urbanas	Tejido urbano discontinuo	112	255-000-000			
		Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	122	204-000-000			
	Zonas de extracción minera, vertederos y de construcción	Zonas de extracción minera	131	166-000-204			
Zonas forestales con vegetación natural y espacios abiertos	Bosques	Bosque de galería y ripario	314	113-187-39	Ceiba speciosa	3141	128-255-020
					palmera	3142	080-255-040
					arboles sin nombre	3143	068-240-000
	Espacios abiertos con poca o sin vegetación	Playas, dunas y arenales	331	230-230-230			
		Espacios con vegetación escasa	333	204-255-204			
Zonas húmedas	Zonas húmedas continentales	Humedales y zonas pantanosas	411	166-166-255	Buchón	4111	146-166-255
					algas	4112	166-146-255
Superficies de agua	Aguas continentales	Cursos de agua	511	000-204-242			
		Láminas de agua	512	128-242-230			

, complementado con subdivisiones adaptadas al contexto local para mejorar la resolución temática. En total, se definieron 12 clases, de las cuales cinco correspondieron a subdivisiones específicas enfocadas principalmente en la categoría 311 (bosques de frondosas) y 411 (humedales), a fin de reflejar diferencias espectrales más sutiles en zonas ecológicamente complejas en la Figura *19* en donde lo vemos.

Tabla 2 Clasificación de cubiertas de Corine Land Cover modificada

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	CODIGO	RGB	nivel4	CODIGO	RGB
Superficies artificiales	Zonas urbanas	Tejido urbano discontinuo	112	255-000-000			
		Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	122	204-000-000			
	Zonas de extracción minera, vertederos y de construcción	Zonas de extracción minera	131	166-000-204			
Zonas forestales con vegetación natural y espacios abiertos	Bosques	Bosque de galería y ripario	314	113-187-39	Ceiba speciosa	3141	128-255-020
					palmera	3142	080-255-040
					arboles sin nombre	3143	068-240-000
	Espacios abiertos con poca o sin vegetación	Playas, dunas y arenales	331	230-230-230			
		Espacios con vegetación escasa	333	204-255-204			
Zonas húmedas	Zonas húmedas continentales	Humedales y zonas pantanosas	411	166-166-255	Buchón	4111	146-166-255
					algas	4112	166-146-255
Superficies de agua	Aguas continentales	Cursos de agua	511	000-204-242			
		Láminas de agua	512	128-242-230			

Fuente: Elaboración propia

Figura 19: Shapefile de polígonos de entrenamiento superpuesto sobre la imagen raster



Fuente: Elaboración propia

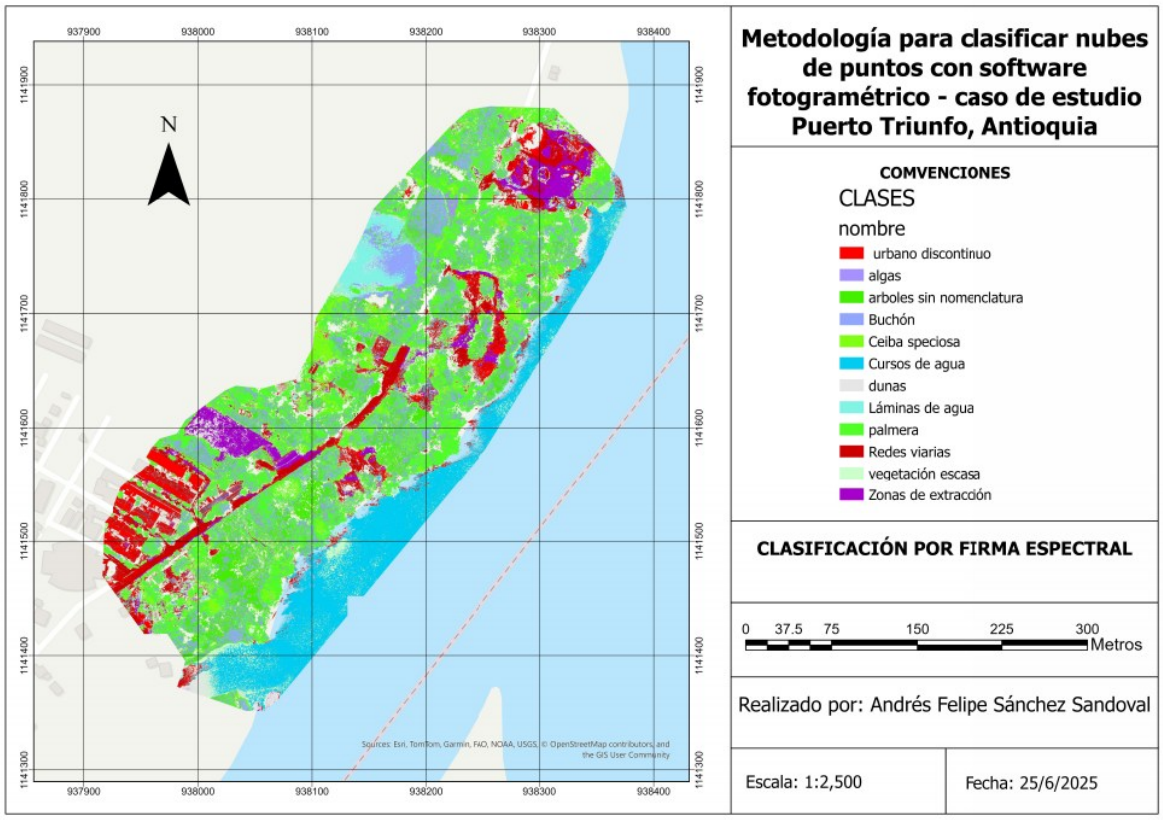
Creación de firma espectral

Con base en estas muestras, se procedió a la generación del archivo de firma espectral mediante la herramienta “Create Signature File”. Esta herramienta calcula automáticamente las estadísticas espectrales necesarias (medias, varianzas y covarianzas) para cada clase definida, almacenándolas en un archivo de firma (GSG o SIG), que posteriormente es utilizado como insumo para la clasificación.

Creación de la clasificación

La ejecución de la clasificación se realiza a través de la herramienta “Maximum Likelihood Classification”, que aplica el modelo probabilístico a todo el ráster con una fracción de rechazo de 0,1 esto para que y un peso de probabilidad en igual de entrada, generando como resultado un nuevo ráster temático en el que cada píxel ha sido categorizado con base en su similitud estadística con las clases previamente definidas en la Figura *20* se puede observar el resultado.

Figura 20: Mapa de clasificación de firma espectral



Fuente: Elaboración propia

Comparación visual entre los rasteres de clasificación

Se comienza una comparación entre los rasteres en donde se revisa la cobertura que presentan entre sí principal mente en las áreas cubiertas por los rasteres.

Los informes de calidad generados por ambos softwares confirman estas limitaciones, destacando que el traslape máximo de más de 9 en las zonas centrales provoca problemas en la representación precisa de las zonas externas, en donde se reduce a menos de 8 de forma rápida siendo la mayor parte de la zona con una cobertura menor a 7 haciendo que la calidad de la representación se vea afectada. Para investigar si estos errores son

inherentes al software o al porcentaje de traslape, se analizó la superposición de imágenes en las áreas afectadas. Se utilizó Agisoft Metashape para este análisis, ya que permite visualizar hasta nueve imágenes superpuestas, mientras que Pix4D muestra un máximo de cinco. Los resultados muestran que las zonas con mayor error presentante menos de nueve imágenes superpuestas.

Aunque las áreas con mayor cobertura de imágenes exhiben menos errores, estos persisten, lo que sugiere que el problema radica en el proceso de reconstrucción de la ortofoto. Dado que ambos softwares muestran problemas similares, no es posible concluir si la causa principal es la falta de imágenes, el traslape insuficiente o un error en el procesamiento del software. Cabe destacar que los procedimientos se realizaron con la máxima calidad y se utilizó una cantidad adecuada de puntos de control en ambas imágenes.

Además de los errores de costura, la ortofoto generada por Agisoft Metashape presenta un "efecto persiano" en algunas zonas, lo que indica problemas adicionales en la interpretación de la topografía por parte del software. Esto se evidencia en ondulaciones en áreas que deberían ser planas. Por esta razón, se optó por utilizar el ráster generado por Pix4D para los análisis posteriores.

6.5 ANÁLISIS DE LA COBERTURA VEGETAL

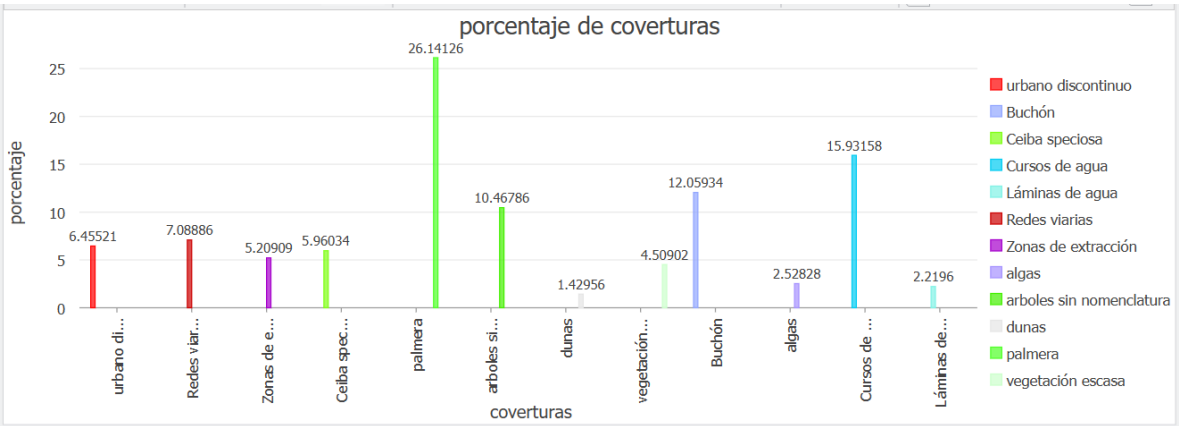
El ráster de Pix4D permite identificar claramente la cobertura vegetal, la superficie de agua y las zonas construidas, como áreas mineras y construcciones dispersas. Sin embargo, se observan dificultades para diferenciar coberturas específicas, como cursos de agua, bosques y zonas pantanosas, debido a la mezcla de estas categorías. Esto limita la capacidad de determinar con precisión las zonas por componentes, permitiendo identificar eficientemente solo tres categorías superficies artificiales zonas con vegetación y superficies de agua

Asimismo, se distingue con relativa facilidad la lámina de agua, aunque también presenta cierta mezcla con bosques y humedales. Se detectaron áreas con ruido o zonas oscuras,

principalmente en áreas urbanas, pero estas no afectan significativamente el análisis debido a su baja relevancia en el contexto.

Para facilitar la visualización de los resultados, se elaboró un gráfico el cual vemos en la Figura *21* con los porcentajes de píxeles del ráster por tipo de cobertura:

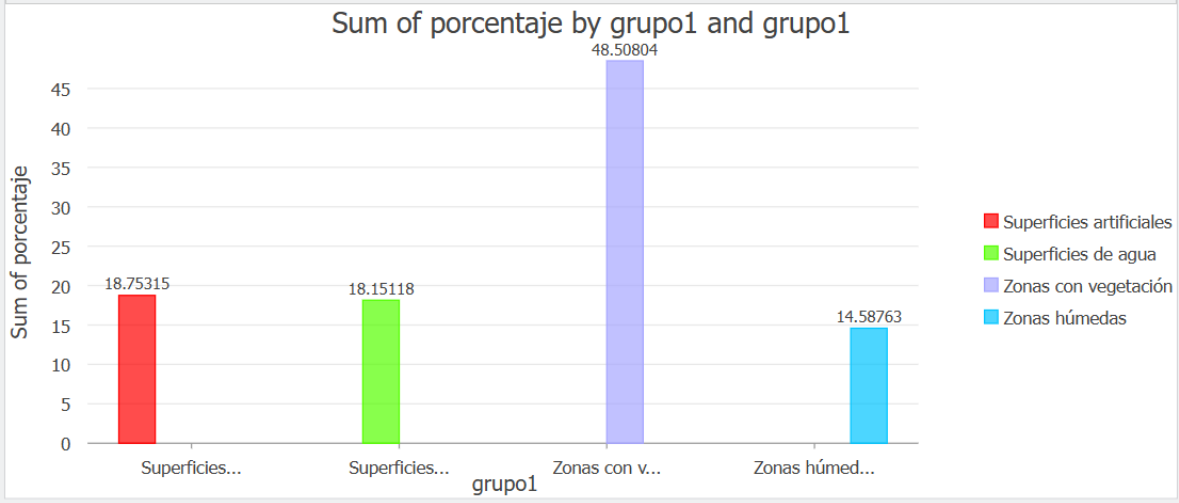
Figura 21: Gráfico de porcentajes de píxeles del ráster por tipo de cobertura



Fuente Elaboración propia

Con esta información, se concluye que la mayor parte de la zona está cubierta por vegetación. Sin embargo, debido a la mezcla de coberturas verdes, se generó una segunda tabla que agrupa los tipos de cobertura la cual se observa en la Figura *22*, facilitando la identificación de áreas afectadas por actividades humanas, como la deforestación:

Figura 22: Gráfico de porcentajes de píxeles del ráster por grupo de cobertura



Fuente: Elaboración propia

Esta representación permite visualizar de manera clara las zonas impactadas por la intervención humana (construcciones, vías y minas), las zonas forestales (bosques y zonas con poca vegetación), zonas húmedas agua (buchón y algas) y las zonas de agua (río y lago) siendo la total de un poco más de 63% en zonas naturales.

7. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El uso de los softwares es diferente mientras que en Pix4D se centra en la facilidad de uso en agisoft metashape se centra en la personalización del trabajo dando solo los datos que la persona necesita, hacendó una necesidad de saber más sobre el software.

Aunque se logró realizar una clasificación de las zonas a medir, esto no estuvo sin inconvenientes en la representación siendo así las coberturas se asemejan mucho con la realidad aunque debido a la mezcla entre arboles solo los datos por la suma de las zonas como el área forestal de ellos podemos darle un grado de confiabilidad lo suficiente como para definir que los porcentajes dados son correctos para un inspección general de la zona para observar el avance de las actividades humanas en el área, como en la zona de minería en la cual se denota que estas están ente la zona de vegetación a una distancia de 400m la zona habitacional lo cual puede sugerir una posible expansión de las actividades humanas en zonas verdes por lo cual es importante el control sobre estas zonas.

Por la parte de desarrollo en los softwares, se detectaron problemas por costuras y cortinas en ambos softwares, pero en el software de Agisoft Metashape estos fueron mayores, esto debido a que en este se presentaron ambos problemas, mientras en Pix4D se dieron algunos problemas en costuras, posiblemente debido al escaso traslape en buena parte de la zona vista, dando errores en la reconstrucción del área, aunque en este caso fueron mucho menores, haciendo que fuera lo suficientemente confiable para el uso de esta en la localización de las zonas verdes y con intervención humana.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Podemos concluir que el software Pix4d ha resultado ser más consistente a la hora de hacer ortofotos esto debidos al procesamiento del software. Aunque la falta de imágenes para un traslape de 80% frontal y un traslape de 70% en lateral e incluso con un 85% o 90% de manera frontal hace que la representación de esta no sea la mejor para este propósito, en coso de realizarse una mejor toma con una mayor cantidad de traslapes, junto a la toma de fotografías de manera oblicua, hará una mejor representación de la zona de e (Google Earth, 2025)studio, evitando problemas como costuras, junto con errores de tipo cortina. Pero en las recomendaciones de traslape de imágenes es de 80% de frontal y de 70% lateral, e incluso llegar al 85% de frontal haciendo una cantidad mínima de 9 fotografías en la zona.

Se debe tener un mejor control en el municipio de puerto triunfo Antioquia para evitar la destrucción de las zonas verdes y en caso de sen necesario ter un plan detallado para el control de las zonas afectadas.

Se recomienda el uso del software Pix4D, para el uso de personas las cuales no sea de su experticia la fotogrametría, esto debido a su facilidad de uso. Mientras que si es un especialista, el cual solo necesita unos ciertos productos, su uso puede llegar hacer preferible por el ahorro de tiempo y la personalización del software.

9. BIBLIOGRAFÍA

DJI Enterprise. (1 de noviembre de 2021). *Cómo optimizar la colocación de tus puntos de control terrestre*. Obtenido de DJI Enterprise: https://enterprise-insights.dji.com/es/blog/puntos-de-control-terrestre-drones

Carl Zeiss . (1966). *Analyse photogrammetrischer Fehler.* Zeiss Mitteilunge.

Google Earth. (2025). *Google Earth*. Obtenido de https://earth.google.com/web/search/Puerto+Triunfo,+Antioquia/@5.88069197,-74.62979367,145.03942817a,5221.36614441d,35y,0h,0t,0r/data=CiwiJgokCSI-c9YvUBdAEcphwou80BZAGVBquhO8i1LAIUoNvU2JnFLAQgIIAToDCgEwQgIIAEoICOmX1NkFEAA.

Lillesand, T. M., kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (2015). Remote Sensing and Image Interpretation. *Wiley*.

Linder, w. (2016). Digital Photogrammetry . *springer*.

M., M. E., & S., B. J. (2001). Introduction to Modern Photogrammetry. *John Wiley & Sons*.

Movilla, S. F. (2019). *INFLUENCIA DE LOS PUNTOS DE CONTROL SOBRE EL.* Obtenido de Archivo Digital UPM : https://oa.upm.es/56668/1/TFG_Santiago_Fernandez_Movilla.pdf

pix4d. (s.f.). *Agricultura de precisión*. Obtenido de pix4d: https://www.pix4d.com/es/industria/agricultura/

pix4d. (s.f.). *Best practices and capabilities for PIX4Dcloud*. Obtenido de support pix4d: https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/14988429657117#label1.esto

Schenk, T. (2005). Introduction to Photogrammetry. *Department of Civil and Environmental Engineering and Geodetic Science*.

tecnobosque. (s.f.). *Protección contra incendios*. Obtenido de tecnobosque: https://tecnobosque.es/prevencion-contra-incendios/

Toutin, T. (2004). Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods. *International Journal of Remote Sensing*.

Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). tructure-from-Motion'. *elsevier*. Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021

Wolf, P. R., & Dewitt, B. A. (2000). Elements of photogrammetry. *McGraw-Hill*.